

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
TELECOMUNICAÇÕES - PPGET

FÁBIO DE OLIVEIRA SOUSA

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE SIMULAÇÃO DE ENDOSCOPIA NASAL

Fortaleza, Ceará
2020

FÁBIO DE OLIVEIRA SOUSA

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE SIMULAÇÃO DE ENDOSCOPIA NASAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Telecomunicações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Engenharia de Telecomunicações. Área de concentração: Processamento de Sinais.

Orientador: Tarique da Silveira Cavalcante

Coorientador: Auzuir Ripardo de Alexandria

Fortaleza, Ceará
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal do Ceará - IFCE
Sistema de Bibliotecas - SIBI
Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S725d Sousa, Fábio de Oliveira.
Desenvolvimento de Sistema de Simulação de Endoscopia Nasal / Fábio de Oliveira Sousa. - 2020.
93 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Engenharia de Telecomunicações,
Campus Fortaleza, 2020.

Orientação: Prof. Dr. Tarique da Silveira Cavalcante.
Coorientação: Prof. Dr. Auzuir Ripardo de Alexandria.

1. Simulação. 2. Endoscopia nasal. 3. Software. 4. Unity3D. 5. Exame. I. Título.

CDD 621.382



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
TELECOMUNICAÇÕES

FÁBIO DE OLIVEIRA SOUSA

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Telecomunicações, sendo aprovada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Telecomunicações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará e pela banca examinadora:

Dr. Tarique da Silveira Cavalcante (Orientador)
Instituto Federal do Ceará - IFCE

Dr. Auzuir Ripardo de Alexandria (Coorientador)
Instituto Federal do Ceará - IFCE

Dra. Ingrid Correia Nogueira
Centro Universitário Christus - UniChristus

Dr. Regis Cristiano Pinheiro Marques
Instituto Federal do Ceará - IFCE

Me. Victor José Timbó Gondim
Centro Universitário Christus - UniChristus

Dedico este trabalho a minha família, professores e amigos.

Agradecimentos

Primeiramente a minha mãe Osmarina que sempre acreditou e ainda acredita onde posso chegar. Em segundo, mas não menos importante, a minha esposa Rakely que sempre me incentivou e apoiou, estando do meu lado. Não me deixando desistir em todos os momentos difíceis que passei. Aos meus irmãos que sempre se admiram com os meus singelos trabalhos que desenvolvo, e que dessa forma me incentivam ainda mais. Ao meu orientador amigo e professor Tarique Cavalcante que foi de extrema importância na realização deste trabalho. Ao professor Auzuir Ripardo, que me fez dar os passos importantes para que hoje eu pudesse estar concluindo esse trabalho. Aos meus amigos do IFCE, que sempre estiveram comigo ao longo dessa caminhada.

"Na verdade, não sabemos até onde vamos chegar, mas temos de nos esforçar para fazer algo de valor hoje e não deixar para amanhã".

Resumo

A endoscopia nasal é um exame indolor realizado para avaliação da cavidade nasal. Ele é executado através da introdução de uma fibra ótica composta por uma câmera. Atualmente, muitos simuladores veem sendo desenvolvidos para simular a execução de procedimentos médicos como esses. O objetivo disso é fornecer uma nova solução para treinamento, planejamento e ensaio de procedimentos médicos. Dessa forma, possibilitando um maior desempenho e otimização no tempo de execução dos exames. Para que essa interação ocorra, algumas premissas devem ser seguidas e aplicadas ao modelo de simulação desenvolvido como: usabilidade, controle, realismo de gráficos e sistema de *gamificação* interativo e dinâmico. Este estudo, apresenta um sistema de simulação de procedimento de exame médico na cavidade nasal para treinamento e estudo, utilizando como referência, atlas de anatomia humana em modelo tridimensional (3D) e Tomografia Computadorizada (TC) real de paciente. Com isso, são ressaltadas as patologias utilizadas como guia para o desenvolvimento dos sistemas. Este trabalho fornece também alguns dos estudos da atualidade, os dividindo em classes como: bonecos de bancada, impressão 3D, animais, *hardwares*, *softwares* e *softwares* que utilizam *hardwares* para proporcionar maior interação com o usuário. Com isso, são expostos os resultados adquiridos através das técnicas realizadas, apresentando as funcionalidades e usabilidade das duas versões do *software* e é realizada uma comparação dos sistemas desenvolvidos neste estudo com os trabalhos da atualidade que seguem a mesma temática. O software simulado foi desenvolvido para melhorar a perceptividade do usuário, proporcionando uma melhor visão de como é o procedimento de endoscopia nasal.

Palavras-chave: realidade virtual, simulação de cirurgia, simulação de procedimento médico, treinamento de cirurgia, sistemas de treinamento.

Abstract

Nasal endoscopy is a painless examination performed to evaluate the nasal cavity. It is performed by introducing an optical fiber composed of a camera. Currently, many simulators are being used to simulate medical procedures like these. The goal is to provide a new solution for training, planning and testing medical procedures. Thus, enabling greater performance and optimization in the time of the exams. For this interaction, some premises must be followed and applied to the development model developed as: application, control, graphics realism and interactive and dynamic *gamification* system. This study presents a system of simulation of medical examination procedure in the nasal cavity for training and study, using as a reference, atlas of human anatomy in the three-dimensional (3D) model and real CT scan of the patient. Thus, they are highlighted as pathologies used as a guide for the development of systems. This work also offers some current studies, dividing the classes as: bank bonus, 3D printing, animals, *hardwares*, *softwares* and *softwares* that use *hardwares* to offer greater interaction with the user. With this, the results acquired through the performed techniques are exposed, presented as the functionalities and the uses of the two versions of *software* and a comparison of the recently studied systems with the current works that follow the same theme is performed. The simulated *software* was developed to improve the user's perception, using a better view of the nasal endoscopy procedure.

Keywords: surgery simulation, medical procedure simulation, surgery training, training systems.

Lista de Figuras

1	Escala em unidades Hounseld de estruturas do corpo humano.	27
2	Painel de interface de edição da Unity.	42
3	Painel de interface de edição do Blender.	44
4	Painel de interface do InVesalius.	46
5	Diagrama de desenvolvimento do sistema.	55
6	Painel de interface de desenvolvimento da Unity elaborando projeto da primeira cena.	58
7	Painel de interface de desenvolvimento da Unity elaborando projeto da segunda cena do sistema com uso de atlas.	60
8	Configuração para filtragem do exame no <i>software</i> InVesalius: (a) configuração de máscara e (b) configuração de superfície 3D	63
9	Imagem de exame de tomografia em formato tridimensional com a presença de ruídos e malhas soltas.	64
10	Tratamento de malha de arquivo tridimensional de exame de tomografia computadorizada: (a) arquivo exportado pelo <i>software</i> InVesalius, (b) exposição da malha com suas vértices e faces do arquivo na superfície 3D, (c) resultado após tratamento de exclusão de malhas soltas e regiões de menor interesse, (d) exposição da malha com suas vértices e faces do arquivo na superfície 3D após tratamento e (e) visão dianteira do arquivo após tratamento.	65
11	Painel de interface de desenvolvimento da Unity elaborando projeto da segunda cena do sistema com uso de exame de tomografia computadorizada.	67
12	Diagrama de usabilidade do software.	68
13	Tela de entrada do software.	69
14	Interface de <i>gamificação</i> e modelo 3D.	70
15	Ilustração dos comandos de controle do <i>software</i> simulador: (a) tecla de navegação esquerda do teclado, (b) tecla de navegação para cima do teclado, (c) tecla de navegação para direita do teclado, (d) tecla de navegação para baixo do teclado, (e) manuseando o <i>mouse</i> para esquerda, (f) manuseando o <i>mouse</i> para frente, (g) manuseando o <i>mouse</i> para trás, (h) manuseando o <i>mouse</i> para direita, (i) tecla alfanumérica "W" do teclado e (j) tecla alfanumérica "S" do teclado.	72

16	Sequência de exibição de telas durante a execução e navegação do simulador com uso de atlas: (a) Tela de entrada do simulador, (b) tela exibida ao ser iniciado o exame, (c) tela exibida ao ser clicado na lupa, (d) tela exibida ao ser clicada na lupa, (e) tela exibida ao percorrer a cavidade nasal encontrando desvio septal, (f) tela exibida ao percorrer a cavidade nasal encontrando tumor benigno, (g) tela exibida ao percorrer a cavidade nasal encontrando hipertrofia dos cornetos, (h) tela exibida ao percorrer a cavidade nasal encontrando hipertrofia da adenoide, (i) tela exibida ao percorrer a cavidade nasal encontrando polipose nasal e (j) tela exibida ao ser clicado no botão Finalizar.	74
17	Sequência de exibição de telas durante a execução e navegação do simulador com uso de exame de Tomografia Computadorizada: (a) Tela de entrada do simulador, (b) tela exibida ao ser iniciado o exame, (c) tela exibida ao ser clicado na lupa, (d) tela exibida ao ser clicada na lupa de imersão, (e) tela exibida ao percorrer a cavidade nasal ilustrando a polipose nasal, (f) tela exibindo a reação de toque ao tocar com a ponta da ferramenta em paredes mole, (g) tela exibindo a presença de tumor benigno, (h) tela exibindo a presença da hipertrofia da adenoide e (i) tela exibida ao ser clicado no botão Finalizar.	76
18	Comparação de resultados de modelagem de malha e texturas: (a) imagem de polipose nasal, (b) polipose nasal modelada para simulador, (c) imagem da cavidade nasal, (d) imagem da cavidade nasal do simulador utilizando Tomografia Computadorizada, (e) imagem mostrando reação da polipose nasal ao toque da ferramenta e (f) ilustração de deformação da malha ao sofrer toque. . .	77

Lista de Tabelas

1	Sistemas simuladores de procedimentos médicos.	50
2	Tabela de comparação de características de sistemas.	81

Lista de Siglas

ACR American College of Radiology.

HoST Treinamento Cirúrgico Hands-on.

MTL Material Template Library.

MSCT Multi-slice Computer Tomography.

NEMA National Electrical Manufactures Association.

PSVR Patient Specific Virtual Reality.

RV Realidade Virtual.

RGB Red Green Blue.

SPECT Single Photon Emission Computed Tomography.

TC Tomografia Computadorizada.

UH Unidades Hounseld.

XML Extensible Markup Language.

2D 2 Dimensões.

3D 3 Dimensões.

Sumário

1	Introdução	16
1.1	Objetivos	19
1.2	Organização da dissertação	20
2	Fundamentação Teórica	21
2.1	Etiologias causadoras da obstrução nasal	21
2.1.1	Desvio septal	22
2.1.2	Hipertrofia de cornetos inferiores e médios	23
2.1.3	Polipose nasal	24
2.1.4	Hipertrofia de tonsilas faríngeas	24
2.1.5	Tumores na cavidade nasal	25
2.2	Aquisição de imagens de tomografia	26
2.3	Arquivos DICOM	27
2.4	Técnica de segmentação por Watershed	28
2.4.1	Considerações finais do capítulo	30
3	Estado da Arte	31
3.1	Métodos atuais de simulação de procedimento médico	31
3.1.1	Bonecos de bancada	33
3.1.2	Impressão 3D	33

3.1.3	Animais	35
3.1.4	Hardwares	36
3.1.5	Softwares	37
3.1.6	Hardwares e Softwares	38
3.2	Softwares utilizados para desenvolvimento do simulador	40
3.2.1	Unity	41
3.2.2	Blender	43
3.2.3	InVesalius	45
3.3	Arquivos OBJ	47
3.4	Simuladores para treinamento de procedimentos médicos na literatura	48
4	Metodologia	53
4.1	Material	53
4.1.1	Desenvolvimento dos simuladores	54
4.2	Metodologia proposta	56
4.2.1	Sistema utilizando atlas	57
4.2.2	Sistema com uso de exame de tomografia computadorizada	61
4.2.3	Operação do sistema	68
5	Resultados	71
5.1	Operação do controle do software	71
5.2	Sistema com uso de atlas	73
5.3	Sistema com uso de exame de tomografia computadorizada	75
5.4	Avaliação de malha e texturas	75

5.5	Método para levantamento de resultados	78
5.6	Considerações finais do capítulo	82
6	Conclusão	83
	Referências Bibliográficas	86

INTRODUÇÃO

É notória que a curva de aprendizado para técnicas de procedimentos de procedimentos médicos é íngreme (YOSHIDA *et al.*, 2008; MIZOI, 2011; NACUL; CAVAZZOLA; MELO, 2015; DIAS NETO, 2017). Em grande parte, essas habilidades podem ser adquiridas por disseções cadavéricas tanto em seres humanos quanto em animais. Entretanto, considerações éticas, religiosas e legais podem interferir com esse paradigma em diferentes regiões do mundo. Fatores como esses, levam a comunidade médica e científica a buscarem cada vez mais, meios de tergiversar as problemáticas que circundam o assunto. Assim, é possível observar os constantes crescimentos da procura de melhorias na qualidade dos procedimentos médicos, levando a profissionais da área buscar na tecnologia, um meio de proporcionar a evolução das técnicas hoje trabalhadas. Dessa forma, causando um aumento cada vez maior em pesquisas tecnológicas no que diz respeito a realidade virtual (RV) e simuladores de procedimentos médicos. Através desses meios, é possível treinar, aprimorar e desenvolver as habilidades das quais se busca na formação do profissional.

Um simulador é definido como um dispositivo ou sistema que é usado para treinar pessoas, imitando as situações existentes na realidade. Ele permite que os usuários ganhem experiência por meio de pistas visuais, auditivas ou táteis realistas (VALENTINE; PADHYE; WORMALD, 2016). Com isso, os principais objetivos da simulação de procedimentos médicos são de proporcionar a aquisição de excelência de habilidades em análises e transferência de técnicas aprendidas para o corpo dos pacientes (COSTA *et al.*, 2019; LUCAS, 2018).

Existem vários tipos diferentes de simuladores de procedimentos médicos, cada um com vantagens e desvantagens. Os sistemas de bancada são facilmente portáteis, de menor custo e não requerem supervisão específica, mas são os menos realistas e inanimados. Os cadáveres, também utilizados para treinamento e simulação de procedimentos médicos, são os mais anatomicamente precisos e possuem alta fidelidade (FORTES *et al.*, 2016). Entretanto, necessitam de um maior investimento financeiro e logística. Além disso, a forma de preservação a base de formol, mostra-se precária, sobretudo porque altera os tecidos com o decorrer do

tempo (MARTELLI *et al.*, 2016). Com o atraso da renovação de novos modelos e a deterioração causada pelo uso repetitivo por diferentes turmas, o profissional se depara com situações de dilaceração intensa e desgaste de tecidos e órgãos, que se deterioram, exauridos quase que completamente do seu estado natural (ZIELAK; DELIBERADOR, 2011), o que acarreta em uma defasagem no aprendizado e na aquisição do conhecimento, levando o aluno a encarar uma prática clínica com enormes lacunas. Assim, erros podem acontecer durante a realização primária dos procedimentos em pacientes (COELHO *et al.*, 2015).

Simuladores de realidade virtual são reutilizáveis e anatomicamente precisos, com *feedback* objetivo imediato; mas o senso de realismo varia muito e também pode parecer inanimado. Os sistemas com uso de animais, desempenharam um papel importante na educação e treinamento cirúrgicos e tem sido usados no campo da medicina desde 384 a.C. Os animais vivos têm um alto nível de fidelidade e oferecem a experiência mais realista em relação às lesões vasculares. As principais desvantagens incluem diferenças anatômicas, altos custos e instalações especiais, além da dubiedade ética e das leis de bem-estar do animal que precisam ser abordados com sensibilidade e de forma apropriada (VALENTINE; PADHYE; WORMALD, 2016).

Atualmente, existem muitos projetos e plataformas com o intuito de cumprir o objetivo de fidelizar ao máximo o procedimento cirúrgico ideal. Entre elas é possível citar: a Plataforma de Educação Cirúrgica (SEP; SimSurgery, Oslo, Noruega) (GAVAZZI *et al.*, 2011), o dV-Trainer (Mimic, Seattle, WA, EUA) (KENNEY *et al.*, 2009), o Simulador de Competências Da Vinci (dVSS; Intuitive Surgical) (JUDKINS; OLEYNIKOV; STERGIOU, 2009) e o RobotiX Mentor (Sistemas 3D, Produtos Simbionix, Cleveland, OH, EUA) (WHITTAKER *et al.*, 2016).

Com o objetivo de melhorar a destreza, coordenação e as habilidades motoras finas dos estudantes, houve um aumento da procura de sistemas e plataformas como essas por faculdades e instituições de ensino (IBÁÑEZ; DELGADO-KLOOS, 2018). Treinamentos com tecnologias como essas veem sendo implantadas com intuito de se tornar parte integrante da educação e formação dos estudantes. Essa forma de ensino pode ser observada há muito tempo em várias áreas, inclusive na área da saúde (PÉREZ; MONTANET; SÁNCHEZ, 2017), no campo da aviação em 1997 (HELMREICH, 1997). Kreitler, Heim & Smith (1995) e Bossak (1998) descrevem as vantagens da utilização da realidade virtual na indústria. Já na medicina (CHOWRIAPPA *et al.*, 2015), os treinamentos realizados com esse tipo de tecnologia, tornou possível a maximização da agilidade, eficiência e eficácia no gerenciamento de emergências médicas e a minimização de riscos em procedimentos operatórios (WOLFORD, 2016).

Assim, é possível notar a realidade virtual, juntamente com os simuladores de procedimentos médicos, como uma das grandes aliadas que melhora a percepção sensorial do usuário quando se exige um conhecimento prévio em procedimentos realizados no mundo real. Isso, se deve aos simuladores que propiciam a imersão sensorial, a navegação e a manipulação, onde promovem e criam resultados positivos no aprendizado (HWANG *et al.*, 2009).

A grande vantagem desse tipo de interface é a possibilidade utilizar o conhecimento intuitivo, adquirido e utilizado comumente no nosso cotidiano para manipular o mundo virtual. Assim, o usuário entra no espaço virtual das aplicações e visualiza, manipula e explora os dados da aplicação em tempo real, usufruindo de um alto grau de interações, usando seus sentidos, particularmente os movimentos naturais tridimensionais do corpo (VALERIO NETTO; TAHARA; PORTO FILHO, 1998). Assim, a simulação de procedimentos médicos fornece treinamento de fidelidade para aumentar a difusão de procedimentos inovadores e menos invasivos enquanto diminui a curva de aprendizado do cirurgião, o que leva a duas questões-chave na concepção e implementação de simulação cirúrgica, verossimilhança e precisão, realismo da simulação e treinamento, modalidades para facilitar a transferência e geração de habilidades no desempenho de tarefas emuladas na condição de teste. Este último abrange os aspectos tais como cenários, modos de formação e avaliação de desempenho (SHEN *et al.*, 2007).

Apesar dos grandes benefícios proporcionados com as diversas tecnologias de simuladores de procedimentos médicos, ainda existem poucos estudos e pesquisas que fornecem uma vasta explanação sobre os efeitos educacionais e as inferências desses simuladores nos usuários na atualidade (DOURADO; GIANNELLA, 2014). Assim, este estudo analisa e sintetiza de forma sistemática os trabalhos realizados na atualidade na prática de simuladores de procedimentos médicos. Dessa forma, mostrando uma visão geral dos simuladores de procedimentos médicos atuantes no mercado e como estão as transferências de habilidades para o nível de proficiência do usuário. Ao mesmo tempo, é proposto um sistema simulador que visa fazer parte integrante dessa comunidade científica. Contribuindo e agregando o valor necessário para o tratamento de patologias humanas.

Este trabalho apresenta um sistema simulador capaz de simular o procedimento médico de endoscopia nasal para a navegação e identificação de patologias presentes na cavidade nasal, com intuito de ajudar alunos iniciantes, proporcionando facilidade e acessibilidade para que possam adquirir o conhecimento necessário, desenvolver as suas habilidades e capacidade de percepção. Este projeto tem como diferencial, o foco principalmente em realismo de simulação por tecnologias promissoras como Unity 3D e que através de um conjunto de ferramentas, tenta aproximar-se a situação da vida real por meio de recursos gráficos avançados. A motivação para a escolha das

doenças presentes neste trabalho, partem do princípio de que fazem parte das principais doenças causadoras da obstrução nasal (RODRIGUES *et al.*, 2011). No caso do tumor em particular, por ser mais raro de acontecer, a sua presença no simulador é importante para facilitar a identificação em casos mais complexos. Nas doenças simuladas, estão aplicadas texturas e materiais característicos que fazem referência ao real. Durante a simulação, cada doença, assim como as paredes da cavidade nasal, possuem reações ao toque, o que proporciona interatividade às simulações. Além disso, o fato do sistema ser desenvolvido para computadores facilita a acessibilidade ao sistema, uma vez que as suas ações de controle foram desenvolvidas para o uso de periféricos de computadores comuns como teclado e mouse.

Com as inovações virtuais, as simulações dos ambientes médicos reais e das interações do usuário podem ser alcançadas em grande medida. Nesse sentido, é proposto neste trabalho uma metodologia para a construção de um simulador computacional de endoscopia nasal, considerando tanto modelo virtual do corpo humano, como modelo real do corpo humano, proveniente de exame de TC.

1.1 Objetivos

Objetivo Geral

Esta dissertação tem como objetivo geral desenvolver um *software* de computador capaz de simular o procedimento médico de endoscopia nasal para a identificação de doenças presentes na cavidade nasal.

Objetivos Específicos

- Definir metodologia para construção de ambiente de simulação utilizando atlas
- Definir metodologia para construção de ambiente de simulação utilizando exames de TC
- Desenvolver simulador de endoscopia nasal com a presença de doenças utilizando atlas em modelo 3D;
- Desenvolver simulador de endoscopia nasal com a presença de doenças utilizando exame de TC real de paciente;
- Desenvolver simulador de endoscopia nasal de acordo com as premissas de interação;
- Aplicar e avaliar propriedades que caracterizam boa interação do usuário com o simulador;
- Aplicar e avaliar o conceito de *gamificação* utilizando seus princípios no sistema simulador;

1.2 Organização da dissertação

Capítulo 2: Neste capítulo, são mostrados os *softwares* que foram utilizados como referência para o desenvolvimento deste trabalho, bem como as doenças que serviram de base para o desenvolvimento do simulador.

Capítulo 3: Neste capítulo, é apresentada a definição dos conceitos utilizados no trabalho. Expondo o conjunto de revisão de textos, artigos, livros e todo material pertinente da área médica e de desenvolvimento desta obra. Além disso, são mostrados os mais diversos métodos utilizados para simulação de procedimentos médicos.

Capítulo 4: Neste capítulo, será discursado como ocorreu o desenvolvimento das duas versões dos *softwares*, apontando as suas características e particularidades, assim como toda a sua metodologia utilizada.

Capítulo 5: Neste capítulo, é explicado como é feita a utilização do sistema, exibindo de forma ilustrativa ao usuário o passo a passo de usabilidade do controle, funcionalidades e exibição de cenas. Dessa forma, apresentando os resultados experimentais e de validação dos materiais, malhas, texturas e iluminação.

Capítulo 6: Por fim, neste capítulo é exposta a conclusão do trabalho, expressando a coerência da obra e fidelidade entre os resultados esperados e obtidos.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Controle e realismo são premissas de extrema importância para garantir imersão ao usuário quando se refere a realidade virtual. Esses princípios dificilmente são aplicados em conjunto com perfeição. Isso se deve a falta de conhecimento das ferramentas utilizadas para o desenvolvimento da aplicação ou até mesmo da falta de instrução sobre o assunto a ser simulado. Dessa forma, para obter um maior grau de realismo no resultado final de projetos com essa finalidade, é necessária a utilização de referências que possam transmitir o conhecimento necessário. Sendo assim, *softwares* como Unity (UNITY TECHNOLOGIES, 2019) e Blender (BLENDER FOUNDATION, 2019), podem proporcionar resultados satisfatórios quando aliados a um bom conhecimento prévio sobre o assunto a ser desenvolvido.

Neste capítulo, serão mostradas algumas etiologias responsáveis pela ocorrência da obstrução nasal, apontando suas características e expondo seus conceitos. Em seguida, serão expostos os *softwares* utilizados para desenvolvimento do simulador destacando suas vantagens. Além disso, será mostrado como ocorre a aquisição de imagens de TC para obtenção de arquivos DICOM e por fim, será exposto como funciona a técnica de segmentação de *Watershed* e a definição de arquivos OBJ.

2.1 Etiologias causadoras da obstrução nasal

Um sintoma comum que atinge aproximadamente 25% da população (RODRIGUES *et al.*, 2011). Nesse meio é possível citar três grupos etiológicos causadores de sintomas de congestão/obstrução nasal, entre os quais as alterações da mucosa nasal, alterações estruturais e alterações sensitivas. No primeiro grupo encontram-se tipicamente associadas à congestão nasal flutuante, no segundo estão os causadoras de obstrução nasal objectiva e no terceiro estão representados por um componente importante percebido durante a avaliação do doente (LAVRIV, 2016). Entre as principais etiologias causadoras da obstrução nasal está a hipertrofia dos cornetos médios e inferiores. Estas patologias ocorrem pela presença do quadro de rinopatia alérgica, rinite vasomotora e desvio

septal. Outras doenças comuns são polipose nasal e hipertrofia de tonsilas faríngeas, em que na maioria das vezes exige a necessidade da endoscopia nasal como procedimento para o tratamento (RECKER; III, 2016).

Existem uma gama de opções para quem necessita de tratamento clínico dessas doenças. Anti-histamínicos, corticoide tópico nasal e solução salina são as principais drogas utilizadas. Outras opções como vasoconstritores e injeção de corticoides são usadas em menor escala devido aos potenciais efeitos deletérios (HAMERSCHMIDT *et al.*, 2016). No caso, na falha do controle clínico, indica-se geralmente um procedimento cirúrgico para redução do volume dos cornetos inferiores. As principais técnicas descritas são: turbinectomia total ou parcial, turbinoplastia, ressecção submucosa, turbinoplastia laser assistida, criocirurgia, tratamento com luz infravermelha, cirurgia de plasma de argônio, aplicação tópica de AgNO₃, eletrocautério monopolar e bipolar e redução volumétrica dos tecidos por radiofrequência (HOL; HUIZING, 2000).

O tratamento e a cura destas patologias se tornam importantes devido causar muitas interferências no cotidiano do doente. A obstrução nasal dificulta a realização de exercícios físicos, causa cansaço e irritabilidade, assim, dificultando a qualidade de vida em termos físicos e mentais. Em crianças, a patência é fundamental para o desenvolvimento crânio-facial. Além disso, crianças respiradoras bucais tendem a desenvolver palato ogival, face alongada e retrognatia perpetuando a obstrução nasal nos futuros adultos (RODRIGUES *et al.*, 2011).

A endoscopia nasossinusal é citada na comunidade médica como um exame padrão para avaliação precisa da doença obstrutiva nasal e é considerada necessária em todo paciente com tal etiologia, especialmente a partir da segunda semana de evolução. A turbinectomia ou turbinoplastia é um procedimento cirúrgico que abre as vias nasais, removendo ossos e tecidos moles. O objetivo principal desse tipo de cirurgia é melhorar a respiração através da abertura da cavidade nasal. Quando os tratamentos tradicionais não são bem sucedidos, é comum o médico recomendar a realização da turbinoplastia e entre outros procedimentos cirúrgicos, usada na maioria das vezes para obstrução nasal.

2.1.1 Desvio septal

O septo nasal é uma estrutura ósseo-cartilaginosa no centro do nariz que tem a função de separar os dois lados do nariz, permitir o fluxo de ar, e ajudar o nariz a executar suas funções como o aquecimento, umidificar, filtrar, ajudando com o olfato e a fonação (ROITHMANN *et al.*, 2005). Grande parte das obstruções nasais são causadas por algum tipo de alteração do septo nasal associada a deformações (OTORRINOLARINGOLOGIA, 2011). A

cirurgia septal é um dos procedimentos mais comuns realizados em Otorrinolaringologia (DUBIN; PLETCHER, 2009).

Quando ocorre o desvio do septo, pode haver a obstrução nasal, o que é uma queixa muito comum pelos pacientes. Muitas vezes seu diagnóstico é feito apenas por exame de otorrinolaringologia, que envolve a rinoscopia com o uso do espéculo nasal (OTORRINOLARINGOLOGIA, 2011).

O bloqueio da via respiratória causado pelo desvio septal é uma causa de obstrução nasal. Embora seja um transtorno do trato respiratório, a avaliação dessa alteração anatômica não é classificada quanto ao nível de obstrução nasal, e sim parte das vezes pela descrição da queixa do paciente (OLIVEIRA *et al.*, 2005). Na classificação dos tipos de desvio do septo nasal, não há exame padrão-ouro que julgue a permeabilidade nasal e, além disso, há pouco predomínio na literatura.

Isso se deve ao fato de ser praticamente impossível atestar se há relação entre o desvio do septo nasal e a obstrução nasal e suas consequências, como alterações na qualidade de vida e no sono noturno como ronco e apneia; alterações ortodônticas; rinossinusite; sequelas crescentes e distorção craniofacial. Isso porque, o desvio de septo nasal são deformações que podem ocorrer ou não, especialmente nos casos de redução parcial da permeabilidade nasal (OLIVEIRA *et al.*, 2005).

2.1.2 Hipertrofia de cornetos inferiores e médios

A hipertrofia de cornetos, geralmente está associadas ao diagnóstico da rinopatia inflamatória, ocorre a inflamação da conchas nasais que quando hipertrófica, pode obstruir a porção posterior da cavidade nasal e impedir ou dificultar a respiração nasal (DIFRANCESCO *et al.*, 2006).

Em uma pesquisa realizada para investigar as principais manifestações clínicas em crianças de 3 a 9 anos, residentes na região urbana de Abaeté (MG), concluíram que estão presentes como principais causadoras da obstrução nasal: rinite alérgica (81,4%), hipertrofia de adenoides (79,2%), hipertrofia de amígdalas (12,6%) e desvio obstrutivo do septo nasal (1,0%) (ABREU *et al.*, 2008).

Segundo Ianni Filho, Bertolini & Lopes (2006), com relação à imagem dos cornetos nasais, a telerradiografia cefalométrica lateral tornaria possível a realização de análises para o diagnóstico de hipertrofia dos cornetos inferior e médio e para a cauda do corneto inferior. O exame radiográfico apresenta alta sensibilidade, entretanto baixa especificidade no diagnóstico de hipertrofia dos cornetos nasais inferior e médio, quando comparado ao diagnóstico

endoscópico nasofaringeano.

Essas informações podem ajudar o ortodontista a sugerir o diagnóstico inicial de rinite hipertrófica crônica com envolvimento de hipertrofia dos cornetos nasais, o que dará a possibilidade de confirmação ou não pelo otorrinolaringologista. Dessa forma, é de fundamental relevância o conhecimento da localização crítica da cauda do corneto inferior e do sua iminência obstrutiva quando se apresenta no quadro hipertrófico (DUARTE; SOLER; ZAVAREZZI, 2005).

2.1.3 Polipose nasal

Em 1985, Kennedy apresentou um procedimento difundindo o termo “cirurgia endoscópica funcional” (Functional Endoscopic Sinus Surgery). Desde então, proporcionou até os dias de hoje, vários avanços da técnica (KENNEDY, 1985). O tratamento é indicado no caso da ocorrência da rinossinusite crônica por proporcionar melhoria da qualidade de vida dos pacientes (LEE *et al.*, 2020). Sendo esse um dos principais objetivos desse procedimento cirúrgico (CHOE; CHOE; JI, 2019).

Após vinte anos de pesquisa, Bunzen *et al.* (2006), definiu a polipose nasal ou nasossinusite, como uma doença degenerativa da mucosa onde existe o arranjo de múltiplas formações polipóides nas cavidades nasais e seios paranasais, no qual não se sabe ao certo os causadores da sua existência (BUNZEN *et al.*, 2006). É uma etiologia de manifestação clínica que pode servir de sobreaviso para investigação de fibrose cística (PEREIRA *et al.*, 2017; VASCO; MORAIS; AVELINO, 2020). Em um trabalho que avaliou a incidência de pólipos nasais em crianças e adolescentes, sua associação com idade, sexo, sintomas clínicos, achados laboratoriais e genótipo, e sua evolução com corticoterapia tópica, a interação de pneumopediatra e do otorrinolaringologista é fundamental para diagnóstico e seguimento. A técnica cirúrgica endoscópica atualmente é vista como tratamento padrão na polipose nasal (WEBER; FERRARI, 2008). Tendo como base, os fundamentos já introduzidos em 1990 por Messerklinger que priorizam a função dos espaços pré-etmoidais, em uma intervenção dirigida e precisa do nariz, o que proporciona uma boa passagem do ar e drenagem dos seios da face (STAMMBERGER; POSAWETZ, 1990).

2.1.4 Hipertrofia de tonsilas faríngeas

A hipertrofia das tonsilas faríngeas e também das palatinas é extremamente comum em grande parte das crianças, sendo uma das etiologias mais constantes do consultório do otorrinolaringologista e assim, se tornando uma

das grandes preocupações dos pais com o ronco das crianças (BOROX *et al.*, 2018). O que leva aos mesmos buscarem o quanto antes pelo procedimento de adenotonsilectomia, devido ao fato de apresentar impacto relevante na qualidade de vida das crianças com hipertrofia das tonsilas. O procedimento cirurgico adenotonsilectomia, propiciou significativo aumento de pessoas curadas dessa doença. O ronco e a obstrução nasal são os principais sintomas (MARMITT *et al.*, 2009).

O diagnóstico correto desta anomalia é importante para o correto planejamento terapêutico. Desse modo, estudos têm sido desenvolvidos com intuito de fornecer contribuições quanto aos procedimentos que podem ser realizados para o diagnóstico de bloqueio faríngeo. A análise da hiperplasia de tonsilas faríngeas pode ser realizada pela nasofibrofaringoscopia e pela cefalometria, pois estes exames apontam uma relação positiva. Apesar disso, observou-se que a cefalometria tende a minimizar o tamanho da tonsila faríngea em relação à nasofibrofaringoscopia. Mostrando assim, a relevância do procedimento. A nasofibrofaringoscopia é uma forma de endoscopia nasal de forma mais completa, pois além de avaliar o nariz, é examinado também a laringe (RITZEL *et al.*, 2011).

2.1.5 Tumores na cavidade nasal

Estas anomalias não são consideradas comuns na rotina diária do médico otorrinolaringologista. Dessa forma, sendo raras as vezes que se depara com esse tipo de doença na sua vida profissional. Apresentam sintomatologia inespecífica, geralmente como quadro de sinusopatia crônica rebelde a tratamento, sendo muitas vezes tratado como tal por longos períodos. Sendo assim, por se tratar de casos complexos e isolados, é comum a falta de experiência e de suspeitas, o que impacta em diagnósticos tardios nos pacientes já em estágios avançados, prejudicando as possibilidades de um tratamento efetivo. Os diagnósticos diferenciais dos tumores que ocorrem nesta área, são bastante extensos, podendo haver inúmeras classificações (KUMAR; VERMA, 2018). O diagnóstico diferencial com tumores malignos é de fundamental importância, pois apresentam radiologicamente de forma semelhante, pelo menos em início, mas necessitam de um tratamento oncológico específico (MEIRELLES, 2008). Devido raridade, há uma certa dificuldade para definir o padrão ouro referente aos cortes cirúrgicos a serem realizados para sua retirada. estabelecido de ressecção craniofacial (LUND; HOWARD; WEI, 2007). Neste sentido, a cirurgia endoscópica, teve seu papel gradualmente alargado para abranger o leque de patologias, incluindo tumores sinonasais, facilitado pela capacidade de reparar defeitos significativos na base do crânio (LI *et al.*, 2019).

Alguns sintomas podem confundir e prejudicar o diagnóstico correto da patologia, como a congestão nasal e rinorreia que é um tipo de escoamento abundante de fluido pelo nariz, com ausência de fenômeno inflamatório, onde podem levar por meses ou até anos antes que se acerte o diagnóstico de massa nasal. O diagnóstico diferencial em relação às etiologias benigna e maligna de uma massa nasal em uma criança é amplo, e uma biópsia cirúrgica é necessária para um diagnóstico patológico definitivo. Os pólipos nasais são frequentemente a primeira impressão da massa da cavidade nasal em crianças (LI *et al.*, 2019).

2.2 Aquisição de imagens de tomografia

Em aquisições de imagens de tomografias axiais, uma máquina realiza disparos de radiações constituídas por fótons de raios X que tem a capacidade de ionizar indiretamente o material. Esse processo, está diretamente relacionado com o transporte de fótons e elétrons para dentro de um material. No caso de uma tomografia axial, cada disparo produz uma imagem de corte transversal da anatomia do paciente. Em casos de uma tomografia helicoidal, a mesa é deslocada continuamente durante o disparo e a fonte de raios X realiza movimentos helicoidais em torno da mesa. Dessa forma, são adquiridas informações em vários planos. Como resultado, é obtida uma matriz tridimensional que consiste em uma série de cortes bidimensionais que correspondem a diferentes seções transversais da anatomia do paciente. O parâmetro que caracteriza a tomografia helicoidal é o tom, que é definido por: $p = b/NT$ onde b é a distância que a mesa avança durante uma rotação completa da fonte, N é o número adquirido por cada rotação, T é a largura de cada canal de detecção ativo. Juntos, NT representa a largura total de irradiação de uma tomografia (RAMÍREZ, 2019), assim:

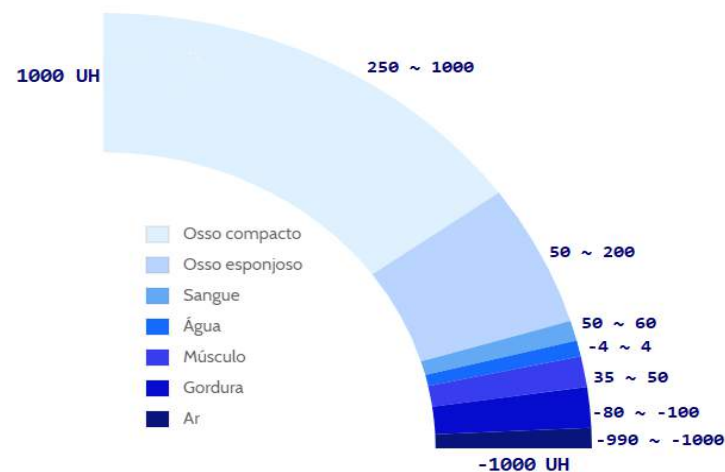
- Se o valor de p for apresentado com um número menor que 1, os feixes de raios X correspondentes a rotações se sobrepõem;
- Se o valor de p for apresentado com um número maior que 1, os feixes de raios X correspondentes a rotações, deixam espaços sem irradiar entre si.

Após completar o circuito no entorno da região selecionada, todo o circuito se repete. Dessa forma, dependendo do valor de p utilizado, existe a possibilidade de que cada corte seja sobreposto por cortes próximos, assim possibilitando obter imagens de tomografia com uma resolução espacial muito fina, chegando a valores menores que 0,3mm por fatia. Com isso, dependendo da máquina utilizada, é possível ajustar a distância dos disparos realizados, resultando diretamente na qualidade da obtenção de cada imagem e dos espaços entre elas

(RAMÍREZ, 2019).

No caso de arquivos DICOM em imagens de TC, cada uma das fatias possui uma escala de densidade radiográfica representada em níveis de cinza, os quais são depois traduzidos na escala de Unidades Hounseld (UH). Os tons mais claros representam tecidos mais densos, e os mais escuros, tecidos menos densos, como a pele e o cérebro. Nesta escala, é possível observar a alteração dos valores em UH, permitindo contemplar a variação quanto aos tipos de tecidos e suas respectivas faixas de densidade (CAVALCANTE, 2016). Esses valores podem ser observados na Figura 1.

Figura 1: Escala em unidades Hounseld de estruturas do corpo humano.



Fonte: Adaptada de Siemens (2004).

A TC trabalha tradicionalmente em uma escala de 16 bits, porém usualmente são medidos valores entre -3000 a 1000 UH. Em alguns *softwares* de visualização de exames que utilizam arquivos DICOM, permitem a filtragem dos valores de UH presentes no exame. O *software* InVesalius possui uma ferramenta com valores pré-definidos de limiares correspondentes aos valores de UH de cada estrutura do corpo humano. A ferramenta permite criar máscaras para segmentar regiões que se deseja destacar.

2.3 Arquivos DICOM

O DICOM é um padrão de arquivos para comunicação e armazenamento destinados a imagens médicas. A sua arquitetura é composta por um padrão que permite a troca de informações entre modalidades e também definições de protocolos de comunicação. O padrão foi desenvolvido por um comitê de trabalho, formado por membros

do “American College of Radiology” (ACR) e da “National Electrical Manufacturers Association” (NEMA) que iniciou os trabalhos em 1983, com a emissão dos primeiros arquivos (RAMÍREZ, 2019).

Apesar das mudanças e ajustes técnicos que ainda possam acontecer devido à otimização, considera-se que o padrão esteja completo de informações que suprem a necessidade dos profissionais. Devido o DICOM ser um padrão de comunicação de uso amplo, ele está sendo implementado por diversas companhias tecnológicas e produtoras que desenvolvem equipamentos de imagens médicas. Sendo assim, alvo de grandes pesquisas de inovação, o que pode levar no futuro, a um padrão melhor otimizado. Divergindo dos outros formatos de imagens tais como (JPEG, PNG, TIFF e GIF), o padrão DICOM permite que as informações dos pacientes sejam armazenadas juntamente com a imagem, mas de forma estruturada. Isto é, elas são armazenadas contendo delimitadores, conhecidos como “tags”, que identificam e limitam as informações (CAVALCANTE, 2016). Entretanto, o arquivo propriamente dito no padrão DICOM é baseada no formato JPEG, com ou sem compressão, dependendo do equipamento que a gerou. A grande vantagem dessa estrutura, é permitir a leitura do arquivo e a extração das informações necessárias, de forma a proporcionar o gerenciamento das imagens e dos dados dos pacientes, mantendo sua integridade (NEMA *et al.*, 1998).

2.4 Técnica de segmentação por Watershed

Partindo do princípio que objetos numa imagem com tons de cinza, são regiões formadas por pixels conectados, devido possuírem valores de tons de cinza semelhantes, é possível propor a extração de um desses objetos ou regiões usando as propriedades de sua vizinhança. Sendo assim, é admissível pressupor que havendo a diferença visível em níveis de cinza, entre dois pixels vizinhos, pode-se interpretar que estes pertençam a dois objetos distintos na imagem (FIRMINO FILHO, 2015).

Para que seja possível destacar um desses objetos da imagem, é preciso utilizar-se de técnicas de segmentação. Entre as mais utilizadas, existem duas abordagens de segmentação: detecção de bordas e crescimento de regiões. No caso do crescimento de regiões, são localizadas regiões homogêneas. O crescimento destas regiões é baseado em medidas de similaridade combinando atributos espaciais ou espectrais e é realizado até que todos os pixels da imagem estejam associados a uma região (MUSTAQUEEM; JAVED; FATIMA, 2012). As técnicas de detecção de borda atuam de maneira diferente. No caso, um objeto contido numa imagem normalmente possui dentro dela, pouca variação em tons de cinza. Então, uma variação brusca de nível de cinza na vizinhança de um pixel

caracteriza essas bordas. Sendo assim, concluímos que a tarefa de um detetor de bordas é encontrar essas variações. Entre as principais ferramentas da morfologia matemática que utiliza de técnicas de segmentação é a de *Watershed*, que consiste numa combinação das técnicas citadas anteriormente (LUCAS, 2014).

A Técnica de segmentação por *Watershed*, é baseado no nível de gradiente dos pixels. Neste método, a imagem é interpretada como sendo um relevo topográfico, onde as intensidades nos gradientes de cinza são interpretadas como altitude neste relevo. Basicamente, o termo bacia é relacionado à água, significa que a água é drenada em uma área específica. As barragens são classificadas como *Watershed* e toda a parte segmentada é bacia hidrográfica. (MEENAKSHI; JHA; MUKHERJEE, 2018). No processamento de imagens, os valores de gradiente dependem da intensidade do pixel. A região do gradiente de maior intensidade é *Watershed*, que é dividido nos mínimos locais mais próximos (DHAGE; PHEGADE; SHAH, 2015).

No caso, o agente gradiente morfológico de uma imagem pode ser utilizado para obter o contorno em imagens binárias ou para ressaltar os contornos em imagens em tons de cinza, assim como é possível observar na equação 2.1 (ARAUJO, 2010).

$$g(I) = (I \oplus B) - (I \ominus B) \quad (2.1)$$

Na equação, $g(I)$ representa a função gradiente, (I) é a imagem original, $(I \oplus B)$ é a dilatação de $(D_B(I))$ utilizando o elemento estruturante B e $(I \ominus B)$ retrata a erosão $(\in_B(I))$ de (I) usando o elemento estruturante B .

Através dos elementos utilizados, é possível obter também o gradiente interno, denominado g^- e que é definido pela equação 2.2. Sendo essa, a diferença entre a imagem original e sua erosão, ressaltando os contornos internos dos objetos da imagem. Ao passo que o gradiente externo g^+ é representado pela equação 2.3, sendo a diferença entre a imagem dilatada e a original, reforçando os contornos externos dos objetos.

$$g^-(I) = I - \in_B(I) \quad (2.2)$$

$$g^+(I) = D_B(I) - I \quad (2.3)$$

Dessa forma, é possível concluir que o *Watershed* é um método morfológico, onde os valores do gradiente

dos pixels da imagem são calculados, estruturando um relevo topográfico com menores gradientes formando os vales e os maiores formando as montanhas. Os contornos que formam as bordas são obtidos a partir das regiões de convergência das bacias formadas pela inundação, sendo os pixels destas bacias agrupados a partir da busca de valores próximos de cada mínimo local (ARAUJO, 2010).

2.4.1 Considerações finais do capítulo

Apesar de cada patologia estar situada em regiões bastante próximas umas das outras, cada doença possui a sua própria particularidade. Sendo assim, é necessário observar, pontos específicos que ajudam na identificação e no mapeamento do distúrbio. Dessa forma, contribuindo para seu tratamento e a cura.

Em certos casos, a identificação de algumas doenças pode se tornar confusas por possuírem quadros patológicos parecidos. Nesses casos, a experiência e o conhecimento se tornam de grande relevância para uma correta identificação da doença antes da realização de quaisquer procedimentos cirúrgicos. Por esse motivo, é comum em casos onde há a ocorrência de dúvida na identificação de certas etiologias após a realização de exames, o profissional efetuar uma endoscopia para uma melhor análise da complexidade do procedimento a ser realizado. Atualmente arquivos de exames são amplamente pesquisados com o objetivo de aprimorar a qualidade dos dados adquiridos pela máquina. Sendo assim, técnicas de segmentação e identificação de doenças estão sendo aprimoradas para facilitar a identificação de problemas complexos.

ESTADO DA ARTE

Os sistemas e equipamentos de simulação de procedimentos médicos para o tratamento das mais variadas complexidades de doenças estão cada vez mais sendo utilizados como coadjutor para o aumento da taxa de eficiência e eficácia em procedimentos cirúrgicos. Dessa forma, diante de resultados satisfatórios, vários procedimentos médicos alternativos foram desenvolvidos com o objetivo de diminuir as taxas de complicações, e aumentar tanto a adequação como a realização de métodos que proporcione um maior nível de semelhança do virtual com o real como é o caso do Surgical Simulated Systems RoSS (KESAVADAS *et al.*, 2011). Em vista disso, neste capítulo será mostrado alguns dos métodos utilizados atualmente para a simulação de procedimentos médicos, expondo os mais variados métodos de simulação para planejamento e treinamento de procedimentos de exames.

3.1 Métodos atuais de simulação de procedimento médico

Atualmente as simulações de procedimentos médicos ocorrem basicamente em seis tipos: cadáveres humanos, bonecos humanóides que podem ser subdivididos em partes específicas para criação de bonecos de bancada, partes bonecos 3D impressos, utilização de animais devido a alguns órgãos possuírem meras semelhanças, hardwares e *softwares*. Em alguns casos, onde a imersão e a realidade virtual é crucial para transmitir a máxima realidade de navegação, alguns equipamentos se dedicam em fazer a união de tecnologias avançadas. É o caso dos equipamentos Mimic dV-Trainer (KENNEY *et al.*, 2009), dVSS (daVinci *skills simulator*) (JUDKINS; OLEJNIKOV; STERGIOU, 2009) e o Symbionix Robotix Mentor (WHITTAKER *et al.*, 2016) que desenvolveram equipamentos de hardware e *softwares*, juntamente com periféricos de imersão como controle manual e imagem avançada com renderização e resolução máxima. Tudo para propor um alto nível de realidade virtual e experiência aprimorada do usuário com a máquina.

Em muitos trabalhos realizados para representação gráfica de tecidos orgânicos humanos vivos, são citados

alguns tipos de simuladores em realidade virtual que transmitem maior realismo. Certos trabalhos (SHI *et al.*, 2015) e (RUTHENBECK *et al.*, 2013), empenham-se em aprimorar os aspectos gráficos de visualização. No caso, a qualidade visual das cenas virtuais beneficia o desenvolvimento de habilidades pertinentes, de acordo com o conceito de simulação PSVR (*Patient Specific Virtual Reality*). Neste contexto, técnicas de representação gráfica de tecidos orgânicos são fundamentais para o realismo de tais simulações (NUNES; MACIEL; WALTER, 2016). A computação gráfica apresenta abordagens características, que podem ser classificadas de acordo com o processo de simulação da interação entre a iluminação do ambiente simulado e o material textura orgânica desenvolvido no ambiente.

Em outro estudo, voltado para sistema de visualização de objetos com estruturas internas para emulação de procedimentos médicos, as ideias vão além. Visando contribuir e suprir a lacuna de falta de realismo em ações de corte em estruturas internas tridimensionais, é proposto um sistema gráfico interativo que permite cortes arbitrários em estruturas anatômicas, reconstruindo a textura nas superfícies da zona de corte de forma a respeitar as estruturas internas. O protótipo desenvolvido propõe que cortes definidos pelo usuário alterem modelos tridimensionais, triangulando apropriadamente a malha nas regiões de corte. No caso, foi selecionado um modelo de fígado humano com vasos, apresentando como resultado a visualização interna em tempo real desse objeto para quaisquer planos (BALREIRA, 2015). Atualmente os tipos de sistemas de simulação de procedimentos médicos são divididos em:

- Bonecos de Bancada;
- Impressão 3D;
- Animais;
- Hardware;
- Software;
- Hardware e Software;

Todas essas classificações de sistemas de treinamento são citados neste trabalho. Cada sistema é descrito detalhadamente, mostrando exemplos dos mais tradicionais aos mais avançados. Seguindo a sequência, começando de equipamentos mais básicos até alcançar os sistemas mais completos em questão de tecnologia, realismo, jogabilidade e imersão. Nessas citações, são expostos os trabalhos mais atuais referente a cada área. Assim, expondo nível de interesse dos pesquisadores e desenvolvedores em cada campo.

3.1.1 Bonecos de bancada

A forma de simulação por bonecos de bancada, é um dos mais comuns métodos utilizados atualmente devido ao seu fácil acesso, locação e por se assemelhar a cadáveres humanos ou partes do mesmo. O sistema transmite realismo com modelos de bonecos ou membros humanoides, em tamanho e cavidades internas que muito se assemelham ao real (MARIANI; PÊGO-FERNANDES, 2012).

A facilidade da criação de sistemas de simulação desse tipo proporciona acessibilidade ao conhecimento. Um exemplo disso, é a implementação de um curso de simulação de cirurgia torácica realizado em Ruanda, um país da África Oriental. A aplicação forneceu a prova de conceito da realização desse modelo de simulação em um país de renda média baixa. Dessa forma, possibilitou a aceleração da aquisição de habilidades gerais de cirurgia torácica por residentes de cirurgia geral. Com isso, conseguiu sustentar o ensino por meio de um website e cinco sistemas de simulação, o que forneceu uma experiência de aprendizado de forma prática, rápida e acessível em ambientes que não oferecem oportunidades de treinamento (RAMIREZ *et al.*, 2018).

Singal *et al.* (2015) desenvolveu um modelo seguindo a mesma temática, um modelo de treinamento para inserção do cateter suprapúbico. Para isso, utilizou-se uma reprodução em escala de uma pélvis masculina adulta com marcos ósseos. Além disso, um reservatório preenchido por fluido subcutâneo foi criada usando-se borracha de silicone curada com platina.

Estes trabalhos citados neste tópico, comprovam que estes simuladores são ferramentas úteis que podem ser integradas em programas de treinamento para facilitar o aprendizado de habilidade em procedimentos cirúrgicos. Assim, facilitando a logística de utilização da tecnologia e a acessibilidade ao conhecimento.

3.1.2 Impressão 3D

A impressão 3D, é o processo de deposição de materiais em camadas, com base em um modelo digital. A tecnologia pode ser usada para criar de protótipos e peças simples a produtos finais altamente técnicos, como implantes médicos que salvam vidas e até mesmo órgãos artificiais com o uso de camadas de células humanas (MATOZINHOS *et al.*, 2017; VENEZIANI, 2017). Esses sistemas diferencia-se dos bonecos de bancada por não fazerem parte de um modelo acabado, no qual já possua um conjunto de textura, vasos sanguíneos, órgãos e reações específicas do modelo de bancada trabalhado (MATOZINHOS *et al.*, 2017). Assim, estruturas pré-fabricadas a partir de impressão 3D, são caracterizados como biomodelos impressos que reproduzem de forma física em três

dimensões, através de software e impressora 3D, a fisionomia superficial do exame do paciente (VOLPATO, 2017).

Um trabalho publicado por Jastifer & Gustafson (2017), relata o uso de partes de estruturas impressas em 3D e simulações cirúrgicas para planejamento pré-operatório e educação do paciente, no caso de correção de deformidades em cirurgias de pé e tornozelo, utilizando software livre de código aberto. Através desse contexto, foi desenvolvido um modelo físico a partir de um conjunto de dados gerados por computador. A adoção dessa tecnologia tem sido em grande parte no contexto de instrumentação específica, a realidade na artroplastia articular, planejamento pré-operatório, ensaio de procedimentos, ferramentas educacionais e comunicação do paciente (JASTIFER; GUSTAFSON, 2017).

A tecnologia tem sido bastante útil na área da medicina, como evidencia Vaibhav Bagaria em um trabalho onde mostra a mudança de paradigma no planejamento cirúrgico através da utilização de um simulador 3Dgraphy, ressaltando a experiência das primeiras 50 cirurgias feitas por médicos usando biomodelos impressos em 3D. Assim, destaca que o biomodelo oferece a oportunidade de planejar a instrumentação e os implantes necessários, otimizando o inventário. Os cirurgiões podem simular o procedimento e, se necessário, construir gabaritos personalizados com base na doença, anatomia e preferências do paciente (BAGARIA; CHAUDHARY, 2017).

Em outro exemplo, um modelo derivado do paciente foi desenvolvido para simulação cirúrgica neuro-vascular, onde estudantes de medicina podem praticar procedimentos de recorte aneurismático. Várias formas de impressão 3D foram usadas para desenvolver um crânio e árvore vascular geometricamente precisos, apresentando 9 aneurismas derivados do paciente. A impressão 3D em conjunto com fundição elastomérica foi aproveitada para obter um modelo cerebral derivado do paciente com propriedades táteis ainda não disponíveis na tecnologia comercial de impressão 3D (RYAN *et al.*, 2016). Dessa forma, mostrando que a impressão 3D e a fundição elastomérica podem produzir biomodelos derivados do paciente para um ambiente de aprendizado dinâmico que agregue valor ao treinamento e preparação cirúrgica.

De forma semelhante, Oyama *et al.* (2015) propõem em uma simulação endoscópica de cirurgia de base craniana endonasal usando um modelo artificial de base craniana desenvolvido por sinterização a laser. Nesta simulação, é mostrada uma ferramenta útil para adquirir conhecimento anatômico e experiência cirúrgica para a realização de procedimentos médicos, evitando os problemas relacionados à infecções inerentes ao uso de amostras de cadáveres. O autor ressalta também que devido ao fato dessas habilidades permitirem ser adquiridas por disseções cadavéricas, há considerações éticas, religiosas e legais que podem interferir na aquisição do

conhecimento, trazendo relutância em diferentes regiões do mundo. O trabalho desenvolvido pelo mesmo, avaliou um modelo artificial para a simulação cirúrgica e comparou sua utilidade com a de espécimes de cadáveres. O modelo permitiu a simulação do procedimento médico do plano sagital e coronal (OYAMA *et al.*, 2015).

3.1.3 Animais

Alguns estudos apontam que certas habilidades poderiam ser aprendidas de forma eficiente e segura usando simulação com treinamento de tarefas e complexidade progressiva para produzir cirurgiões mais seguros (MOTTA; BARACAT, 2018). Em certos casos, procedimentos são realizados em animais mortos ou em órgãos extraídos dos mesmos, devido as suas equivalências com órgãos humanos e dessa forma, permitindo um realismo como tal (OLIVEIRA, 2018).

Um exemplo desse tipo de método, é o simulador para emergências vasculares em cirurgia endoscópica de seios e crânio-base. Chamado de Simulador de Neuroestresse Otorhino Neuro Trainer (SIMONT, Prodelphus, Brasil), simula o ambiente endoscópico para que as lesões carotídeas possam ser tratadas com as limitações anatômicas vistas no vestíbulo nasal humano, na cavidade nasal e no seio esfenóide. Nesse modelo mostra a reconstrução anatomicamente precisa da cavidade nasal e dos seios paranasais. Um material de silicone patenteado recria as cores, a consistência e a elasticidade da mucosa nasal e da arquitetura óssea dos seios paranasais. Utiliza-se instrumentação cirúrgica de rotina e base do crânio e fornece a resistência tecidual realística encontrada durante a cirurgia endonasal (VALENTINE; PADHYE; WORMALD, 2016). Esse modelo de simulação de procedimento médico, é visto como um dos mais bem conceituados nessa tratativa.

Um outro treinamento baseado em simulação em cirurgia cardíaca, aplicou módulos de treinamento da circulação extracorpórea, revascularização do miocárdio, troca valvar aórtica, embolia gasosa maciça, dissecação aguda da aorta intraoperatória e deterioração súbita da função cardíaca. Os 27 residentes que participaram demonstraram melhora com a prática de repetições, resultando em excelentes escores finais por módulo (FEINS *et al.*, 2017).

Outro trabalho seguindo a mesma temática, propõe a aprendizagem baseada em simulação para melhorar a aquisição de habilidades em cirurgia valvar mitral. Neste sistema, os autores submeteram as gravações em vídeo instrucionais da anuloplastia mitral em suínos a 11 residentes (6 integradas e 5 tradicionais), onde realizaram a anuloplastia mitral porcino. Em procedimentos cirúrgicos complexos, a simulação pode fornecer treinamento e

prática precocemente graduados. (JOYCE *et al.*, 2010).

3.1.4 Hardwares

Com o objetivo de propor um maior nível de realismo em simuladores de procedimentos médicos, algumas aplicações buscam através de pesquisas e aprimoramento de *hardware*, transmitir o surrealismo com dispositivos que operem em paralelo a sistemas de *softwares*. O resultado disso, seria proporcionar ao usuário o estado de imersão, que se caracteriza quando há a introdução do utente no determinado ambiente simulador, passando a realizar atividades de interação no imaginário estando este no mundo real.

Um simulador que envolve a *interface haptic novel* desenvolvido para simulação de cirurgia endoscópica transluminal por orifício natural consegue fornecer o *feedback* de força de 2 graus de liberdade, de força translacional e rotacional ao usuário através do endoscópio, rendendo 5,62 N e 190,05 Nmm de força e torque contínuos, respectivamente. Forças essas encontradas no abdome do paciente simulado (DARGAR; SANKARANARAYANAN; DE, 2014).

Seguindo a mesma temática, esse mesmo nível de realismo pode ser visto no laboratório de simulação de cirurgia vascular pulsátil, baseado em tecido e versátil para treinamento de residentes Brian. O modelo de simulação consiste em uma plataforma, reservatório artificial de sangue, sangue artificial, membros de entrada e saída, motor elétrico, bateria, gerador de pulsos e vaso criopreservado. No caso, três diferentes estações de simulação de cirurgia vascular foram desenvolvidas: endarterectomia de carótida com angioplastia de *shunt* e *patch*, *by-pass* arterial e formação de enxertos arteriovenosos (FLETCHER; REE; DROUGAS, 2015). No caso desta obra, está em aberto o prosseguimento de um estudo científico envolvendo residentes cirúrgicos que determina se este simulador tem transferibilidade intermodal.

Este estudo científico é bastante comum logo após o término do desenvolvimento de um simulador cirúrgico. Isso permite a aceitação do modelo na comunidade científica e valida o mesmo para seu uso. Certos trabalhos pleiteiam tempo e dedicação apenas para realizar testes de avaliação em sistemas de simulação. É o caso do treinamento de habilidades com base em realidade aumentada para anastomose uretrovesical assistida por robô que realizou um estudo controlado randomizado multi-institucional. Nesta obra, com o objetivo validar a aquisição de habilidades, os autores submeteram os participantes de três instituições a procedimentos de treinamentos específicos, nos quais foram randomizados para um grupo de tecnologia de Treinamento Cirúrgico *Hands-on*.

Um questionário administrado após o HoST determinou a viabilidade e aceitação da tecnologia. A conclusão que obteve foi que o treinamento em um ambiente de realidade aumentada também melhora a aquisição de habilidades técnicas com demanda cognitiva mínima (CHOWRIAPPA *et al.*, 2015).

3.1.5 Softwares

Esse tipo de simulação, baseia-se em aplicativos de sistemas desenvolvidos para computador. Esses sistemas, permitem que um cirurgião experimente diferentes procedimentos cirúrgicos em um ambiente artificial. Esses simuladores evitam a utilização de ferramentas e a geração de gastos com utensílios médicos geralmente usados para os procedimentos. Além disso, em caso de erro durante a simulação, o procedimento pode facilmente ser reiniciado, o que proporciona agilidade durante o treinamento.

É o caso do sistema utilizado para simular a cirurgia maxilo-facial a partir da imagem da TC em 3D. Nela é descrita uma abordagem para modelagem elástica de tecido humano com base no uso de técnicas de condições de contorno, na qual permitem simular, a cirurgia craniofacial diretamente na grade da imagem da tomografia em 3D do paciente. A proposta envolve a modelagem completa em 3D da estrutura sólida altamente detalhada do objeto, partindo das informações apresentadas nas imagens de diagnóstico 3D. Devido à enorme quantidade de dados e complexidade computacional do problema, a versão paralela do software foi implementada no computador de alta configuração (SARTI; GORI; LAMBERTI, 1999).

Desde então, outros trabalhos seguindo a mesma metodologia veem sendo desenvolvidos, assim como a simulação computacional híbrida de SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography) com MSCT (Multi-slice Computer Tomography) 3D pré-operatória em cirurgia de câncer de mama que tenta se adequar a procedimentos atuais, devido a imagem híbrida que combina TC e SPECT. Essa é uma técnica tomográfica computadorizada da medicina nuclear que utiliza a radiação ionizante de raios gama que facilita a visualização de anomalias. Além disso, as imagens híbridas possuem qualidade aprimorada por utilizar dados de tomografia para correção de atenuação com base em dados de densidade de transmissão reais em um paciente. Com isso, as imagens de fusão TC e SPECT fornecem a localização precisa da captação do traçador. Dessa forma, se tornando bastante relevante, especialmente no diagnóstico de tumores. Para este propósito, o software desenvolvido para gerar modelos 3D a partir de imagens DICOM padrão, obtidas de TC e SPECT, onde em seguida ocorre a fusão desses objetos 3D, nos fornece a localização exata de anomalias. Isto é certamente muito útil para um cirurgião que realiza biópsias (NIKOLIC *et al.*, 2015).

O grau de importância aumenta quando ocorre a necessidade do parâmetro de precisão, atrelado paralelamente a eficiência e eficácia de ações do procedimento cirúrgico dentro do simulador. Assim como ocorre na simulação cirúrgica assistida por computador para a articulação temporomandibular concomitante de reconstrução articular total personalizada e cirurgia ortognática. Onde mostra a importância da realização desses dois procedimentos em um só. O que diminui significativamente o tempo de tratamento e proporciona melhores resultados, mas que para isso, requer planejamento cuidadoso do tratamento e proficiência cirúrgica nas duas áreas cirúrgicas. O modelo desenvolvido diminui o tempo de trabalho pré-operatório e aumenta a precisão da preparação dos procedimentos subsequentes (WOLFORD, 2016).

Em outro trabalho, no caso realizado para a simulação de cirurgia plástica tendo como base a proporção áurea, apresenta uma estrutura realística de simulação de cirurgia plástica estética, na qual é guiada automaticamente por dados de proporção áurea. Adequada para biomodelos faciais realistas personalizados a partir de escaneamento a laser em 3D. Esse modelo relata a importância da precisão para a ocorrência de erros mínimos que poderão impactar no resultado final da cirurgia do rosto do paciente. (LI *et al.*, 2016). Nessa mesma linha de pesquisa, é possível associar a simulação de cirurgia virtual na reconstrução da parede orbital, onde é feita uma integração da navegação cirúrgica e modelos estereolitográficos, em que é possível observar, a correção da deformidade orbital e zigomática pós-traumática como um desafio para os cirurgiões maxilofaciais. No trabalho é possível contemplar a integração de diferentes tecnologias de planejamento, navegação cirúrgica e modelos estereolitográficos, abrindo novos horizontes em termos da capacidade dos cirurgiões de adaptar a reconstrução a pacientes (NOVELLI *et al.*, 2014).

Assim como nos outros sistemas já citados, algumas linhas de pesquisa dedicam-se a avaliação do simulador. É o que ocorre no estudo da simulação 3D de TC e da navegação intraoperatória na cirurgia minimamente invasiva pediátrica que avaliou a sua utilidade. A simulação 3D de tomografia pré-operatória foi realizada utilizando dados do software de realce de contraste SYNAPSE VINCENT, onde foi constatada a importância da sua utilidade (YADA; MORI; ISHIBASHI, 2018).

3.1.6 Hardwares e Softwares

Enquanto alguns estudos seguem vertentes de hardwares e *softwares* separadas, outros trabalhos tentam agregar uma maior interatividade aplicando as duas vertentes em apenas um modelo de simulação. Dentro dessa temática, podemos citar o treinamento imersivo hapto-virtual para simulação de cirurgia de catarata ocular. A pesquisa

planeia um treinamento de cirurgia de catarata nos olhos para ajudar os cirurgiões principiantes a adquirirem habilidades e o conhecimento necessário. No caso, o trabalho tenta focar principalmente na prática do realismo da simulação por duas tecnologias promissoras, hápticos e 3D imersivo, utilizado para emular a situação da vida real e a colaboração em tempo real. O treinamento realizado no trabalho apresenta uma simulação de tele-cirurgia implementada em três plataformas de exibição: tela de desktop 2D convencional, o Reachin Display e, em seguida, no DIVINE customizado (*Desktop-Immersive Virtual and Interactive Networked Environment*) (SHEN *et al.*, 2007).

A mesma ação pode ser observada no trabalho de enucleação da próstata por Laser de Holmium, em que foi realizada em seguida, a avaliação de treinamento baseado em Simulação. No caso, também foi produzido utilizando simuladores de realidade, com o objetivo de analisar os resultados de desempenho com a sua utilização. No estudo, os dados de validade de construção revelaram diferenças significativas na eficiência de enucleação (gramas enucleados por hora) ao comparar especialistas a intermediários, especialistas a novatos e intermediários a novatos. Através dele foi possível avaliar sua viabilidade e aceitabilidade como modelo de treinamento. A validade aparente foi avaliada por especialistas como aceitável através de um questionário onde a média é de 5 pontos. O simulador foi validado com uma pontuação média de 5,6 de 10 quando solicitada a avaliar o realismo geral (KURONEN-STEWART *et al.*, 2015).

Também com o intuito de melhorar o treinamento cirúrgico e minimizar os índices de complicações e erros médicos. O estudo de fotorrealismo em simulação endoscópica de cirurgia sinusal teve objetivo parecido, o de mostrar como uma simulação virtual pode obter fotorrealismo satisfatório e verossimilhança cirúrgica (RUTHENBECK *et al.*, 2013).

Na mesma temática, Varshney *et al.* (2014) desenvolveu um modelo de procedimento médico baseado no exame de endoscopia dos seios nasais. O simulador utiliza tanto software como um dispositivo de hardwares para compor o treinamento do procedimento. Através de estudo prospectivo, controlado e multi-institucional, o dispositivo de treinamento chamado de Endoscopic Sinus Surgery Simulator (ES3), teve a sua avaliação como tratamento cirúrgico eficaz (VARSHNEY *et al.*, 2014).

Em outra avaliação, baseada em realidade virtual de habilidades laparoscópicas básicas usando o dispositivo Leap Motion, foi investigada o potencial de um simulador de realidade virtual para avaliação de habilidades básicas. A tecnologia tem como *hardware* de controle manual o Leap Motion, no qual utiliza uma interface simples

para simular o ponto de inserção dos instrumentos na cavidade abdominal. O controlador fornece informações sobre a posição e orientação dos instrumentos. Ferramentas personalizadas foram construídas para simular a configuração laparoscópica. Três tarefas básicas foram desenvolvidas: navegação por câmera, navegação por instrumento e operação bimanual (LAHANAS *et al.*, 2017).

Através da mesma tecnologia, utilizando o dispositivo Leap Motion, um simulador de cirurgia de catarata baseada em gestos interativos também propõe uma simulação de procedimento médico realista desenvolvida com software de desenvolvimento de jogos. Os usuários podem interagir e usar os elementos na tela usando gestos com as mãos. Um dispositivo de reconhecimento de movimento captura todos os movimentos das mãos dos usuários e a simulação responde de acordo para fornecer *feedback* em tempo real. Cada movimento é rastreado com precisão na simulação e tem um resultado significativo sobre o assunto com base no tipo de simulação. Os procedimentos médicos simulados para cirurgia de catarata incluem o uso de ferramentas cirúrgicas, procedimentos cirúrgicos, implante de lente artificial etc. Projetada para fornecer um ambiente de aprendizado fácil de usar para replicar os cenários clínicos e assim, permitir recursos como praticar interativamente o desenvolvimento de habilidades (JAYAKUMAR *et al.*, 2015).

A partir de um estudo de realidade mista, também é possível citar Barber *et al.* (2018) que desenvolveram um simulador cirúrgico através da segmentação de estruturas anatômicas críticas presentes em modelos tridimensionais, para propor uma ferramenta de ensino modular. Com base nisso, desenvolveram um sistema de rastreamento de navegação utilizando um endoscópio impresso em 3D e utilizaram como uma realidade virtual rastreável. Isso possibilitou a validação da precisão nos modelos de crânio em 3D impressos. No simulador, foram combinados a realidade virtual e pistas visuais de realidade aumentada, com o modelo físico 3D para simular endoscopia sinusal e destacar estruturas segmentadas em tempo real (BARBER *et al.*, 2018).

3.2 Softwares utilizados para desenvolvimento do simulador

Através de ferramentas simples e de livre uso, é possível desenvolver projetos que podem ir dos mais simples até os mais complexos com propostas úteis na comunidade científica. Exemplo disso, é a plataforma da Unity que disponibiliza da utilização de recursos avançados de renderização e *gameificação* para o desenvolvimento de projetos de média escala. É considerada uma ferramenta de renome na comunidade dos jogos digitais e de desenvolvimento de tecnologias (LABSCHÜTZ *et al.*, 2011).

A Unity suporta três linguagens de script: JavaScript, C, e um dialeto do Python chamado Boo. Todos os três são igualmente eficientes e podem usar as bibliotecas .NET subjacentes que suportam bancos de dados, expressões regulares, XML, acesso a arquivos e networking. Na Unity os scripts são compilados para o código nativo o que proporciona uma execução de forma eficiente. Seu ambiente de desenvolvimento é totalmente integrado e fornece um editor visual. A plataforma permite estender o editor com as ferramentas necessárias para corresponder ao fluxo de trabalho. Além disso, é possível criar e adicionar extensões personalizadas ou encontrar o que for preciso na própria Asset Store, que apresenta recursos, ferramentas e extensões para acelerar os projetos (WANG *et al.*, 2010).

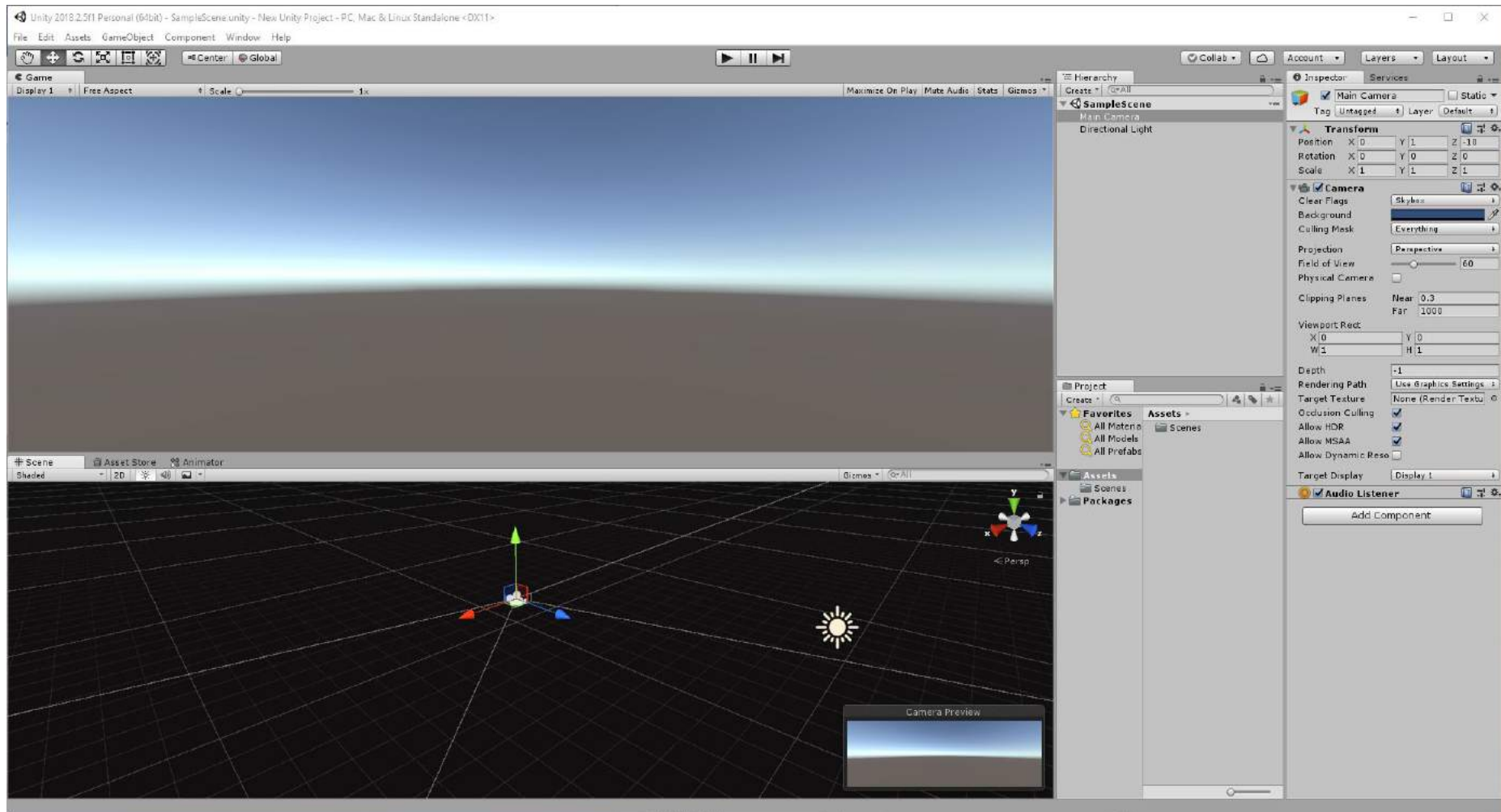
3.2.1 Unity

A Unity é uma plataforma de desenvolvimento 3D em tempo real que fornece o que é preciso para desenvolver, operar e monetizar aplicações digitais. Possui ferramentas e serviços que oferece possibilidades para desenvolvedores de jogos e criadores de conteúdo de vários setores e aplicativos. A Unity Editor possui várias ferramentas que permitem edição rápida e iteração em seus ciclos de desenvolvimento, incluindo o modo Reproduzir para visualizações rápidas do seu trabalho em tempo real (UNITY TECHNOLOGIES, 2019).

Desenvolvendo em 2D e 3D

A Unity suporta o desenvolvimento 2D e 3D com recursos e funcionalidades que atendem as necessidades específicas do projetista. O sistema utiliza malhas de navegação criadas automaticamente a partir da sua geometria de cenas, ou até mesmo obstáculos dinâmicos, para alterar a navegação dos personagens em tempo de execução. Na Figura 2, é possível contemplar, o painel de interface de edição da Unity com a sua configuração padrão de entrada que pode ser modificada de acordo com os interesses do desenvolvedor.

Disponível em Windows e Mac, inclui uma gama de ferramentas amigáveis ao usuário para projetar experiências imersivas e mundos de jogo, bem como um conjunto sólido de ferramentas de desenvolvimento para implementar lógica de jogo e jogabilidade de alto desempenho.

Figura 2: Paineis de interface de edição da Unity.

Fonte: (UNITY TECHNOLOGIES, 2019)

Interfaces de usuário

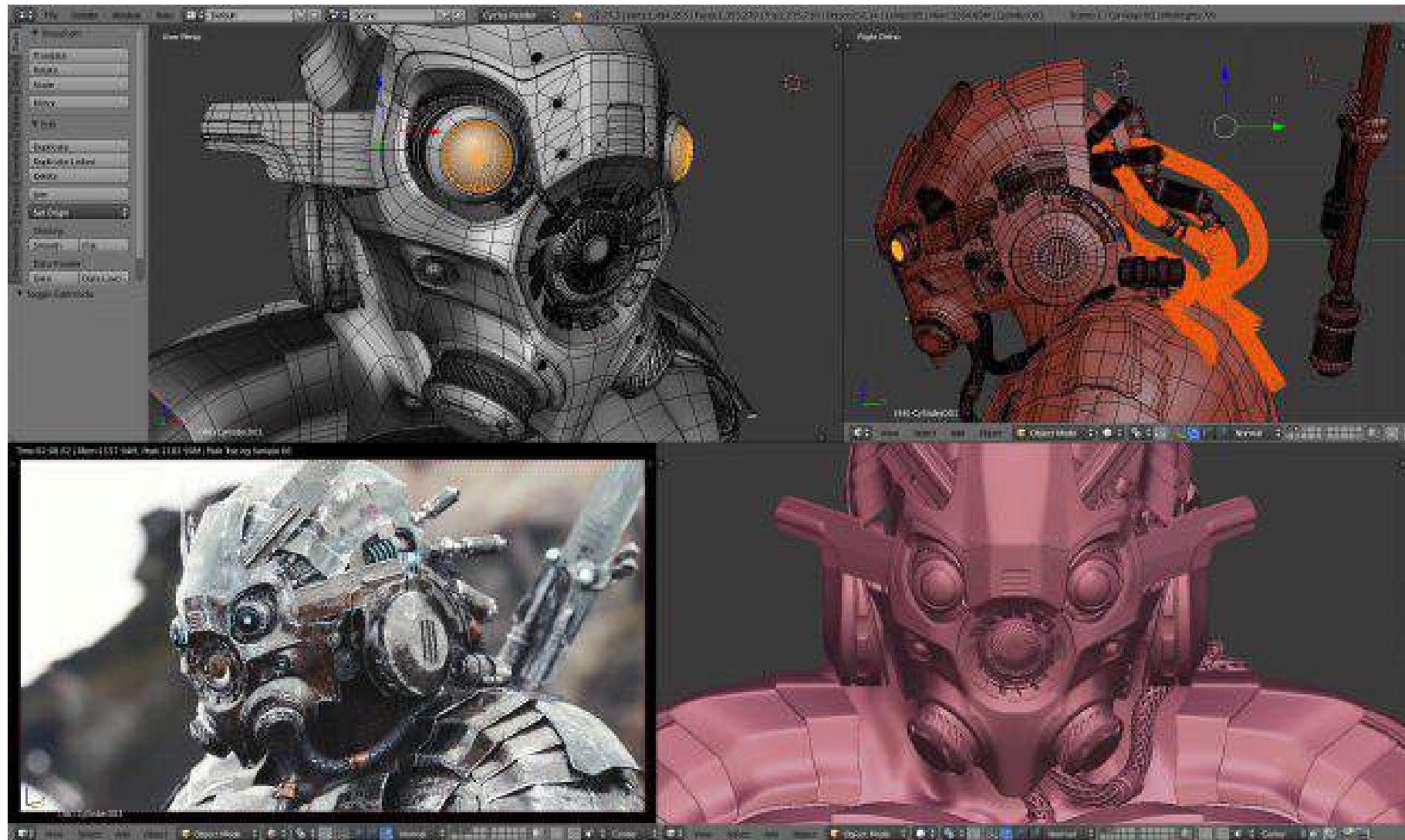
O sistema de interface de usuário embutido permite que você desenvolva interfaces de usuário rápida e intuitivamente. Além disso, a Unity possui ferramentas de suporte que permitem uma jogabilidade altamente realista e de alto desempenho. A plataforma proporciona imagens com a reprodução de iluminação artificial e sombras em tempo real. Além disso, disponibiliza a renderização de cenas fisicamente baseada na necessidade do desenvolvedor, o que contribui exponencialmente para a aproximação das imagens com o real. Possui também uma interface de programação de aplicativos, que é um conjunto de rotinas e padrões de programação para acesso a um aplicativo de *software* ou plataforma baseado na Web, no qual suporta multiplataformas, permitindo usar as mais recentes melhorias específicas para ações de placas de vídeo e hardware, como Vulkan, iOS Metal, DirectX12, NVidia VRWorks ou AMD LiquidVR.

3.2.2 Blender

O Blender é um *software* livre, onde o seu pacote de criação 3D é gratuito e de código aberto licenciado. Todo o código é escrito em linguagens de programação C, C++ e Python. Este suporta a totalidade do pipeline 3D, modelagem, manipulação, animação, simulação, renderização, composição e rastreamento de movimento, até mesmo edição de vídeo e criação de jogos (BLENDER FOUNDATION, 2019). O Instituto Blender abriga a Fundação Blender, bem como um estúdio de produção, em Amsterdã, na Holanda. Blender Foundation é uma corporação independente de utilidade pública sem fins lucrativos.

O *Cycles* é o mecanismo de rastreamento de caminho integrado do Blender que oferece uma renderização ultra-realista. Possibilitando a visualização da janela em tempo real, unidade central de processamento e ações de renderização realizadas por placas de vídeo. Além disso, possui o suporte de iluminação de grande alcance dinâmico. A plataforma disponibiliza também um conjunto abrangente de ferramentas de modelagem que facilita o desenvolvimento, a transformação e a edição de seus modelos com multi-resolução e subdivisão dinâmica, pintura 3D com pincéis texturizados e mascaramento, e também *script* em Python para ferramentas personalizadas. Na Figura 3 mostra um exemplo do desenvolvimento de um modelo com os detalhes da malha, material e iluminação sendo trabalhados para obter níveis de renderização mais realistas. Ao desenhar diretamente no painel de edição 3D, ele permite a liberdade de fluxo de trabalho. Possibilitando a combinação 2D com 3D diretamente no projeto, dando acesso a camadas e cores para traçado e preenchimento.

Figura 3: Painel de interface de edição do Blender.



Fonte: (BLENDER FOUNDATION, 2019)

Em geral o Blender tem uma interface flexível controlada por Python. Layout, cores, tamanho e até mesmo fontes podem ser ajustados. Além disso, ele propicia o desenvolvimento do desenho sobre o painel de edição do OpenGL e conectar com a interface de programação de aplicativos de renderização. A documentação oficial do Blender é de uso livre e pode ser encontrada no Manual do Blender online.

3.2.3 InVesalius

O InVesalius é um *software* livre para reconstrução de imagens providas de equipamentos de TC ou ressonância magnética. Disponível para as plataformas Microsoft Windows, GNU/Linux e Apple Mac OS X. Possui uma interface de fácil utilização que contribui para uma boa navegação e manipulação de arquivos (AMORIM *et al.*, 2015). O *software* desenvolvido foi chamado InVesalius, como uma homenagem ao anatomista belga Andreas Vesalius (1514-1564). Na Figura 4, é possível observar o painel de interface do InVesalius. Nele é mostrado o exame de TC do paciente que está sendo utilizado como modelo para a aplicação.

Comumente é usado para implementação e aplicações em áreas como segmentação de imagens, geração de malhas, renderização de volumes e impressão 3D de modelos anatômicos. Profissionais do ramo da medicina geralmente utilizam para processamento, análise, visualização e suporte para impressão 3D para imagens médicas. Neste trabalho, o *software* é extremamente útil para importação do exame de TC, filtragem de tecidos e geração do arquivo do modelo 3D para o desenvolvimento dessa aplicação.

Figura 4: Paineis de interface do InVesalius.



Fonte: (CENTRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO RENATO ARCHER, 2019)

3.3 Arquivos OBJ

O OBJ é um formato de arquivo 3D que possui amplo suporte em modelagem 3D e *software* de visualização 3D na comunidade desenvolvedora. O seu formato de arquivo em geometria, foi desenvolvido na década de 1980 pela Wavefront Technologies para um dos produtos da empresa. Desde então, ganhou destaque e alcançou amplo apoio, tornando-se o mais difundido formato no *software* de modelagem e visualização 3D. É um formato aberto, geralmente aceito como universal e usado em ferramentas de desenvolvimento e simulações, diferentemente dos arquivos binários que podem ser de plataformas e *softwares* específicos (BILJECKI; OHORI, 2015). O padrão OBJ é poderoso em teoria, mas seu apoio é limitado na prática. Por exemplo, arquivos OBJ oferecem suporte a complexos geometrias incluindo Bézier, B-spline, Cardinal e Taylor superfícies. No entanto, a maioria dos *softwares* que lê apenas arquivos OBJ suporta triângulos ou polígonos (POSSEMIERS; LEE, 2015).

O formato do arquivo OBJ utiliza tags para especificar elementos geométricos em um modelo 3D. A tag *v* por exemplo define a posição 3D de um vértice. Já as tags *vn* e *vt*, respectivamente são coordenadas de textura 2D e 3D normais. A tag *vp* define os parâmetros de espaço e a tag *f* define os elementos da face em relação às listas de atributos de vértices definidas anteriormente. Opcionalmente, a tag *g* pode ser usada para especificar a hierarquia de agrupamento de faces, pois as faces podem pertencer a mais de um grupo. Tanto as faces como as superfícies, podem ser atribuídas a grupos nomeados com essa palavra-chave. Isso é usado para criar subobjetos convenientes para facilitar a edição e animação de modelos 3D (JO; JEONG; LEE, 2018).

Os arquivos OBJ não requerem nenhum tipo de cabeçalho, embora seja comum iniciar o arquivo com algum tipo de linha de comentário. As linhas de comentário começam com uma marca de *hash*. Espaço em branco e linhas em branco podem ser adicionados livremente ao arquivo para ajudar na formatação e legibilidade. Cada linha que não estiver em branco começa com uma palavra-chave e pode ser seguida na mesma linha com os dados para essa palavra-chave. As linhas são lidas e processadas até o final do arquivo. As linhas podem ser unidas logicamente com o caractere de continuação de linha de barra invertida no final de uma linha.

Os arquivos OBJ encontrados com mais frequência contêm apenas faces poligonais. Para descrever um polígono, o arquivo primeiro descreve cada ponto com a palavra-chave *v*, depois descreve a face com a palavra-chave *f*. A linha de um comando de face contém as enumerações dos pontos na face, como índices baseados em 1 na lista de pontos, na ordem em que ocorreram no arquivo. Por exemplo, o seguinte descreve um triângulo simples:

Arquivo Wavefront simples

v 0,0 0,0 0,0

v 0,0 1,0 0,0

v 1,0 0,0 0,0

f 1 2 3

Também é possível fazer referência a pontos usando índices negativos. Isso facilita a descrição dos pontos em uma face e depois na face, sem a necessidade de armazenar uma grande lista de pontos e seus índices. Dessa maneira, os comandos *v* e *f* podem ser intercalados.

v -0.500000 0,000000 0,400000

v -0.500000 0.000000 -0.800000

v -0.500000 1.000000 -0.800000

v -0.500000 1.000000 0.400000

f -4 -3 -2 -1

Os arquivos OBJ não contêm definições de cores para faces, embora possam fazer referência a materiais armazenados em um arquivo de biblioteca de materiais separado. Os modelos OBJ geralmente acompanham arquivos da MTL (Material Template Library) que especificam materiais como refletância difusa e especular. A biblioteca de materiais pode ser carregada usando a palavra-chave "mtllib". A biblioteca contém as definições dos valores RGB para as cores difusas, ambientais e especulares do material, além de outras características como especularidade, refração, transparência entre outras.

3.4 Simuladores para treinamento de procedimentos médicos na literatura

Uma lista de sistemas simuladores foi elaborada para melhor visualização dos tipos de simuladores para treinamento de procedimentos médicos. Para isso, foram feitas pesquisas tendo como base, as palavras que mantinham o foco deste trabalho, como treinamento e simulação procedimentos médicos. Assim, foram utilizados artigos considerados relevantes e atuais em suas respectivas categorias. Sistemas que envolvem o uso de cadáveres

humanos, foram excluídos da lista por não compor uma forma e inovação que utiliza tecnologias para a realização de treinamento e simulação.

Com isso, é possível notar um grande esforço e parceria da medicina com a tecnologia. Esse esforço em conjunto, proporciona o desenvolvimento de pesquisas e eleva de forma grandiosa, o que há de mais precioso na comunidade científica, que é o conhecimento. Dessa forma, a tecnologia cumpre mais uma vez com o seu papel de promover o conhecimento educacional e o de contribuir na qualidade dos serviços médicos, uma vez propicia o desenvolvimento científico e educacional dos profissionais da área. Certamente, beneficiando não só a comunidade científica, mas também professores e alunos que veem na tecnologia uma ferramenta essencial para a evolução humana.

Na Tabela 1, é possível observar a lista dos trabalhos que utilizam a simulação de procedimentos médicos como instrumento para planejamento e treinamento de alunos e profissionais da área. A Tabela 1 é separada em autor, ano de publicação da obra, curso de referência do trabalho e instituições envolvidas no desenvolvimento dos simuladores. Na seção modelo, é informado o tipo do simulador, com isso a tecnologia utilizada. Também é mostrado a especialidade da área de atuação do simulador e o nível educacional para qual foi desenvolvido, podendo este ser voltado para o público de discente, docente ou ambos. Além disso, a Tabela 1 informa o contexto educacional mostrando o local que o simulador pode ser utilizado. Na última coluna da tabela, é informado o período de duração de instrução necessário para concluir o treinamento de cada simulador. A ausência de informação em alguns campos da coluna, ocorre devido a falta de citação quanto ao tempo de duração das atividades de treinamento nos trabalhos escritos.

Dessa forma, a Tabela 1 mostra o quão vasto é a contribuição desse tipo de aplicação em treinamentos de procedimentos médicos. O método de utilização desse tipo de ferramenta, demonstra ser bastante promissora e certamente passará a cada vez mais a ser aplicada.

Tabela 1: Sistemas simuladores de procedimentos médicos.

Primeiro autor	Ano	Curso	Instituição	Tipo de modelo	Especialidade / aplicação	Nível educacional	Contexto educacional	Duração de instrução
Valentine et al.	2016	Otorrinolaringologia	Universiade de Adelaide	Modelo de bancada com uso de ovinos	Cirurgia endoscópica nasal	Treinamento de discentes	Em do laboratório	Não informado
Ramirez et al.	2018	Pneumatologia	Universidade de Virgínia	Modelo de bancada	Cirurgia torácica	Treinamento de cirurgiões	Em laboratório	2 horas
Singal et al	2015	Urologia	Faculdade de Medicina Feinberg	Modelo de bancada	Inserção de cateteres suprapúbicos	Treinamento de discentes	Em laboratório	2 dias
Jastifer et al	2017	Pediatria	Colégio Americano de Cirurgiões do Pé e Tornozelo	Impressão 3D auxiliado por software	Cirurgia ortopédica	Treinamento de discentes e cirurgiões	Em laboratório e sala de cirurgia	Não informado
Bagaria et al	2017	Ortopedia	Hospital da Fundação HN Resilience Mumbai	Impressão 3D auxiliado por software	Cirurgia ortopédica	Treinamento de discentes e cirurgiões	Em laboratório	Não informado
Ryan et al	2016	Neurocirurgia	Escolas de Biologia e Engenharia de Sistemas de Saúde	Impressão 3D auxiliado por software	Cirurgia neurovascular	Treinamento de discentes	Em laboratório	Não informado
Oyama et al	2014	Otorrinolaringologia	Universidade do Estado de Ohio	Impressão 3D auxiliado por software	Cirurgia endoscópica nasal	Treinamento de discentes	Em laboratório	Não informado
Feins et al	2017	Cardiologia	Universiade da Carolina do Norte, Johns Hopkins, das Indias Ocidentais, de Stanford e Rochester	Modelo de bancada com uso de animal não especificado	Cirurgia cardiaca	Treinamento de discentes e cirurgiões	Em laboratório e sala de cirurgia	3 a 4 horas
Joyce et al	2011	Cardiologia	Universidade de Stanford, Carolina do Norte, Nova York, Yale, New Haven e Conn	Modelo de bancada com uso de porcino	Cirurgia cardiaca	Treinamento de discentes e cirurgiões	Em laboratório	3 semanas
Dargar et al	2014	Gastroenterologia	Instituto Politécnico Rensselaer de Troy	Hardware	Colonoscopia	Treinamento de cirurgiões	Em laboratório	Não informado
Fletcher et al	2017	Angiologia	Escola de Meicina da Virginia Tech	Hardware	Cirurgia vascular	Treinamento de discentes	Em laboratório	Não informado
Wang e Du	2007	Ortopedia	Instituto de Robótica e Tecnologia Harbin da China	Software	Cirurgia ortopédica	Treinamento de discentes e cirurgiões	Em laboratório e sala de cirurgia	Não informado
Nikolic et al	2015	Oncologia	Faculdade de Ciências Médicas Kragujevac e Universidade de Kragujevac	Software	Cirurgia de tumores na mama	Treinamento de discentes e cirurgiões	Em laboratório	Não informado
Wolford et al	2016	Ortodontista	Centro de Ciências da Saúde da Universidade do Texas	Software	Cirurgia Ortognática	Treinamento de discentes e cirurgiões	Em laboratório	Não informado
Jianfeng et al	2016	Cosmetologia Facial	Faculdade de Ciências da Informação e Engenharia de Jishou	Software	Cirurgia plástica Facial	Treinamento de discentes e cirurgiões	Independente	Não informado
Novelli et al	2014	Traumatologia bucomaxilofacial	Universidade de Milano	Software com possibilidade de auxílio de impressão 3D	Cirurgia de reconstrução da parede orbital	Treinamento de discentes e cirurgiões	Em laboratório	Não informado
Yada et al	2018	Pediatria	Universidade de Tokushima	Software	Cirurgia minimamente invasiva pediátrica	Treinamento de discentes e cirurgiões	Em laboratório e sala de cirurgia	Não informado
Shen et al	2007	Oftalmologia	Escola de Tecnologia da Informação e Engenharia e Universidade de Ottawa	Software operando junto a hardware	Cirurgia de catarata ocular	Treinamento de discentes	Em laboratório	Não informado
Kuronen-Stewart et al	2015	Urologia	Colégio do Rei de Londres	Software operando junto a hardware	Enucleação da Próstata	Treinamento de discentes e cirurgiões	Em laboratório	15 minutos

Ruthenbeck et al	2013	Otorrinolaringologia	Faculdade de Ciências da Computação, Engenharia e Matemática, Flinders University, Austrália do Sul	Software operando junto a hardware	Cirurgia endoscópica dos seios nasais	Treinamento de discentes e cirurgiões	Em laboratório	Não informado
Lahanas et al	2017	Laparoscopia	Centro de Simulação Laboratorial de Física Médica, Faculdade de Medicina, Universidade Nacional e Kapodistrian de Atenas	Software operando junto a hardware	Laparoscopias básicas	Treinamento de discentes	Em laboratório	Não informado
Jayakumar et al	2015	Oftalmologia	Universidade Amrita Vishwa Vidyapeetham	Software operando junto a hardware	Cirurgia de catarata ocular	Treinamento de discentes	Em laboratório	Não informado
Vashney et al	2014	Otorrinolaringologia	American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery Foundation	Software operando junto a hardware	Cirurgia dos seios nasais	Treinamento de discentes	Em laboratório	7,50 minutos
Barber et al	2018	Otorrinolaringologia	American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery Foundation	Software operando junto a hardware e modelo 3D impresso	Cirurgia dos seios nasais	Treinamento de discentes	Em laboratório	Não informado

Dessa forma, através da observação contemplada em cada trabalho, é possível ressaltar os pontos de maior foco, dedicação e interesse ao desenvolver um trabalho nessa linha de pesquisa e ao mesmo tempo, considerado viável para a comunidade científica. Sendo assim, observando os questionários de cada trabalho já validado, é possível expor regiões de maior foco de interesse em aproximar ao máximo da realidade, sendo elas:

- Interatividade com feedback a partir de ações realizadas;
- Aproximação do realismo do procedimento simulado em conformidade com o que ocorre em campo.
- Controle de ações e movimento;
- Causar imersão;
- Acessibilidade;
- Design;

Assim, com base no conhecimento teórico e prático adquirido através das obras ressaltadas, foi possível a aplicação das boas práticas para esse tipo de projeto. Com isso, usando como referência, trabalhos renomados e que tiveram destaque em suas aplicações. Dessa maneira, este trabalho foi desenvolvido para fazer parte desse grupo. Simulando de forma satisfatória um procedimento médico comum no cotidiano do profissional e desse modo, proporcionar ao usuário uma forma prática e fácil de adquirir o conhecimento necessário.

METODOLOGIA

A maioria dos simuladores cirúrgicos atuais emprega equipamentos sensoriais especializados para rastreamento de instrumentos (GAVAZZI *et al.*, 2011; KENNEY *et al.*, 2009). Apesar do realismo agregado e o estado de imersão proporcionado, isso acaba deixando o valor do produto elevado e consequentemente, inacessível para algumas instituições. Além disso, equipamentos como esses necessitam de grandes espaços e condições apropriadas para o seu funcionamento, o que acaba dificultando ainda mais a sua aquisição e de certo modo, a sua aplicação (WHITTAKER *et al.*, 2016; JUDKINS; OLEJNIKOV; STERGIOU, 2009).

Neste trabalho, considera-se como maior contribuição científica as metodologias propostas para a construção de simuladores computacionais de endoscopia nasal, sendo a primeira metodologia baseada em atlas (modelo virtual do corpo humano) e a segunda metodologia baseada em exames de TC (exame de corpo humano real). A descrição das metodologias realizadas na seção 4.2 permitem a construção de sistema de simulação de endoscopia nasal considerando modelos virtuais ou reais da cavidade nasal. Além da construção do ambiente de simulação, a metodologia proposta neste trabalho permite a modelagem de doenças (polipose nasal, hipertrofia dos cornetos, hipertrofia da adenoide, desvio de sépto e tumor) e sua inserção no cenário de simulação para fins de treinamento.

4.1 Material

A partir da utilização dos *softwares* Unity, Blender e InVesalius, é possível a construção das duas versões do sistema. De modo particular, para o desenvolvimento da versão com uso de tomografia, são utilizados os *softwares* InVesalius e Blender. No caso, acompanhando o diagrama de desenvolvimento do sistema exposto na Figura 5, será possível analisar o passo a passo do desenvolvimento.

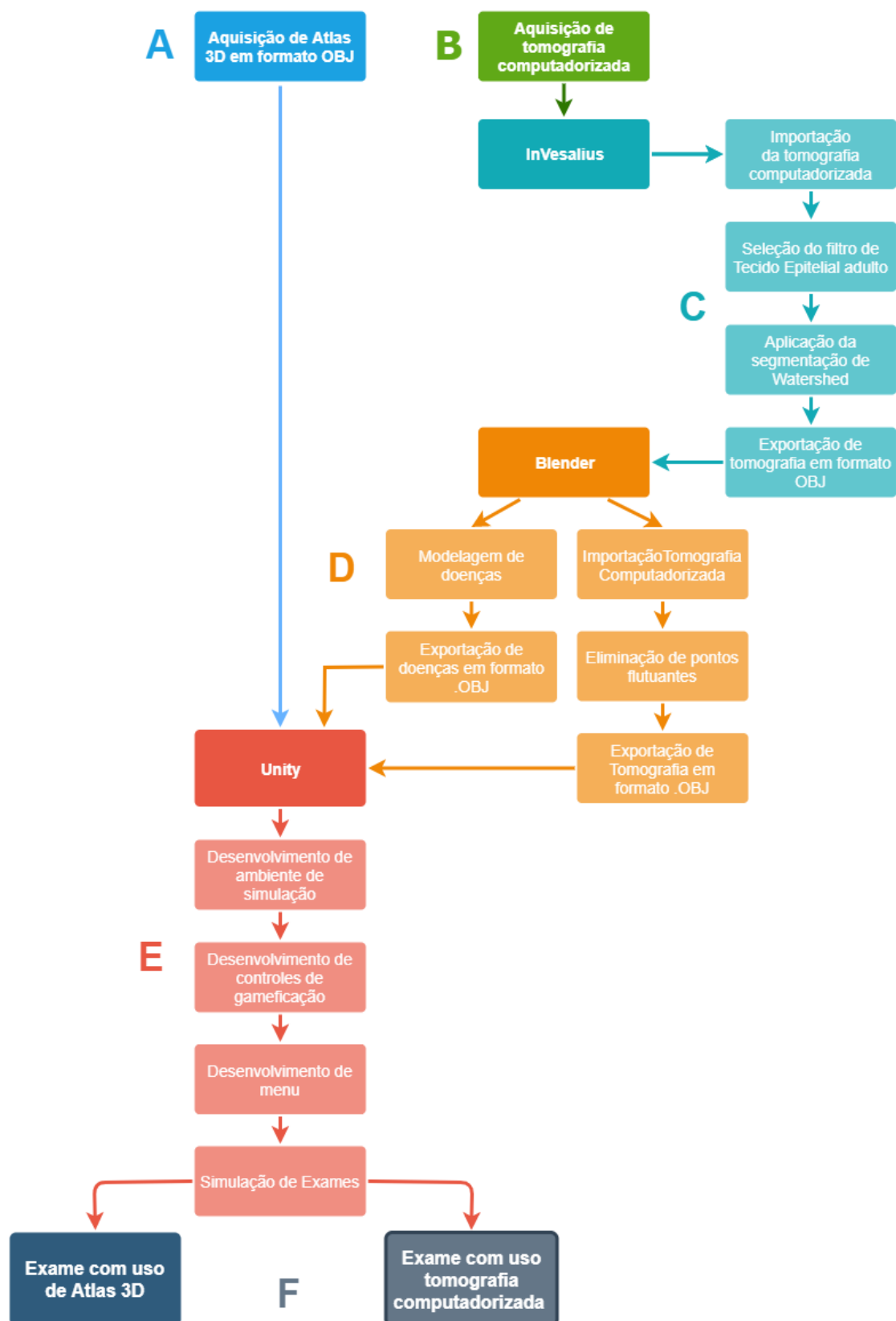
4.1.1 Desenvolvimento dos simuladores

A Figura 5 ilustra o passo a passo dos *softwares* utilizados para o desenvolvimento dos simuladores. A Figura 5 está separada por seções tituladas por letras para facilitar a compreensão. Sendo assim, o diagrama de desenvolvimento do sistema se divide em dois caminhos que representam as linhas de desenvolvimento de cada *simulador*. O primeiro caminho de desenvolvimento é representado pela letra A que ilustra os passos utilizados para desenvolver o sistema com uso de atlas. O segundo caminho é representado pela letra B que ilustra os passos utilizados para desenvolver o sistema com uso de exame de TC. No caso, o primeiro passo após a aquisição do arquivo de TC executado na seção B, é a importação do exame para a plataforma do *software* InVesalius, assim como mostra a na seção C. No *software* InVesalius, é capaz visualizar toda a região de realização do exame nos planos sagital, coronal e transversal. Além disso, é possível observar a montagem de todas as fatias de imagem que compõem o exame em formato tridimensional. Com o intuito de filtrar a imagem da cavidade nasal, e assim evidenciar a região de interesse para essa aplicação, é utilizado o filtro de tecido epitelial adulto. Com isso, para dar maior eficiência aos resultados, é utilizado a segmentação de *Watershed*. O resultado disso, é que quando feita a exportação do arquivo em formato OBJ, obtem-se um arquivo mais leve e sem ruídos, o que contribui bastante para uma boa manipulação do mesmo.

Em seguida na seção D, na plataforma Blender são iniciadas duas atividades. A primeira, logo após a importação do arquivo para dentro do *software*, consiste em eliminar os pontos flutuantes ainda presentes no arquivo. Esses pontos são causados devido a presença de ruído no exame e podem ser deletados conforme a sua visualização durante a navegação na plataforma. Nesse momento, também são eliminadas algumas faces e vértices da malha que compõem o arquivo de tomografia em formato OBJ. São elementos de menor importância como tecidos que não constituem a cavidade nasal, o que permite a sua exclusão. Após a aplicação da filtragem, o arquivo é exportado de forma mais leve e consistente com as informações que são utilizadas no *software* Unity. A segunda atividade realizada no Blender, constitui em modelar as doenças utilizadas no simulador. No caso, as doenças modeladas na plataforma foram: hipertrofia dos cornetos, hipertrofia de tonsilas faríngeas, polipose nasal, tumor benigno e desvio septal. Ao término da modelagem de todas as cinco doenças, as mesmas são exportadas em formato OBJ, deixando a disposição para a aplicação na Unity.

No *software* de desenvolvimento Unity como é ilustrado na seção do item E, é realizada a importação de todos os arquivos OBJ gerados. Dessa forma, são importados o atlas em arquivo 3D mostrado na seção A, o arquivo de

Figura 5: Diagrama de desenvolvimento do sistema.



Fonte: Próprio autor.

TC e as cinco doenças modeladas: polipose nasal, desvio septal, hipertrofia da adenoide, hipertrofia dos cornetos e tumor benigno mostrados na seção C. Tendo posse sobre os arquivos, é possível dar início ao desenvolvimento do ambiente de simulação. Nesse momento, tanto o arquivo de tomografia como o atlas, são alocados em posições convenientes para a aplicação, assim como as doenças para cada simulação de exame realizado. Também são preparadas configurações de iluminação, textura, material e câmera. Em seguida, são desenvolvidos *scripts* de interação durante a ação de toque da ferramenta com as malhas das doenças e a parede da cavidade nasal. Para que essa reação ocorra, são desenvolvidos *scripts* de controles de *gamificação*. Nesse ponto, é incluído todo o contexto de movimentação de ferramenta e câmera como: retorno, avanço, translação e rotação. Finalizado isto, é então desenvolvido o menu de interação que permite o início e a finalização do procedimento. Assim também como a possibilita a pausa e o reinício do mesmo. Um cronômetro crescente é exposto durante a realização do procedimento.

Como resultado, é obtido o desenvolvimento de dois simuladores do exame de endoscopia nasal, assim como é exposto na seção F. O primeiro utiliza atlas em formato 3D com a presença de 5 doenças distintas de forma aleatória, ou seja, podendo ou não estar presente durante a simulação. Com isso, através de um cálculo de combinação simples com agrupamentos de 0 a 5, ou seja, sendo possível encontrar desde nenhuma doença a encontrar todas as doenças presentes, é possível concluir que o simulador possibilita a ocorrência de 32 resultados possíveis de diagnósticos após a finalização. Já o outro simulador, utilizando a TC possuindo a presença de 3 doenças distintas e assim, possibilitando aleatoriamente 8 possíveis resultados de diagnósticos após a finalização.

4.2 Metodologia proposta

Os métodos utilizados para o desenvolvimento do sistema, propõem a utilização correta das ferramentas dos *softwares*, buscando a otimização de toda estrutura ilustrada na Figura 5. O método realizado, proporciona uma melhor fluidez durante a *gamificação* devido preservar a qualidade da malha da região a ser examinada e eliminando a presença de elementos que possam comprometer o desempenho do simulador. Sendo assim, mantendo a integridade e o realismo das simulações.

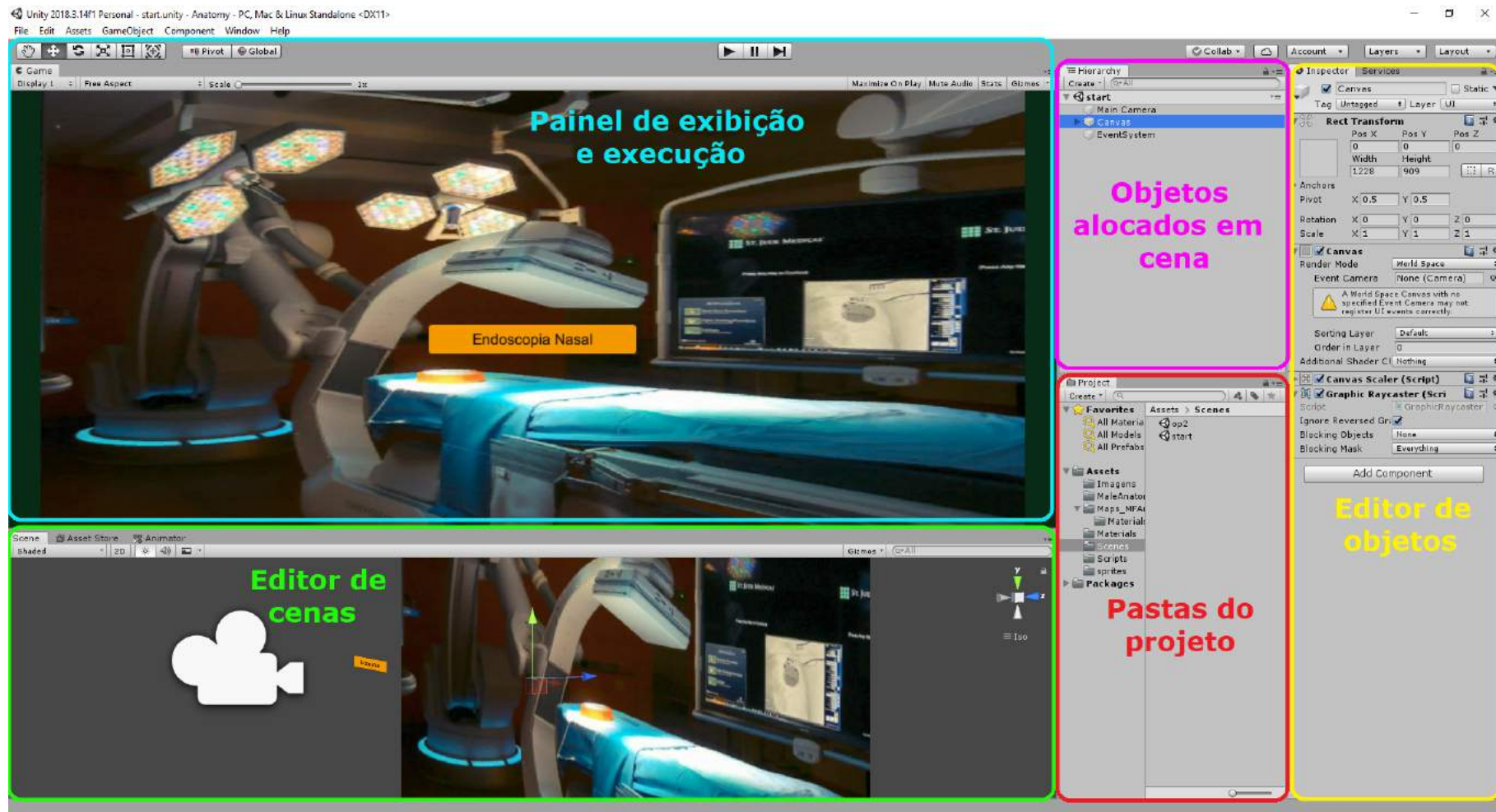
4.2.1 Sistema utilizando atlas

O desenvolvimento desta versão, ocorreu com a elaboração do ambiente que recebe os arquivos modelo, nos quais diferenciam cada versão de aplicação, tanto a versão com uso de atlas como a que utiliza exame de TC. Dessa forma, foi planejado o ambiente de entrada com uma tela inicial e um botão com nome de *Endoscopia nasal* que por sua vez, dar acesso a uma nova tela. Toda a aplicação pode ser preparada em seis conjuntos de painéis que juntos, compõe o ambiente de edição da Unity que são: painel de exibição e execução, editor de cenas, Painel de objetos alocados em cena, editor de objetos e local de pastas do projeto. Dentro do objeto *canvas*, foi atribuído o botão que dessa forma passou a fazer parte da hierarquia do objeto. O mesmo foi posicionado e centralizado dentro do editor de cenas.

Para a elaboração da primeira tela de exibição, foi importada para dentro do projeto a imagem de fundo, onde foi posicionada no painel editor de cenas e alocada dentro de um objeto *canvas* que é apropriado para exibição de telas de interface. A Unity permite a chamada de funções e a associação de cenas e objetos para que ocorra interação entre os mesmos, no qual tudo pode ser feito através de ajustes de configurações que podem ser alterados manualmente ou através de *scripts*. No caso do botão, para que ocorram as devidas interações de chamada da próxima cena, foi anexado um *script* apropriado para que ocorresse a importação da próxima cena. Na Figura 6 é possível observar o painel de interface de desenvolvimento da Unity elaborando o projeto da primeira cena e o botão que irá abrir a próxima cena.

Na segunda cena é exibido o sistema com uso de atlas. O modelo em arquivo 3D, é encontrado em sites de aquisição de arquivos em formato tridimensional que são modelados para utilização desse tipo de aplicação. Com o acesso ao pacote do modelo atlas, é possível efetuar a sua importação para dentro do ambiente de desenvolvimento da Unity. É importante salientar que ao efetuar a importação do pacote, é necessária a alocação das texturas e configuração da iluminação do ambiente de desenvolvimento no editor de cenas e ajustando a sua tonalidade, brilho e produção de sombras através das configurações no editor de objetos. O mesmo ocorre quando é efetuada a importação das doenças e da ferramenta modeladas, utilizada para toque e navegação dentro da cavidade nasal do modelo. A importância disso está na qualidade do realismo, uma vez que é utilizado um modelo que se aproxima da realidade, no qual permite transmitir o máximo da experiência em realidade virtual.

Figura 6: Painel de interface de desenvolvimento da Unity elaborando projeto da primeira cena.

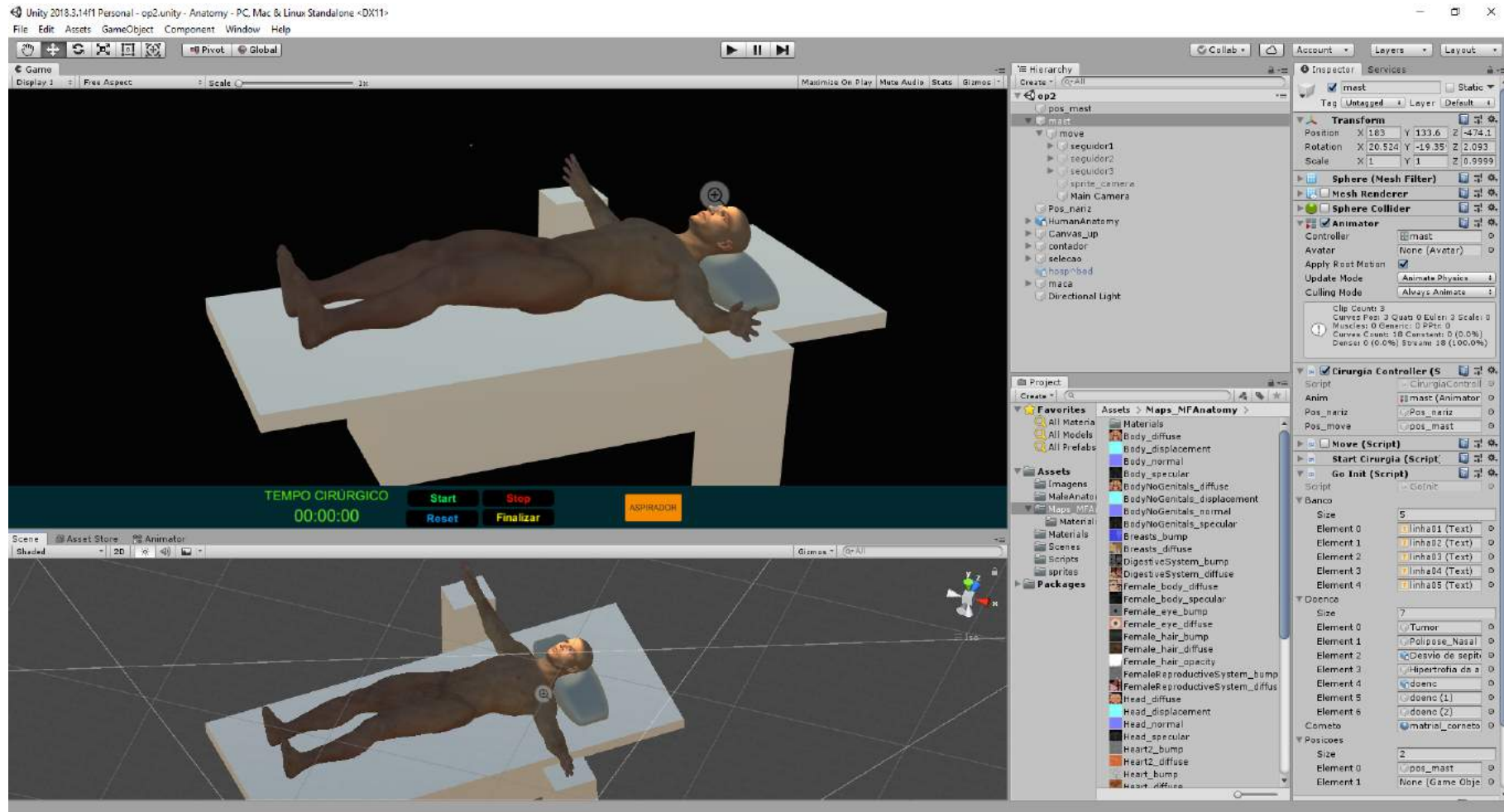


Fonte: Próprio autor.

Outro fator importante está na reação ao toque entre ferramenta e doença. Cada doença possui uma reação ao toque, que de acordo com a sua densidade e tamanho, possuem movimentações que ao ser comparados, muito se assemelham ao real. Para isso, encontra-se desenvolvido um *script* para cada doença, onde cada um possui a sua própria particularidade. Os arquivos de *script* foram associados a cada doença modelada, no qual permite as suas configurações através do editor de objetos. Na Figura 7 é possível observar o modelo atlas que encontra-se importado para o ambiente editor de cenas e que está centralizado em posição decúbito dorsal.

Próximo ao modelo, na região da cabeça, é possível observar um botão com a ilustração de uma lupa que representa o *zoom* de aproximação da região que será realizado a simulação do exame. Ainda no painel de exibição e execução da Figura 7, parte inferior em uma barra, é possível observar 5 botões que foram atribuídos também e posicionados de forma conveniente no editor de cenas. Com funcionalidades específicas, cada botão possui sua própria ação de interação com o ambiente de *gamificação*. Na parte inferior esquerda da mesma tela, vemos um contador que ao ser iniciado o procedimento de simulação passa a ser temporizado de acordo com a duração do exame.

Figura 7: Painel de interface de desenvolvimento da Unity elaborando projeto da segunda cena do sistema com uso de atlas.



Fonte: Próprio autor.

4.2.2 Sistema com uso de exame de tomografia computadorizada

Com o intuito de obter uma versão mais realista da cavidade nasal, desenvolveu-se também um sistema com uso de exame de TC. Para isso, é utilizado um exame de tomografia que é importado para dentro do ambiente do *software* InVesalius. Dessa forma, ao importar as pastas que contém as imagens médicas em arquivos DICOM, o Invesalius carregará todas as fatias do exame.

Em seguida, uma nova tela apresenta dados sobre o paciente e do exame realizado. Assim, temos todas as fatias exibidas do exame e suas respectivas informações. Na tela, o software apresenta algumas informações importantes:

- Descrição do exame: seios da face/face;
- Modalidade: tomografia computadorizada;
- Quantidade de imagens geradas pelo exame: 301;
- Tamanho da imagem gerada pelo aparelho de tomografia: 512x512 pixels;
- Idade do paciente: 30 anos;
- Espaçamento entre as fatias: 1 mm;
- Localização da fatia exposta: -557,50;
- Data da realização do exame: 10/01/2018;

As imagens foram reagrupadas pelo *software* de computador com cortes intermédios, saltando duas a cada três fatias, tendo como objetivo a preservação da integridade do exame e fidelização do efeito de exibição do arquivo 3D. O resultado é uma visão bastante detalhada e multidimensional dos órgãos internos. As fatias ou cortes nesse caso podem chegar à espessura aproximada de 0,7 mm. A diferença entre aproveitar todas as fatias ou não do arquivo do exame, está relacionada diretamente com o impacto que o arquivo causa, por conta da quantidade do volume de dados representados principalmente nos detalhes da malha gerada. Consequentemente resultando em um número muito grande de vértices e faces.

Após a conclusão da importação, é necessária a configuração de filtragem do exame. A importância disso é para que partes nas quais não fazem parte da cavidade nasal, apareçam como pontos flutuantes no arquivo. Isso

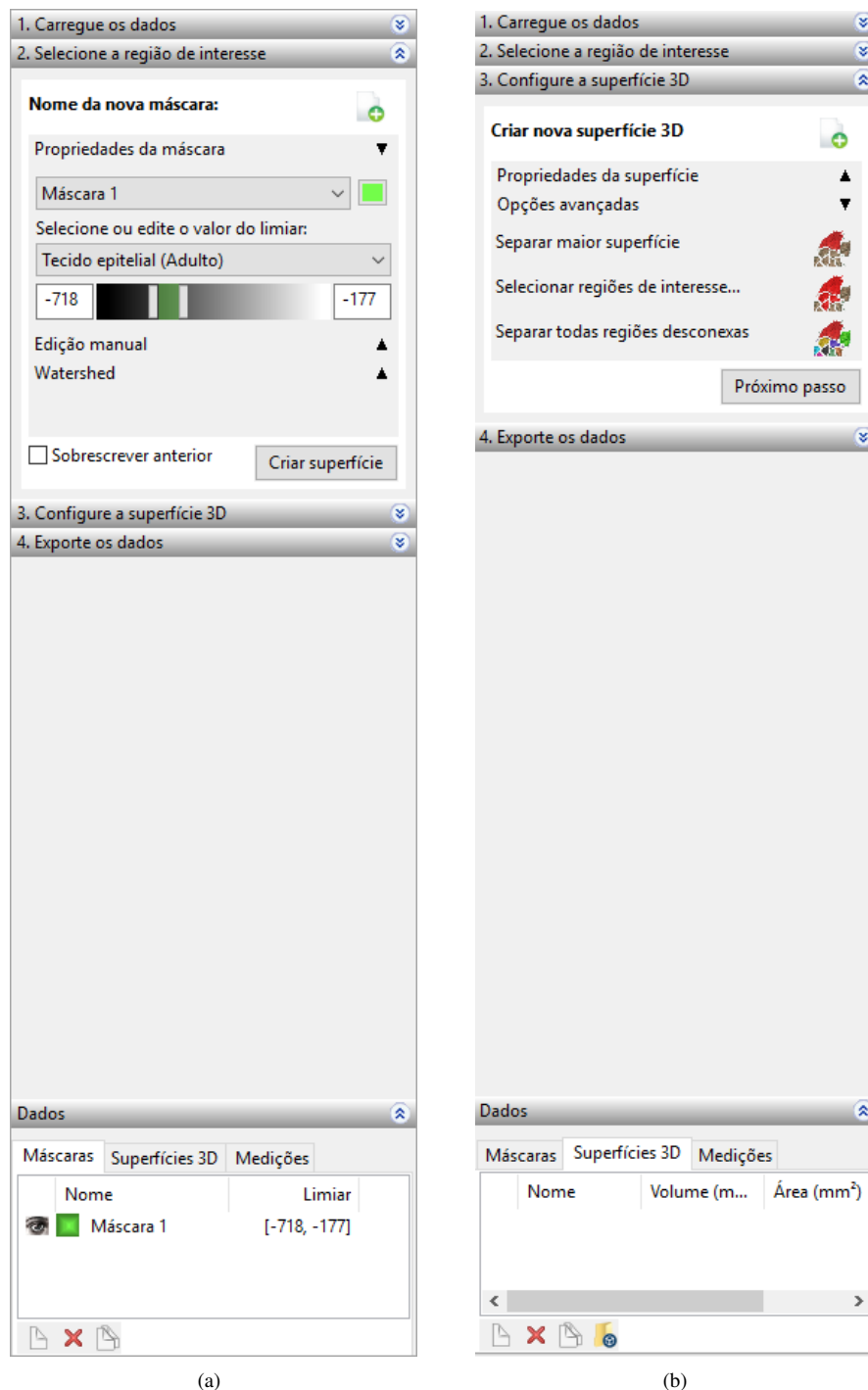
ocorre devido a presença de ruídos no exame, que ao serem importados para a plataforma do Blender, passam a serem vistos, causando um grande excesso quanto ao tamanho do arquivo. O que impacta na renderização em tempo real durante a execução, e assim ocasionando travamentos em computadores de menor capacidade de processamento.

Seguindo essa temática, para possibilitar uma melhor otimização do arquivo, são atribuídas as configurações assim como as exibidas na Figura 8. A configuração é dividida em quatro partes. A primeira é a escolha da configuração da quantidade de fatias a ser importada. A segunda, é basicamente o filtro das partes moles, duras e líquidas da região do exame. A utilização do *software* InVesalius, permite a segmentação dessas regiões pré-estabelecidas.

Para segmentar uma estrutura, é definido a região de interesse a ser segmentada. Com isso, o *software* disponibiliza algumas configurações pré-estabelecidas para segmentação das imagens. Ao escolher uma das opções, o *software* indica na fatia qual a área correspondente à opção selecionada. No caso desta obra, segmentamos o tecido epitelial adulto que varia entre -718 a -177 UH. Para destaque e visualização da área de interesse, é utilizada uma máscara de tonalidade verde, assim destacando a faixa de limiar que o caracteriza. Dependendo de cada exame e de cada paciente, pode ser necessário o ajuste manual no valor do limiar para adequação do mesmo às características específicas do caso. Pode ser necessário também realizar pequenas alterações no limiar durante o correr das fatias pois a densidade do material pode variar ao longo do deslocamento das fatias. Por padrão, a técnica de *Watershed* é utilizada para realizar uma melhor segmentação da região escolhida. No terceiro passo, é criada então a superfície em 3D da região que a máscara filtrou e segmentou. Em seguida no quarto passo, é possível realizar a importação da região segmentada. O arquivo está gerado em formato OBJ para que contribuísse com a otimização do sistema.

A utilização da técnica de *Watershed* neste trabalho, é aplicada sobre o exame de TC ainda no *software* InVesalius. O seu uso se deve ao fato de proporcionar ao exame, uma melhor segmentação da região da cavidade nasal que nesse caso é a região de interesse e assim, destacar o tecido epitelial adulto efetuando a sua exportação, sem a presença de ruídos. O que poderia resultar em malhas soltas e pontos flutuantes indesejáveis no arquivo 3D exportado. Para utilizá-la no *software* InVesalius, é necessário clicar na opção *Watershed* e assim, abrir o painel de edição. Para obter um melhor resultado, é necessário realizar a limpeza da máscara, em seguida selecionar opção "Sobrescrever máscara" para limpar todo e qualquer dado que possa prejudicar a segmentação.

Figura 8: Configuração para filtragem do exame no *software* InVesalius: (a) configuração de máscara e (b) configuração de superfície 3D

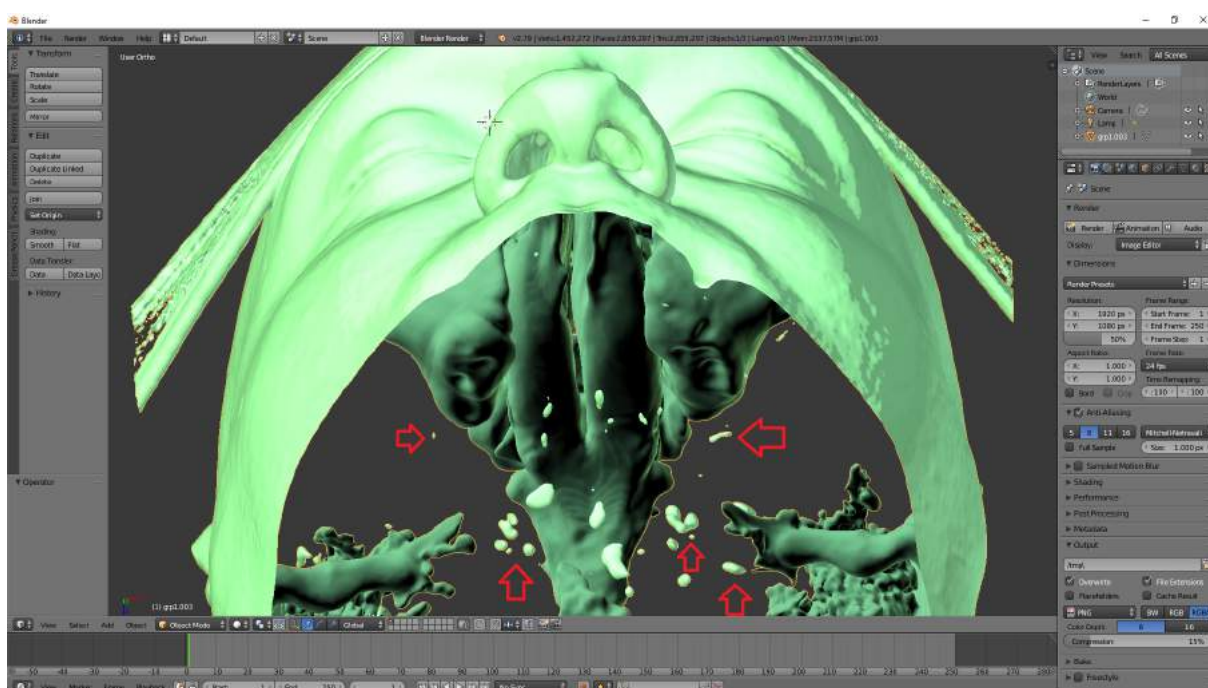


Fonte: (CENTRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO RENATO ARCHER, 2019)

Após feita a limpeza, é preciso selecionar a opção "Considerar brilho e contraste" para o algoritmo do sistema levar em consideração a imagem que está sendo visualizada, assim permitindo ser possível alterar o brilho e contraste. Dessa forma, obtendo resultados melhores de segmentação (AMORIM *et al.*, 2013).

A conectividade dos pixels que serão levados em consideração, podem ser alterados. No caso 2D, é possível selecionar conectividade 4 e 8, já no caso 3D pode-se selecionar 6, 18 ou 26. O desvio padrão da gaussiana pode ser alterado para o método suavizar a imagem ao aplicar a segmentação. É importante salientar que valores altos tendem a deixar a imagem mais suavizada e consequentemente o algoritmo seleciona menos detalhes e ruídos. O que nesse tipo de aplicação se torna de extrema importância, já que nesta obra é priorizada a filtragem de ruídos que possam prejudicar tanto o processamento como a qualidade gráfica, assim como é mostrado na Figura 9. Na imagem é possível observar sinalizado por setas a presença de alguns desses ruídos indesejáveis.

Figura 9: Imagem de exame de tomografia em formato tridimensional com a presença de ruídos e malhas soltas.



Fonte: Próprio autor.

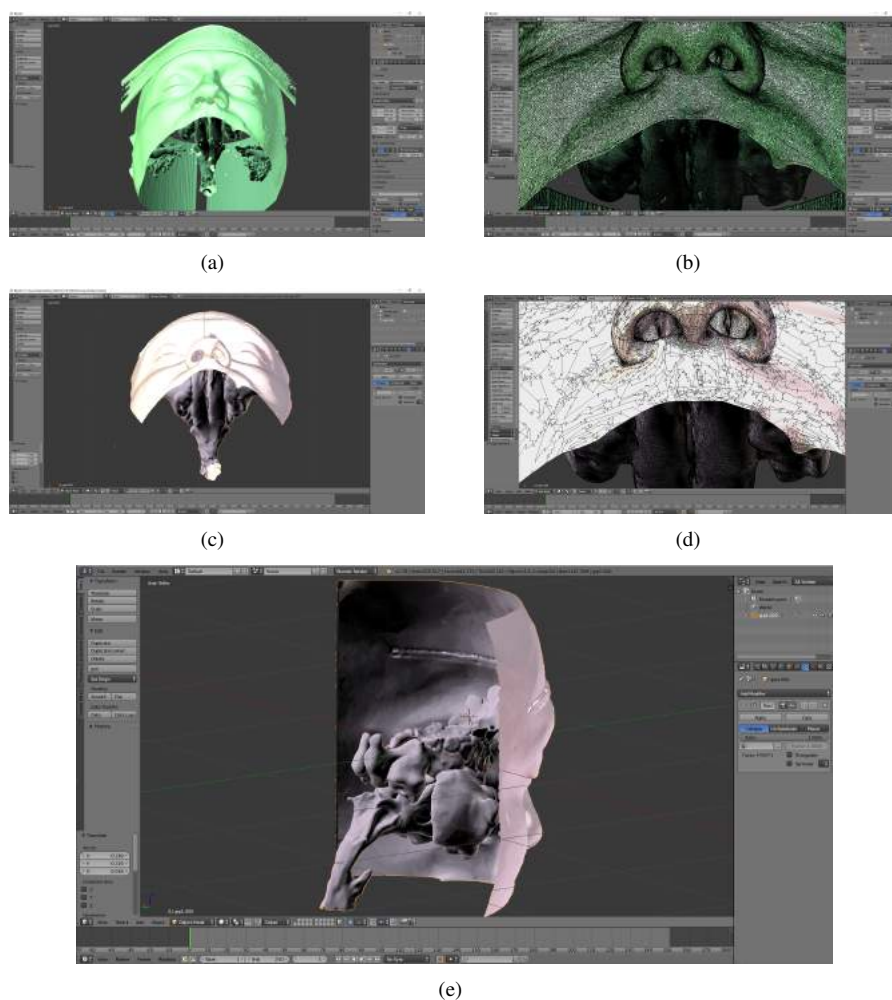
Por fim, antes de efetuar a exportação do arquivo, é criada uma nova superfície 3D. Nesse momento, assim como mostra Figura 8b, é escolhido para que apenas a região de maior superfície permaneça presente no arquivo. Com isso, o arquivo está pronto para ser exportado para a plataforma Blender.

Tratamento do arquivo 3D de exame de tomografia computadorizada

Nesse ponto, ao ser adquirido o arquivo 3D de exame de TC, é necessário eliminar alguns vértices e faces de menor interesse na aplicação. Para isso, é importado para o Blender o arquivo filtrado no *software* InVesalius.

Na plataforma Blender, é realizada a quebra de malha, alterando vértices e faces através da eliminação de regiões desconexas com a aplicação. Como o interesse da aplicação está voltado inteiramente para a região da cavidade nasal, é necessário manter a qualidade da mesma. Já as outras regiões como pele do rosto e canal auditivo podem ser alteradas e até mesmo eliminadas. Na Figura 10 são ilustrados os passos realizados no Blender para o tratamento do arquivo.

Figura 10: Tratamento de malha de arquivo tridimensional de exame de tomografia computadorizada: (a) arquivo exportado pelo *software* InVesalius, (b) exposição da malha com suas vértices e faces do arquivo na superfície 3D, (c) resultado após tratamento de exclusão de malhas soltas e regiões de menor interesse, (d) exposição da malha com suas vértices e faces do arquivo na superfície 3D após tratamento e (e) visão dianteira do arquivo após tratamento.



Fonte: Próprio autor.

Na Figura 10a é apresentado o arquivo inicial exportado pelo *software* InVesalius ainda sem nenhum tratamento. Em seguida, na 10b é exposta a malha com suas vértices e faces do arquivo na superfície 3D. A malha permanece uniforme e com um grande volume de dados devido apresentar no momento 1.452.272 vértices, 4.314.012 arestas e 2.859.297 faces. Na imagem da Figura 10c é mostrado o resultado após tratamento de exclusão

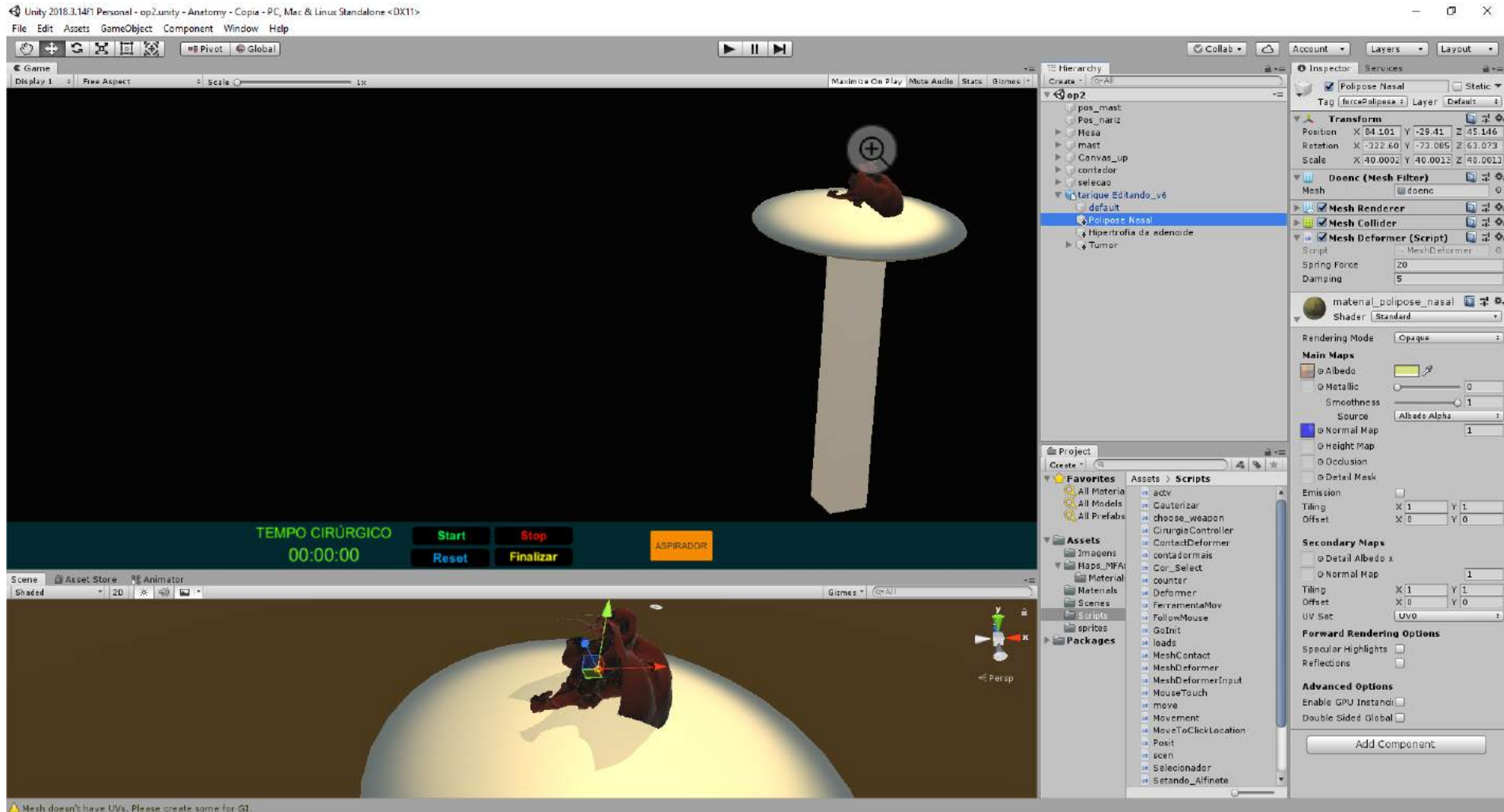
de malhas soltas e regiões de menor interesse como canal auditivo e ruídos ainda presentes. Na Figura 10d é então exposta a malha com suas vértices e faces do arquivo na superfície 3D após tratamento de mesclagem de regiões. Agora apresentando uma quantidade de 255.317 vértices, 699.254 arestas e 443.371 faces. Por fim, na Figura 10e é contemplada a visão traseira do arquivo 3D após tratamento. Dessa forma, apresentando um modelo de arquivo 3D leve e sem perda de qualidade. Com ausência de ruídos visíveis e malhas soltas que comprometem o desempenho de aplicações que utilizam de arquivos nesse formato.

Dentro do ambiente de desenvolvimento da Unity, é realizada a importação do arquivo em formato OBJ em 3D gerado pelo *software* Blender. No editor de cenas, o modelo é posicionado de forma conveniente a aproveitar todo o painel de menu, botões e controle já desenvolvidos para o sistema com uso de atlas. Dessa forma, proporcionando ao usuário uma melhor afinidade e consequentemente uma facilidade com um modelo mais realista. Diferente do sistema com uso de atlas, apenas as doenças polipose nasal, hipertrofia da adenoide e tumor benigno foram atribuídas a esse modelo. As mesmas foram posicionadas em locais comuns onde ocorre as doenças também através do editor de cenas.

Na Figura 11, é possível observar a seleção de uma das doenças no painel de objetos alocados em cena e logo mais, à direita é visualizado o painel editor de objetos exibindo todas as configurações da doença como posição no ambiente, malhas, objeto de colisão, *script* de deformação da malha ao ser tocada pela ferramenta e o seu material com as devidas texturas respectivamente. Ainda na Figura 8, é observado também no painel de pastas do projeto, todos os *scripts* utilizados neste trabalho que trabalham de forma interativa e intuitiva para propiciar fluidez e o bom funcionamento da simulação.

Para essa versão, é modelado um novo suporte no próprio Unity, representando uma mesa para apoiar a região a ser examinada. Nesse caso, da mesma forma que na versão com atlas, o modelo a ser examinado também está posicionado na posição decúbito dorsal. Uma luz ambiente também é atribuída a cena para destacar o modelo e tornar intuitivo ao usuário o local do exame.

Figura 11: Pannel de interface de desenvolvimento da Unity elaborando projeto da segunda cena do sistema com uso de exame de tomografia computadorizada.



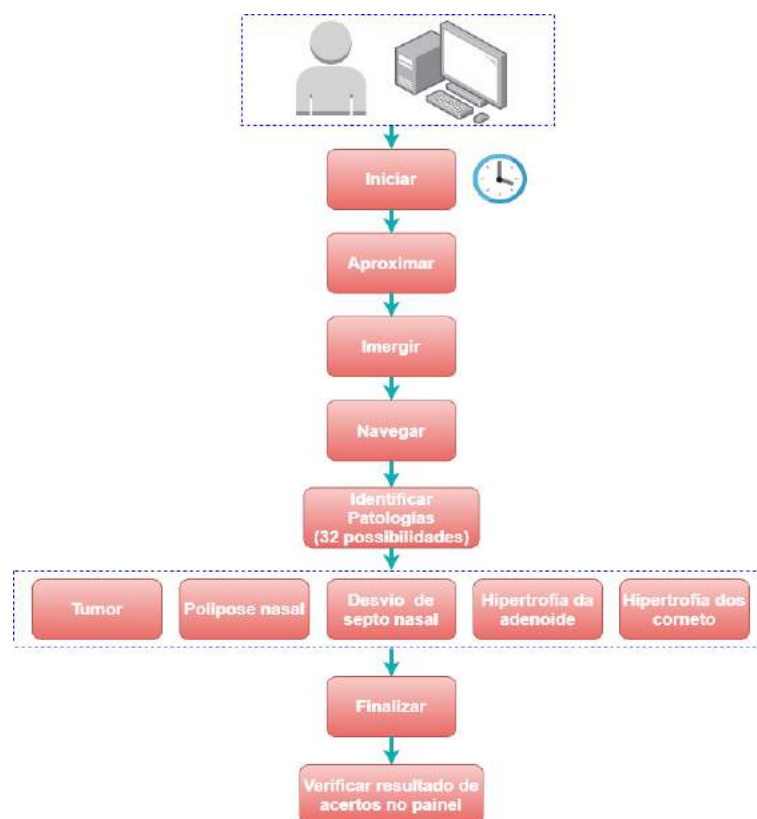
Fonte: Próprio autor.

4.2.3 Operação do sistema

Seguindo a mesma temática, foram desenvolvidos dois *softwares*: um utilizando atlas de corpo humano em 3D, compondo um sistema didático para navegação e identificação de doenças e outro, utilizando imagens de tomografia para a fabricação de modelo 3D da face e das cavidades nasais, no qual compõe um sistema mais realista e profissional, também para navegação e identificação de doenças.

Os modelos de arquivo em 3D (atlas e tomografia) adquiridos para ambas as aplicações, assim como as doenças modeladas no *software* Blender, foram importados para o ambiente de desenvolvimento do *software* Unity que permitiu o desenvolvimento das funções de *gamificação*. Todo o *software*, encontra-se desenvolvido para possuir uma interface interativa e que ao mesmo tempo, mantivesse a ideia de fácil utilização e acesso aos recursos por parte do usuário. Por esse motivo, o controle utilizado também possui algo que se assemelhasse ao controle e *gamificação* dos jogos de entretenimento utilizados na atualidade. Assim, um computador foi escolhido para a utilização do *software*, em que todo o controle está adaptado para o uso exclusivo do mesmo. Na Figura 12, é possível contemplar o diagrama de usabilidade do *software*.

Figura 12: Diagrama de usabilidade do software.



Fonte: Próprio autor.

No diagrama consta todo o fluxo que o usuário do *software* percorrerá. Iniciando com uma contagem de tempo, aproximando da região que será realizado o exame até que ocorra a imersão na cavidade nasal. Assim, permitindo a navegação completa passando pela identificação das patologias, até que ocorra a finalização com a exibição dos resultados.

Na Figura 13, é possível observar a imagem da primeira tela a ser exibida quando o *software* é executado. Nela mostra a opção de exercício a ser escolhida, onde ao clicar no botão *Endoscopia Nasal*, será exibida uma nova tela na qual estará a interface de *gamificação*. Na Figura 14, mostra a imagem da interface de *gamificação* composta pelo modelo 3D ao centro. Na mesma imagem, é ilustrado um menu composto de um tempo que é contabilizado ao iniciar o exame e ao lado um conjunto de botões responsáveis por iniciar, parar, finalizar, reiniciar e de mostrar a ferramenta utilizada que no caso é o aspirador. Além desses botões, é possível observar também, próximo ao modelo 3D uma lupa que representa o aumento de *zoom*. A lupa com o aumento de *zoom*, permite que o usuário faça a imersão dentro da cavidade nasal do modelo.

Figura 13: Tela de entrada do software.



Fonte: Próprio autor.

Para o desenvolvimento e avaliação de ambos os simuladores, é utilizado um computador de configuração mediana. Dessa forma, a configuração do computador deve possuir: sistema operacional Windows 10 (64-bit), processador intel core i5-7400, 3.0GHz, 6MB cache, 4 núcleos, memória 8GB 2400MHz, placa de vídeo geforce GTX 1060 6GB windforce, disco rígido HD 1000GB sata 64MB cache. A mesma configuração se manteve para a realização das tarefas disponíveis no *software*.

Figura 14: Interface de *gamificação* e modelo 3D.



Fonte: Próprio autor.

RESULTADOS

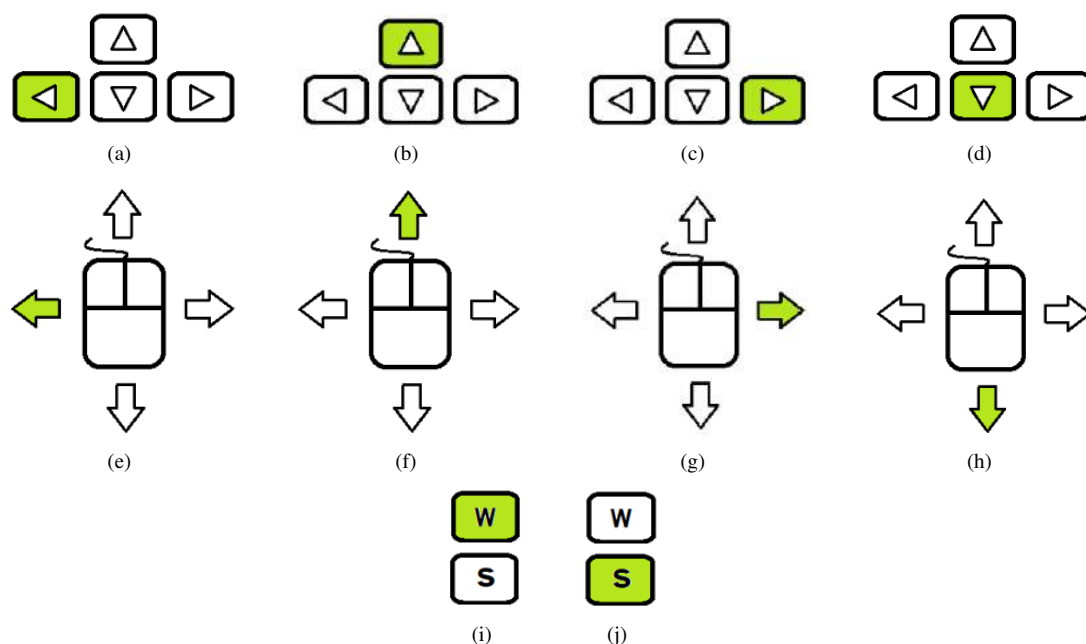
O método de avaliação adotado para este trabalho é semelhante as avaliações realizadas em trabalhos semelhantes encontrados na literatura (RUTHENBECK *et al.*, 2013; SHI *et al.*, 2015; JAYAKUMAR *et al.*, 2015; KOLSANOV *et al.*, 2016; HAO *et al.*, 2016; BARBER *et al.*, 2018). As obras são utilizadas como referência para gerar os resultados previstos para este trabalho. Dessa forma, gerando fins correspondentes a cada objetivos específicos ressaltados. Nas referências, são citados e comparados os materiais desenvolvidos como: malhas, texturas, iluminação, controle, plataforma de utilização e utilidades específicas de cada um. As obras tentam retratar com o máximo de recurso disponível, a simulação em 3D do real através das comparações. Essas referências, resultaram no desenvolvimento da Tabela 2 que mostra as características de cada trabalho.

5.1 Operação do controle do software

Com o objetivo de facilitar o acesso aos comando do *software* do simulador, todo o seu controle desenvolvido, está direcionado aos comandos já existentes em um computador. Os comandos desenvolvidos utilizam configurações já existentes em jogos da atualidade para promover maior facilidade e proporcionar melhor controle de navegação a simulação.

Como é ilustrado na Figura 15, é possível observar as teclas de navegação, o *mouse* e as teclas alfanuméricas do computador. As teclas de navegação do teclado do computador servem para controle de câmera no qual é responsável pela visualização durante a navegação. No caso, a Figura 15a, representa o toque da tecla de navegação para a esquerda quando se deseja movimentar a câmera para esquerda, a Figura 15b, representa o toque da tecla de navegação para cima quando se deseja movimentar a câmera para cima, a Figura 15c, representa o toque da tecla de navegação para a direita quando se deseja movimentar a câmera para direita e a Figura 15d, representa o toque da tecla de navegação para a baixo quando se deseja movimentar a câmera para baixo. Assim possibilitando a movimentação da câmera para os sentidos desejados.

Figura 15: Ilustração dos comandos de controle do *software* simulador: (a) tecla de navegação esquerda do teclado, (b) tecla de navegação para cima do teclado, (c) tecla de navegação para direita do teclado, (d) tecla de navegação para baixo do teclado, (e) manuseando o *mouse* para esquerda, (f) manuseando o *mouse* para frente, (g) manuseando o *mouse* para trás, (h) manuseando o *mouse* para direita, (i) tecla alfanumérica "W" do teclado e (j) tecla alfanumérica "S" do teclado.



Fonte: Próprio autor.

O *mouse* possui a função de movimentar a ferramenta na direção desejada. Dessa forma, para melhor interação, qualquer sentido que o *mouse* for direcionado a ferramenta também será direcionada, pois a ponta da ferramenta utilizada no simulador acompanha a movimentação do ponteiro do *mouse*. Assim possibilitando alterar o ângulo de movimento da ferramenta. No caso, como é mostrado na Figura 15e, movimentado o *mouse* para esquerda a ferramenta será movimentada para esquerda. Assim, na Figura 15f, mostra-se o *mouse* sendo movimentado para frente o que ocasiona a ferramenta ser movimentada para cima. Na Figura 15g, observa-se o *mouse* sendo movimentado para a direita, o que possibilita a ferramenta ser movimentada para a direita. Na Figura 15h, é ilustrado o movimento do *mouse* para trás, assim levando ao movimento da ferramenta para baixo.

As teclas alfanuméricas são utilizadas para controle de deslocamento da câmera e da ferramenta para frente e para trás. Dessa forma, na Figura 15i é ilustrada a tecla do botão alfanumérico W do teclado sendo acionado, o que levará ao deslocamento para frente. Por fim, na Figura 15j é mostrada a tecla do botão alfanumérico S do teclado que ao ser acionada, movimentará a câmera e a ferramenta para trás, e com isso, permitindo a navegação completa do *software* simulador.

5.2 Sistema com uso de atlas

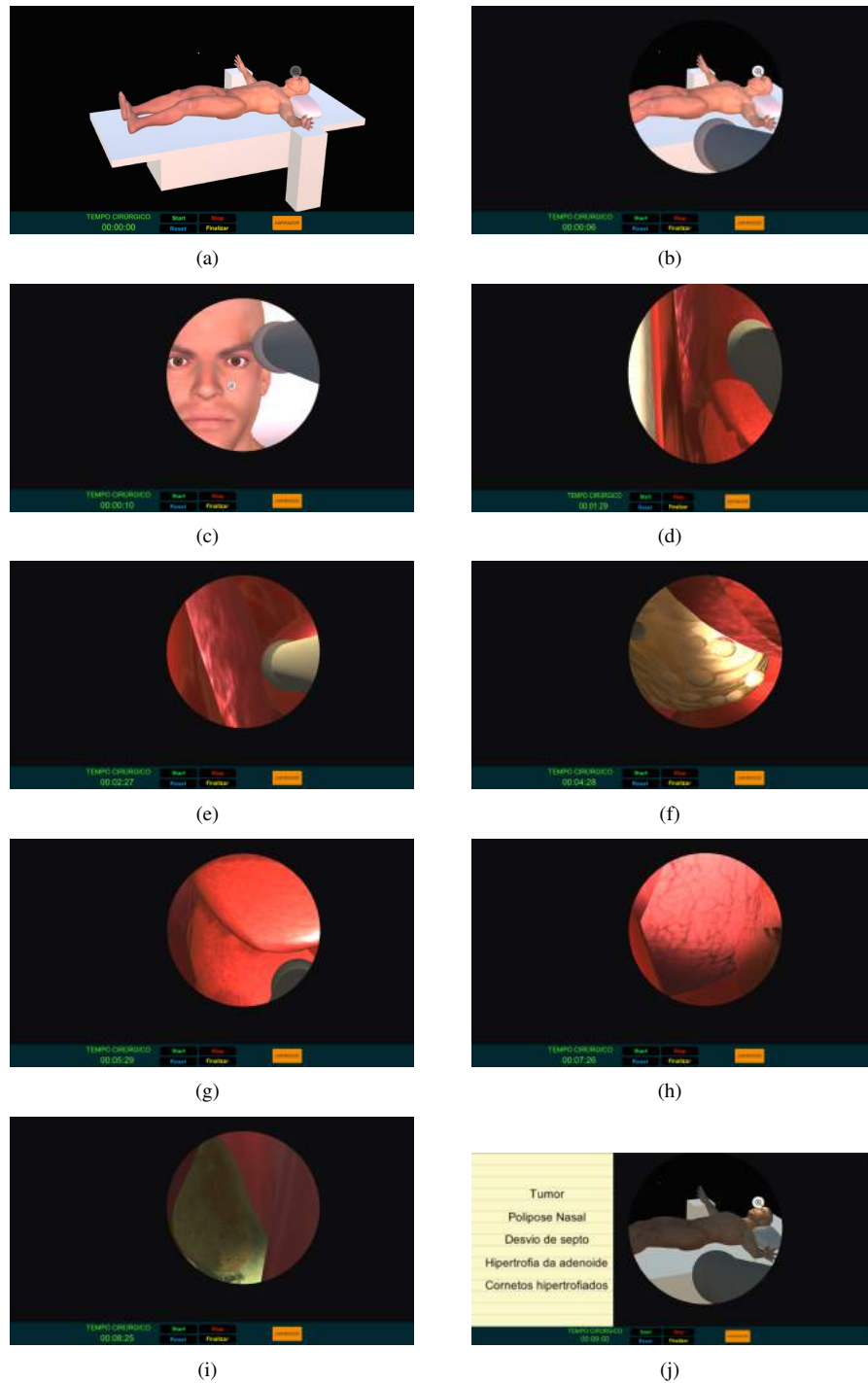
O sistema com uso de atlas, permite a simulação do exame de endoscopia nasal, assim possibilitando a navegação no interior da cavidade nasal. Além disso, é possível a observação de algumas doenças comuns que no simulador são exibidas de forma aleatória.

Como é possível observar na Figura 16, é exibida a sequência de telas durante a execução e navegação do simulador com uso de atlas. Na Figura 16a, é notada a primeira tela a ser exibida antes do início do exame. Como é mostrado na Figura 16b, ao ser iniciado o exame clicando no botão *Start*, será iniciado o contador de tempo de execução do exame. Na tela é exibida a ferramenta e a visão da câmera do exame, assim como ocorre na realidade. Clicando no botão ilustrado como uma lupa, é possível aproximar-se do modelo 3D, permitindo uma posição favorável para o estado de imersão na cavidade nasal do modelo, como é ilustrado na Figura 16c. Nela é exibida mais uma lupa de *zoom* que permitirá a imersão completa da cavidade nasal. Na Figura 16d, Observa-se a entrada da cavidade nasal.

A partir desse momento inicia-se o processo de imersão dentro da cavidade nasal, caracterizando a realização do exame. Conforme ocorre a navegação, é possível observar a presença de algumas patologias, assim como ocorre na Figura 16e em que é exibida a presença do desvio de septo. Prosseguindo com o exame, assim como mostra na Figura 16f, é notada a presença de mais uma doença, no caso um tumor benigno. Mais adiante, na Figura 16g é vista a ilustração dos cornetos com alterações na sua coloração e volume, o que pode caracterizar a ocorrência da hipertrofia dos cornetos. Em seguida, ao avançar com a ferramenta e rotacionar a câmera é registrada a presença da adenoide com uma coloração avermelhada, casos dilatados e com um volume fora do padrão, dessa forma, caracterizando a hipertrofia da adenoide. Percorrendo um pouco mais a cavidade nasal, em direção a nasofaringe, é reparada a presença de mais uma patologia, no caso a polipose nasal, assim como pode ser observada na Figura 16i.

Nesse sistema, durante a execução da navegação, é possível observar a presença de cinco tipos de patologias: desvio de septo, tumor benigno, hipertrofia dos cornetos, hipertrofia da adenoide e polipose nasal que serão exibidas de forma aleatória e dessa forma, podendo ou não estar presente durante a imersão. Por fim, ao ser clicado em *Finalizar*, será ilustrado um bloco de notas com o nome das patologias que estavam presentes no exame como é ilustrado na Figura 16f.

Figura 16: Sequência de exibição de telas durante a execução e navegação do simulador com uso de atlas: (a) Tela de entrada do simulador, (b) tela exibida ao ser iniciado o exame, (c) tela exibida ao ser clicado na lupa, (d) tela exibida ao ser clicada na lupa, (e) tela exibida ao percorrer a cavidade nasal encontrando desvio septal, (f) tela exibida ao percorrer a cavidade nasal encontrando tumor benigno, (g) tela exibida ao percorrer a cavidade nasal encontrando hipertrofia dos cornetos, (h) tela exibida ao percorrer a cavidade nasal encontrando hipertrofia da adenoide, (i) tela exibida ao percorrer a cavidade nasal encontrando polipose nasal e (j) tela exibida ao ser clicado no botão Finalizar.



Fonte: Próprio autor.

5.3 Sistema com uso de exame de tomografia computadorizada

A segunda versão do simulador permite a simulação do exame de endoscopia nasal, possibilitando a navegação dentro da cavidade nasal reconstruída com base em um exame de TC. Além disso, é possível a observação de algumas doenças comuns que no simulador são exibidas de forma aleatória, assim como na versão com atlas.

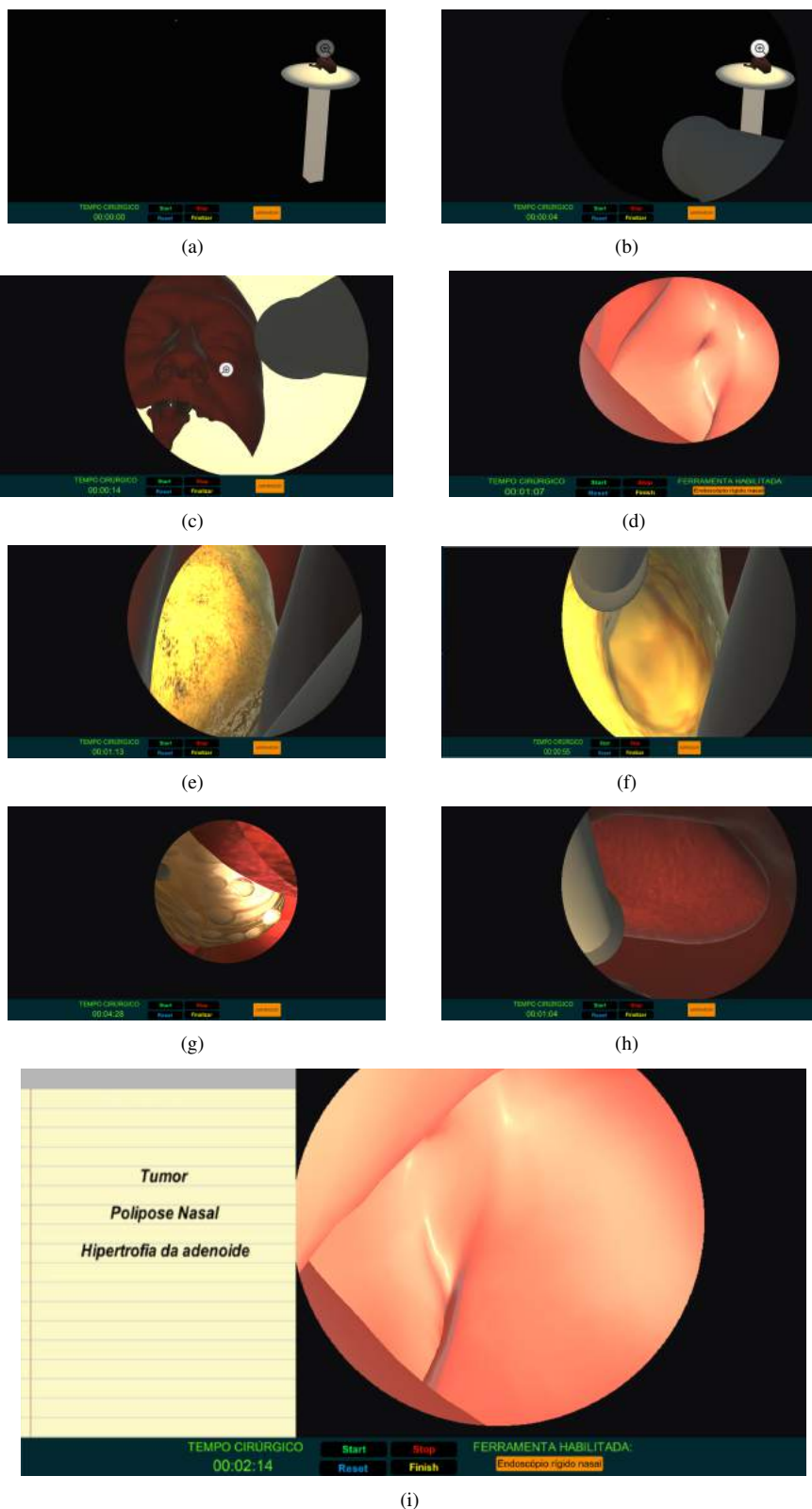
Analisando as imagens da Figura 17, na Figura 17a, observa-se a primeira tela ao ser exibida antes do início do exame. Como é mostrado na Figura 17b, ao ser iniciado o exame clicando no botão *Start*, será iniciado o contador de tempo de execução do exame e na tela será exibida a ferramenta e a visão da câmera do exame, dessa forma, assim como na versão com atlas, permitindo o controle das mesmas, assim como ocorre em um exame real. Clicando no botão ilustrado como uma lupa, é possível aproximar-se do modelo 3D, permitindo uma posição favorável para o estado de imersão na cavidade nasal do modelo, como mostra na Figura 17c. Nela é exibida mais uma lupa de *zoom* que permite a imersão completa da cavidade nasal. Na Figura 17d, Observa-se a entrada da cavidade nasal.

Nesse sistema, durante a execução da navegação, é possível observar a presença de três tipos de patologias: polipose nasal, hipertrofia da adenoide e tumor benigno que serão exibidas de forma aleatória e dessa forma, podendo ou não está presente durante a imersão como mostrado na Figura 17e, a ilustração da presença da polipose nasal. Na Figura 17f apresenta a reação da patologia ao ser tocada pela ferramenta. Observando a Figura 17g, é notada a presença de outra patologia, no caso o tumor benigno. A Figura 17h mostra a presença da terceira patologia, a hipertrofia da adenoide. Por fim, ao ser clicado em *Finalizar*, é ilustrado um bloco de notas com o nome das patologias que estavam presentes no exame.

5.4 Avaliação de malha e texturas

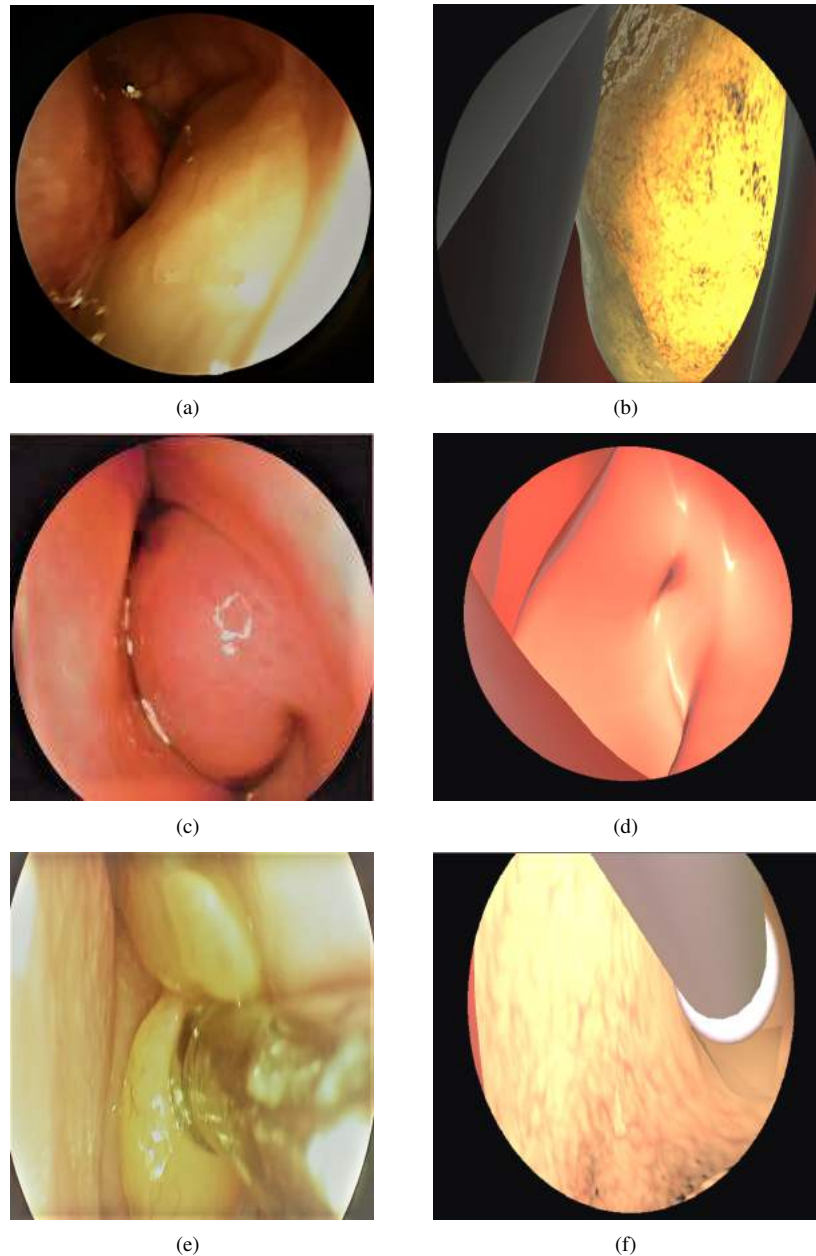
Para que o simulador apresente um maior grau de realismo, é necessário atentar-se às características de deformação da malha quando aplicadas forças de interação. Além disso, é preciso obter texturas semelhantes com o real (RUTHENBECK *et al.*, 2013). Para que isso ocorra, é fundamental a utilização de iluminação e sombreado. Estes juntos, aliados a uma boa caracterização de textura ao material, resultam em grandes resultados em aplicações (JAYAKUMAR *et al.*, 2015; KOLSANOV *et al.*, 2016). Na Figura 18 é ilustrada uma comparação com o objetivo de avaliar a fidelidade do que foi desenvolvido com o real (SHI *et al.*, 2015).

Figura 17: Sequência de exibição de telas durante a execução e navegação do simulador com uso de exame de Tomografia Computadorizada: (a) Tela de entrada do simulador, (b) tela exibida ao ser iniciado o exame, (c) tela exibida ao ser clicado na lupa, (d) tela exibida ao ser clicada na lupa de imersão, (e) tela exibida ao percorrer a cavidade nasal ilustrando a polipose nasal, (f) tela exibindo a reação de toque ao tocar com a ponta da ferramenta em paredes mole, (g) tela exibindo a presença de tumor benigno, (h) tela exibindo a presença da hipertrofia da adenoide e (i) tela exibida ao ser clicado no botão Finalizar.



Fonte: Próprio autor.

Figura 18: Comparação de resultados de modelagem de malha e texturas: (a) imagem de polipose nasal, (b) polipose nasal modelada para simulador, (c) imagem da cavidade nasal, (d) imagem da cavidade nasal do simulador utilizando Tomografia Computadorizada, (e) imagem mostrando reação da polipose nasal ao toque da ferramenta e (f) ilustração de deformação da malha ao sofrer toque.



Fonte: Imagens (a) e (c) retiradas de site público beverlyhillssinus.com.

Na Figura 18a mostra a cavidade nasal com a presença da patologia polipose nasal. Logo ao lado, na Figura 18b, é ilustrado a simulação da polipose presente na cavidade nasal do modelo 3D do simulador, com o brilho e viscosidade presente conforme o real. Já na Figura 18c, mostra as paredes da cavidade nasal com a presença de brilho e reflexo causado sobre a viscosidade, devido a presença da iluminação da ferramenta examinadora. Em seguida na Figura 18d, é possível observar a parede da cavidade nasal presente no simulador com uso de TC. Nela

são notadas as mesmas características de textura, brilho, reflexo, modelagem de malha tal igual como ocorre no real. Por fim na Figura 18e a reação de tecido mole da polipose nasal ao ser tocada pela ferramenta e na Figura 18f, a sua respectiva ilustração de deformação de malha ao ser tocada pela ferramenta dentro do simulador.

No trabalho de Barber *et al.* (2018) é notada a ausência desse tipo de realismo nas texturas, assim não ocorrendo a fidelização da interação entre a iluminação e o material utilizado para simular o modelo. De forma parecida, ocorre no desenvolvimento de um sistema interativo multimodal para simulação de cirurgia de abordagem endoscópica de Hao *et al.* (2016). O modelo 3D utilizado no sistema, não proporciona semelhança idealizada em simuladores assim como ocorre no desenvolvimento deste presente trabalho que seguiu as orientações dos simuladores de fotorrealismo na simulação de cirurgia endoscópica do seio desenvolvido por Ruthenbeck *et al.* (2013) e do simulador de delineamento e divisão em cirurgia virtual do fígado desenvolvido por Shi *et al.* (2015). Uma comparação das características desses trabalhos citados, pode ser contemplado na Tabela 2.

5.5 Método para levantamento de resultados

Na Tabela 2, é possível contemplar uma breve descrição dos sistemas que abordam a mesma temática e tecnologias semelhantes. A Tabela 2 é separada em seis partes, sendo elas:

- Exibição de dados durante a simulação: quando ocorre a presença de exibição de dados ou relatórios durante a execução do simulador, como por exemplo, a força aplicada da ferramenta sobre o tecido do órgão, pressão arterial e tempo de execução.
- Exibição de resultados ao final da simulação: quando ocorre a presença de exibição de dados ou relatórios ao terminar a execução do simulador. No caso, dependendo da temática seguida, são exibidos dados ou relatório informando de todo o ocorrido durante a simulação como por exemplo, tempo total, falhas ocorridas e pontuações.
- Fidelidade nas texturas: quando ocorre a presença da semelhança do simulado com o real. Nessa abordagem, o simulador fideliza as texturas reais de tecidos de órgãos.
- Fidelidade na iluminação: quando ocorre a presença da interação da iluminação, conforme a execução de movimentos durante a simulação. Nessa tratativa, é notada a presença de raios de luz originários de um ponto no objeto convergindo com materiais, causando refrações, sombras e penumbras.
- Deformação da topologia ao sofrer toque: quando ocorre a deformação da malha do objeto 3D, causando

deformação do tecido do órgão simulado. Geralmente a deformação da topologia acontece quando há interação de toque da ferramenta utilizada pelo usuário com o tecido do órgão simulado.

- Ausência de perda de detalhes: ocorre quando o simulador fideliza as curvas de tecidos em órgãos e trechos de cavidades. A presença de detalhes no simulador causa o diferencial devido ser um dos pontos importantes para a ocorrência de imersão juntamente com texturas, iluminação e deformação de malha coniventes com o real.

- Uso de hardware para controle: mostra de que forma o usuário interage, transmitindo os movimentos para o simulador.

- Especialidade e aplicação: expõe a finalidade de desenvolvimento do simulador.

Nas duas últimas linhas da Tabela 2, estão presentes as duas versões dos simuladores desenvolvidos neste trabalho. Nela é observada as características presentes em cada sistema. Assim, ajudando a entender as suas funcionalidades e o foco de cada obra. Desse modo, mostrando as suas vantagens e assim, a suas contribuições neste seguimento.

A Tabela 2 ressalta os pontos de maior interesse em aplicações dessas especialidades (RUTHENBECK *et al.*, 2013; SHI *et al.*, 2015; JAYAKUMAR *et al.*, 2015; KOLSANOV *et al.*, 2016). Nela é possível observar marcado com "X" as características presentes em cada trabalho. No caso, o primeiro simulador exibido na Tabela 2 é o Virtual FESS que apresenta exibição de dados durante o decorrer da simulação e fidelidade com o real quanto a iluminação. Entretanto, não possui exibição de resultados a cada final de execução de simulação. Também não manteve a fidelidade das texturas de simulação de tecido e não apresenta deformação da topologia ao sofrer toque de interação com a ferramenta. Além disso, apresenta perda de detalhes importantes de cor de texturas e brilho.

O segundo da tabela é o Delineation and Splitting in Virtual Liver Surgery que apresenta exibição de dados ao término da simulação, fidelidade das texturas quanto a sua semelhanças com o real, deformação da topologia da malha do tecido simulado ao interagir com a ferramenta e não apresenta perda de detalhes da qualidade do tecido simulado. No entanto, o simulador não exibe dados durante a sua execução e também não mantém a semelhança quanto a qualidade da iluminação.

Logo abaixo, é possível observar o Multi-modal Interactive System for Endoscopic Endonasal Approach Surgery Simulation. Neste simulador, são exibidos dados tanto durante a execução do simulador como ao final da execução, contendo pontos de falhas e acertos. Além disso, apresenta uma boa deformação de malha durante a

interação com a ferramenta utilizada. Contudo, não apresenta uma boa qualidade de textura e iluminação simulada. O que promove a perda de detalhes e com isso, impactando na qualidade do simulador.

Ainda na Tabela 2, o quarto trabalho tenta apresentar uma forma mais completa de um simulador, deixando ausente apenas a fidelidade quanto a qualidade das texturas sobre os objetos simulados. No caso, os simuladores que apresentam maior nível de fidelidade com o real são o Intelligent SDK for 3D Surgery Simulation e o Photorealism in endoscopic sinus surgery simulation. Apresentando todas as características expostas na Tabela 2.

As duas versões dos simuladores desenvolvidos nesta obra, estão presentes nas duas últimas linhas da Tabela 2. Nela é possível observar, todas as características dos simuladores. No caso, é notada a ausência apenas da exibição de dados durante a execução da simulação. Apesar disso, é constatado a presença de todos os outros pontos característicos quanto a qualidade do simulado, não apresentando perda de detalhes importantes vistos nos simuladores Virtual FESS, Delineation and Splitting in Virtual Liver Surgery, Surgery Simulation Multimodal Interactive System e no Interactive Medical Simulator Using Leap Motion. Além disso, comparado com os outros simuladores, assim como pode ser observado na última coluna da Tabela 2, os sistemas desenvolvidos neste trabalho possuem uma facilidade de acessibilidade, uma vez que é possível ser instalado em um computador e o usuário pode utilizar dos recursos de periféricos já presentes (teclado e *mouse*) no mesmo, para interagir durante a simulação. Com isso, promovendo a busca de conhecimento através de ambientes virtuais de *gamificação* de forma coerente e prática. (VAGHETTI; BOTELHO, 2010; ALBINO *et al.*, 2018; TÁVORA *et al.*,).

Tabela 2: Tabela de comparação de características de sistemas.

Simulador	Exibição de dados durante a simulação	Exibição de resultados ao final da simulação	Fidelidade nas texturas	Fidelidade na iluminação	Deformação da topologia ao sofrer toque	Ausência de perda de detalhes	Uso de hardware para controle	Especialidade / aplicação
Virtual FESS	X			X			Oculus VR + Endoscópio	Endoscopia nasal
Delineation and Splitting in Virtual Liver Surgery		X	X		X	X	Phantom omni + 3D device	Cirurgia de divisão do fígado
Surgery Simulation Multimodal Interactive System	X	X			X		Phantom omni	Cirurgia por endoscopia endonasal
Interactive Medical Simulator Using Leap Motion	X	X		X	X	X	Leap Motion	Cirurgia de catarata
Intelligent SDK for 3D Surgery Simulation	X	X	X	X	X	X	Tablet	Colécistectomia laparoscópica
Photorealism in endoscopic sinus surgery simulation	X	X	X	X	X	X	Phantom omni + Endoscópio	cirurgia endoscópica dos seios nasais
Simulador utilizando atlas		X	X	X	X	X	Computador	Identificação de patologias por endoscopia nasal
Simulador utilizando Tomografia		X	X	X	X	X	Computador	Identificação de patologias por endoscopia nasal

5.6 Considerações finais do capítulo

O método proposto encontra-se avaliado de forma abrangente. O efeito de renderização no sistema gráfico virtual é ilustrado. Além disso, é fornecido os materiais e métodos utilizados para que chegasse aos resultados. As experiências demonstram que o método obtém simulação em tempo real e robusta de renderização e deformação da malha. As experiências são concluídas no *software* simulador virtual de exame de endoscopia nasal. O modelo do arquivo 3D que antes continha 1.452.272 vértices, 4.314.012 arestas e 2.859.297 faces passou a conter 255.317 vértices, 699.254 arestas e 443.371 faces sem a perda da qualidade gráfica, assim como mostrou na Figura 10. A Figura 16 e a Figura 17 ilustra o desempenho do método. A velocidade computacional mantém a estabilidade à medida que é deformada a superfície da malha da doença durante o processamento. O efeito final após a simulação do exame do é mostrado ao final de cada procedimento realizado. O tempo de execução do método, do início do procedimento até a finalização ficou na média de 5 minutos. Para a avaliação do método proposto foram utilizados os artigos dos trabalhos citados na Tabela 2. Ela mostra que o simulador apresentado neste trabalho, supera o método descrito em alguns sistemas.

O *software* simulador em sua totalidade, encontra-se desenvolvido para melhorar a perceptividade do usuário. Dessa forma, proporcionando ao mesmo uma melhor visão de como será o procedimento durante o exame. Com isso, o utente passa a ter uma melhoria de aprendizado, uma vez que ocorre a similaridade com o que já tenha sido ensinado e mostrado durante a aula. Além disso, por se tratar de um *software*, o utilizador pode a qualquer momento e em qualquer lugar, praticar e consequentemente, desenvolver suas habilidades quanto ao procedimento.

CONCLUSÃO

A necessidade de um simulador médico preciso em *feedback* de ações realizadas pelo usuário e de baixo custo, se faz presente no treinamento clínico de estudantes da área. Este trabalho mostra uma abordagem diferenciada, para simular o procedimento de exame de endoscopia nasal em um sistema virtual com renderização gráfica avançada, o que pode fornecer um ambiente realista para o treinamento do procedimento do exame. No desenvolvimento, é proposto um método de filtragem e remodelagem em malha triangular e com isso, apresentando como resultado um novo modelo de sistema de simulação de exame de endoscopia nasal para a identificação de patologias.

Este é o primeiro estudo a utilizar a *gamificação* associado à interação para propor uma experiência de simulação de exame imersivo, para a identificação de patologias presentes na cavidade nasal como: hipertrofia de cornetos, desvio de septo, hipertrofia da adenoide, polipose nasal e tumor. O simulador médico interativo, contribui para que os estudantes de medicina pratiquem repetidas vezes os procedimentos. Com isso sendo visto como uma tecnologia de aprendizado bastante eficiente e precisa. Assim o sistema simulador tenta fornecer uma abordagem nova e acessível através de uma simulação com *feedback* de resultado. O método utilizado neste trabalho para o desenvolvimento do simulador, permite que qualquer programa de treinamento médico com um computador moderado, tenha acesso ao uso do *software*. Uma sala de exames virtual permite que estudos de simulação sejam realizados em qualquer lugar e a qualquer momento, permitindo portabilidade e acessibilidade.

Este trabalho consegue mostrar um pouco da história dos trabalhos quanto aos simuladores para treinamento de procedimentos médicos, citando exemplos da atualidade. Também é mostrado o funcionamento dos *softwares* utilizados como referência para o desenvolvimento deste trabalho, bem como as doenças consideradas comuns no contexto. Em seguida, são mostradas as definições dos conceitos utilizados no trabalho, expondo os trabalhos que serviram de referência como revisão de textos, artigos, livros e todo material pertinente da área médica. Com isso, mostrando também os atributos dos *softwares* utilizados para o alcance dos resultados. Mais adiante, é observado como ocorreu o desenvolvimento do *software*, destacando as suas características e particularidades e assim, expondo

o funcionamento geral de forma ilustrativa das duas versões do *software*. Nos resultados são apresentados como é feito a utilização do *software*, mostrando ao usuário o passo a passo de usabilidade do controle, funcionalidades e exibição de cenas de forma intuitiva. Por fim, são apresentados os resultados experimentais obtidos através das duas versões do *software* de simulação para treinamento de procedimento médico, destacando especificamente o método utilizado para o desenvolvimento da versão do *software* com uso de TC.

No método para o desenvolvimento do simulador com uso de TC, o modelo anatômico 3D é filtrado e renderizado com dados de imagens de tomografia específicos de paciente. As estruturas de tecidos moles são exibidos usando técnicas específicas de filtragem de superfície e remodelagem de faces e vértices de menor relevância. Para isso, a técnica segmentação de Watershed, é utilizada com eficiência na plataforma InVesalius. Em comparação com trabalhos citados na Tabela 2, essa aplicação preserva os aspectos de materiais de tecido, textura, malha, iluminação, reflexo, brilho e interação de deformação de tecido devido a economia de dados utilizados. Tudo para manter a imersão, realismo e controle de processamento preservando detalhes relevantes. A reação de contato que resulta na deformação da malha é renderizada e exibida em tempo real, assim também como a sua reconstrução. As patologias sempre são alocadas de forma aleatória, dessa forma possibilitando um grande número de resultados possíveis. O *feedback* do resultado da avaliação é plotado na parte esquerda da janela, expondo as patologias presentes no exame. Todo esse conjunto, compõe as premissas de interação desejáveis em softwares com essa temática. O que consequentemente proporciona uma boa interação do usuário com o simulador.

A abordagem proposta permite que os desenvolvedores de novos conjuntos de treinamento otimizem suas aplicações. Transformando o modelo 3D utilizado em um arquivo mais leve e compacto, mantendo a qualidade gráfica, realismo e processamento desejado nesse tipo de aplicação. Com isso, possibilitando que preparem testes eficazes e melhorem a eficiência do treinamento. O desafio básico desta pesquisa é propor interação realista usando modelagem e simulação 3D para educação assistida por computador. Como resultado, este trabalho visa permitir ao usuário obter as habilidades práticas necessárias, sem risco para pacientes reais em condições que se assemelham à sala de operações da vida real. Assim, reduzindo significativamente o número de erros cirúrgicos, melhorando a percepção de identificação de diferentes de patologias. Além disso, servindo como uma ferramenta que possibilita avaliar o conhecimento e habilidades desenvolvidas dos profissionais. Dessa forma, mostrando funcionamento do conceito de *gamificação* na prática e comprovando a utilização de seus princípios no sistema simulador, bem como a sua importância na aplicação. O que permitiu mostrar a sua avaliação e assim expor os resultados obtidos.

Todo o procedimentos simulado neste exame de endoscopia são verificados e comparados com o procedimento padrão no real. Quando comparados com simuladores baseados em renderização de manipulação de malha em tempo real, é notado que o presente trabalho simula com precisão adequada para endoscopia virtual. Assim também como o realismo transmitido pela qualidade gráfica. Dessa forma, sendo qualificado e considerados precisos por sua aderência às práticas médicas padrão. A qualidade gráfica, a acessibilidade e o método proposto no desenvolvimento, tornam este trabalho um diferencial na aplicação. O método de otimização de arquivo utilizado neste trabalho, viabiliza não só esta aplicação, mas também serve de base para quem utiliza desses meios de desenvolvimento de pesquisa. Dessa forma, tornando ágil o desenvolvimento e o seu processamento.

Como trabalhos futuros, é possível ainda realizar algumas melhorias que permitirão proporcionar ainda mais realismo a simulação. Entre essas melhorias é possível citar a alteração da posição do modelo atlas para a posição sentada, na qual o paciente fica no leito com as mãos repousando sobre as coxas. No caso, essa é a posição real de realização do exame endoscopia nasal. Além disso, é possível ainda a aplicação de mais detalhes como a interação com vasos sanguíneos e o desenvolvimento da função cirurgia, permitindo ao usuário a realizar biópsia interativamente enquanto recebe *feedback* háptico preciso. Com isso, outras etiologias mais complexas podem ser aplicadas ao simulador. Assim, expandindo para outras regiões do atlas e até mesmo da TC.

Referências Bibliográficas

- ABREU, Rubens Rafael; ROCHA, Regina Lunardi; LAMOUNIER, Joel Alves; GUERRA, AFM. Etiologia, manifestações clínicas e alterações presentes nas crianças respiradoras orais. **J Pediatr**, Free Software Foundation, v. 84, n. 6, p. 529–535, Setembro 2008.
- ALBINO, João Pedro; GRASSI, Nicholas Bruggner; BITTENCOURT, Priscilla Aparecida Santana; VALENTE, Vânia Cristina Pires Nogueira. Gamification em ambientes virtuais de aprendizagem no ensino superior presencial. **CIET: EnPED**, 2018.
- AMORIM, PHJ; MORAES, TF; AZEVEDO, FS; SILVA, JVL. Software invesalius-guia do usuário. **CTI (Centro de Tecnologia da Informacao Renato Archer), unidade do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT)**, 2013.
- AMORIM, Paulo; MORAES, Thiago; SILVA, Jorge; PEDRINI, Helio. Invesalius: an interactive rendering framework for health care support. In: SPRINGER. **International Symposium on Visual Computing**. [S.l.], 2015. p. 45–54.
- ARAUJO, Alex Fernando de. Método para extração e caracterização de lesões de pele usando difusão anisotrópica, crescimento de regiões, watersheds e contornos ativos. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2010.
- BAGARIA, Vaibhav; CHAUDHARY, Kshitij. A paradigm shift in surgical planning and simulation using 3dgraphy: Experience of first 50 surgeries done using 3d-printed biomodels. **Injury**, Elsevier Ltd, v. 48, p. 2501–2508, 2017.
- BALREIRA, Dennis Giovani. **Sistema de Visualização do Interior de Objetos com Estruturas Internas para Simulação de Cirurgias**. Rio Grande do Sul: [s.n.], 2015.
- BARBER, Samuel R; JAIN, Saurabh; SON, Young-Jun; CHANG, Eugene H. Virtual functional endoscopic sinus surgery simulation with 3d-printed models for mixed-reality nasal endoscopy. **Otolaryngology–Head and Neck Surgery**, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 159, n. 5, p. 933–937, 2018.
- BILJECKI, Filip; OHORI, Ken Arroyo. Automatic semantic-preserving conversion between obj and citygml. In: EUROGRAPHICS. **UDMV15: Eurographics Workshop on Urban Data Modelling and Visualisation, Delft, The Netherlands, 23 November 2015; Authors version**. [S.l.], 2015.
- BLENDER FOUNDATION. **Blender**. 2019. Disponível em: <<https://www.blender.org/>>. Acesso em: 01/06/2019.
- BOROX, Tamara; LEITE, Ana Paula Dassie; BAGAROLLO, Maria Fernanda; ALENCAR, Bruno Leonardo Freire de; CZLUSNIAK, Gilsane Raquel. Avaliação da produção dos sons da fala de crianças respiradoras orais com hipertrofia de tonsilas palatinas e/ou faríngeas. **Revista CEFAC**, SciELO Brasil, v. 20, n. 4, p. 468–477, 2018.
- BOSSAK, Maciej A. Simulation based design. **Journal of Materials Processing Technology**, Elsevier, v. 76, n. 1-3, p. 8–11, 1998.
- BUNZEN, Débora Lopes; CAMPOS, Alexandre; LEÃO, Fernando Souza; MORAIS, Alberto; SPERANDIO, Fabiana; NETO, Silvio Caldas. Eficácia da cirurgia endoscópica nasal nos sintomas da rinossinusite crônica associada ou não à polipose. **Brazilian Journal of Otorhinolaryngology**, v. 72, n. 2, 2006.
- CAVALCANTE, TARIQUE DA SILVEIRA. **MÉTODO DE SUPERFÍCIES ATIVAS USANDO LOCAL BINARY PATTERNS (LBP) APLICADO NA SEGMENTAÇÃO DE LOBOS PULMONARES EM IMAGENS DE TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA DO TÓRAX**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Ceará, 2016.

CENTRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO RENATO ARCHER. In **Vesalius**. 2019. Disponível em: <<https://www.cti.gov.br/pt-br/invesalius>>. Acesso em: 01/06/2019.

CHOE, Ju-Song; CHOE, Kwang-Ho; JI, Nam-Il. Functional endoscopic sinus surgery with microdebrider for chronic rhinosinusitis with nasal polyps. **Muller Journal of Medical Sciences and Research**, Medknow Publications and Media Pvt. Ltd., v. 10, n. 1, p. 17–17, 2019.

CHOWRIAPPA, Ashirwad; RAZA, Syed Johar; FAZILI, Anees; FIELD, Erinn; MALITO, Chelsea; SAMARASEKERA, Dinesh; SHI, Yi; AHMED, Kamran; WILDING, Gregory; KAOUK, Jihad; EUN, Daniel D.; GHAZI, Ahmed; PEABODY, James O.; KESAVADAS, Thenkurussi; MOHLER, James L.; GURU, Khurshid A. Augmented-reality-based skills training for robot-assisted urethrovesical anastomosis: A multi-institutional randomised controlled trial. **BJU International**, Wiley Online Library, v. 115, n. 2, p. 336–345, 2015.

COELHO, Giselle; ZYMBERG, Samuel; LYRA, Marcos; ZANON, Nelci; WARF, Benjamin. New anatomical simulator for pediatric neuroendoscopic practice. **Child's Nervous System**, Springer, v. 31, n. 2, p. 213–219, 2015.

COSTA, Grijalva Ferreira da; ROCHA, Hermano Alexandre Lima; JUNIOR, Luiz Gonzaga de Moura; MEDEIROS, Francisco das Chagas. Avaliação de progressão da competência de estudantes de medicina na realização de pontos cirúrgicos em simulador de laparoscopia. **Journal of Health & Biological Sciences**, v. 7, n. 4 (Out-Dez), p. 351–358, 2019.

DARGAR, Saurabh; SANKARANARAYANAN, Ganesh; DE, Suvranu. **36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society**, IEEE, p. 375–379, Novembro 2014.

DHAGE, Padmakant; PHEGADE, MR; SHAH, SK. Watershed segmentation brain tumor detection. In: **IEEE. 2015 International Conference on Pervasive Computing (ICPC)**. [S.l.], 2015. p. 1–5.

DIAS NETO, José Anastacio. **Influência da experiência prévia em robótica e cirurgia minimamente invasiva na curva inicial da prostatectomia radical laparoscópica**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2017.

DIFRANCESCO, Renata C; BREGOLA, Eugênia Georgeous Papanikoulau; PEREIRA, Laura S; LIMA, Rubens Simões de. Nasal obstruction and orthodontic diagnosis. **Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial**, SciELO Brasil, v. 11, n. 1, p. 107–113, 2006.

DOURADO, Alessandra Sá Simões; GIANNELLA, Tais Rabetti. Ensino baseado em simulação na formação continuada de médicos: análise das percepções de alunos e professores de um hospital do rio de janeiro. **Revista Brasileira de Educação Médica**, SciELO Brasil, v. 38, n. 4, p. 460–469, 2014.

DUARTE, Aracely Fernandes; SOLER, Rita de Cássia; ZAVAREZZI, Francis. Endoscopia nasossinusal associada à tomografia computadorizada dos seios paranasais no diagnóstico de obstrução nasal crônica. **Brazilian Journal of Otorhinolaryngology**, SciELO Brasil, v. 71, n. 3, p. 361–363, 2005.

DUBIN, Marika R; PLETCHER, Steven D. Postoperative packing after septoplasty: is it necessary? **Otolaryngologic Clinics of North America**, Elsevier, v. 42, n. 2, p. 279–285, 2009.

FEINS, Richard H.; BURKHART, Harold M.; CONTE, John V.; COORE, Daniel N.; FANN, James I.; HICKS, George L.; NESBITT, Jonathan C.; RAMPHAL, Paul S.; SCHIRO, Sharon E.; SHEN, K. Robert; SRIDHAR, Amaanti; STEWART, Paul W.; WALKER, Jennifer D.; MOKADAM, Nahush A. Simulation-based training in cardiac surgery. **Annals of Thoracic Surgery**, The Society of Thoracic Surgeons, v. 103, p. 312–321, Junho 2017.

FIRMINO FILHO, José Macêdo. Lcd-openpacs: Sistema integrado de telerradiologia com auxílio ao diagnóstico de nódulos pulmonares em exames de tomografia computadorizada. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2015.

FLETCHER, Brian; REE, Jaime De La; DROUGAS, James. Development of a pulsatile, tissue-based, versatile vascular surgery simulation laboratory for resident training. **Journal of Vascular Surgery Cases and Innovative Techniques**, Elsevier, v. 3, n. 4, p. 209–213, Janeiro 2015.

FORTES, Bibiana; BALSALOBRE, Leonardo; WEBER, Raimar; STAMM, Raquel; STAMM, Aldo; OTO, Fernando; CORONEL, Nathália. Cursos de dissecação de cirurgia endoscópica nasossinusal em simulador real—os benefícios deste treinamento. **Brazilian Journal of Otorhinolaryngology**, Elsevier, v. 82, n. 1, p. 26–32, 2016.

- GAVAZZI, Andrea; BAHOUN, Ali N; HAUTE, Wim Van; AHMED, Kamran; ELHAGE, Oussama; JAYE, Peter; KHAN, M Shamim; DASGUPTA, Prokar. Face, content and construct validity of a virtual reality simulator for robotic surgery (sep robot). **The Annals of The Royal College of Surgeons of England**, The Royal College of Surgeons of England, v. 93, n. 2, p. 152–156, 2011.
- HAMERSCHMIDT, Rodrigo; TEREZA, Ana; MOREIRA, Ramos; RUFNO, Jorge; TIMI, Ribas. Comparison of turbinoplasty surgery efficacy in patients with and without allergic rhinitis. **Brazilian Journal of Otorhinolaryngology**, v. 82, n. 2, p. 131–139, 2016.
- HAO, Jianlong; XIE, Xiaoliang; BIAN, Gui-Bin; HOU, Zeng-Guang; ZHOU, Xiao-Hu. Development of a multi-modal interactive system for endoscopic endonasal approach surgery simulation. In: IEEE. **2016 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)**. [S.l.], 2016. p. 143–148.
- HELMREICH, Robert L. Managing human error in aviation. **Scientific American**, JSTOR, v. 276, n. 5, p. 62–67, 1997.
- HOL, M. K.S.; HUIZING, E. H. Treatment of inferior turbinate pathology: A review and critical evaluation of the different techniques. **Rhinology**, v. 38, n. 4, p. 157–166, 2000.
- HWANG, Gwo-Jen; YANG, Tzu-Chi; TSAI, Chin-Chung; YANG, Stephen JH. A context-aware ubiquitous learning environment for conducting complex science experiments. **Computers & Education**, Elsevier, v. 53, n. 2, p. 402–413, 2009.
- IANNI FILHO, Daniel; BERTOLINI, Milene Maria; LOPES, Mônica Lanzellotti. Contribuição multidisciplinar no diagnóstico e no tratamento das obstruções da nasofaringe e da respiração bucal. **Rev Clin Orton Dental Press**, v. 4, n. 6, p. 90–102, 2006.
- IBÁÑEZ, María-Blanca; DELGADO-KLOOS, Carlos. Augmented reality for stem learning: A systematic review. **Computers & Education**, Elsevier, v. 123, p. 109–123, 2018.
- JASTIFER, James R.; GUSTAFSON, Peter A. Three-dimensional printing and surgical simulation for preoperative planning of deformity correction in foot and ankle surgery. **Journal of Foot and Ankle Surgery**, Elsevier Ltd, v. 56, p. 191–195, 2017.
- JAYAKUMAR, Akshay; MATHEW, Beenamol; UMA, N; NEDUNGADI, Prema. Interactive gesture based cataract surgery simulation. **2015 Fifth International Conference on Advances in Computing and Communications (ICACC)**, IEEE, p. 350–353, 2015.
- JO, Sunghun; JEONG, Yuna; LEE, Sungkil. Gpu-driven scalable parser for obj models. **Journal of Computer Science and Technology**, Springer, v. 33, n. 2, p. 417–428, 2018.
- JOYCE, David L.; DHILLON, Tanvir S.; CAFFARELLI, Anthony D.; JOYCE, Daniel D.; TSIRIGOTIS, Dimitrios N.; BURDON, Thomas A.; FANN, James I. Simulation and skills training in mitral valve surgery. **Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery**, Elsevier Inc., v. 141, p. 107–112, Novembro 2010.
- JUDKINS, Timothy N; OLEYNIKOV, Dmitry; STERGIOU, Nick. Objective evaluation of expert and novice performance during robotic surgical training tasks. **Surgical endoscopy**, Springer, v. 23, n. 3, p. 590, 2009.
- KENNEDY, David W. Functional endoscopic sinus surgery: technique. **Archives of otolaryngology**, American Medical Association, v. 111, n. 10, p. 643–649, 1985.
- KENNEY, Patrick A; WSZOLEK, Matthew F; GOULD, Justin J; LIBERTINO, John A; MOINZADEH, Alireza. Face, content, and construct validity of dv-trainer, a novel virtual reality simulator for robotic surgery. **Urology**, Elsevier, v. 73, n. 6, p. 1288–1292, 2009.
- KESAVADAS, Thenkurussi; STEGEMANN, Andrew; SATHYASEELAN, Gughan; CHOWRIAPPA, Ashirwad Joseph; SRIMATHVEERAVALLI, Govindarajan; SEIXAS-MIKELUS, Stéfanie; CHANDRASEKHAR, Rameella; WILDING, Gregory; GURU, Khurshid A. Validation of robotic surgery simulator (ross). In: **MMVR**. [S.l.: s.n.], 2011. p. 274–276.
- KOLSANOV, Alexandr; NAZARYAN, Aikush; IVASCHENKO, Anton; KUZMIN, Andrey. Intelligent sdk for 3d surgery simulation. In: IEEE. **2016 6th International Conference-Cloud System and Big Data Engineering (Confluence)**. [S.l.], 2016. p. 384–387.

- KREITLER, M; HEIM, J; SMITH, R. Virtual environments for design and analysis of production facilities. In: **IFIP WG 5.7 Working Conference on Managing Concurrency Manufacturing to Improve Industrial Performance, Washington-USA**. [S.l.: s.n.], 1995.
- KUMAR, Rajeev; VERMA, Hitesh. Malignant tumors of nose and paranasal sinuses: Surgical perspective. **Clinico Radiological Series: Sinonasal Imaging**, Jaypee Brothers, Medical Publishers Pvt. Limited, p. 201, 2018.
- KURONEN-STEWART, Cameron; AHMED, Kamran; AYDIN, Abdullatif; CYNK, Mark; MILLER, Paul; CHALLACOMBE, Ben; KHAN, Muhammad Shamim; DASGUPTA, Prokar; AHO, Tevita F.; POPERT, Rick. Holmium laser enucleation of the prostate: Simulation-based training curriculum and validation. **Urology**, Elsevier Inc, v. 86, p. 639–646, Setembro 2015.
- LABSCHÜTZ, Matthias; KRÖSL, Katharina; AQUINO, Mariebeth; GRASHÄFTL, Florian; KOHL, Stephanie. Content creation for a 3d game with maya and unity 3d. **Institute of Computer Graphics and Algorithms, Vienna University of Technology**, v. 6, p. 124, 2011.
- LAHANAS, Vasileios; LOUKAS, Constantinos; GEORGIOU, Konstantinos; LABABIDI, Hani; AL-JAROUDI, Dania. Virtual reality-based assessment of basic laparoscopic skills using the leap motion controller. **Surgical endoscopy**, Springer, v. 31, n. 12, p. 5012–5023, 2017.
- LAVRIV, Volodymyr Sergiyovych. **Anatomia e fisiologia da válvula nasal: artigo de revisão**. Tese (Doutorado), 2016.
- LEE, Saangyoung E; GELPI, Mark W; BROWN, William C; ZANATION, Adam M; SENIOR, Brent A; EBERT, Charles S; KIMPLE, Adam J; THORP, Brian D. Outcomes of early functional endoscopic sinus surgery for orbital complications of acute rhinosinusitis. **Journal of Neurological Surgery Part B: Skull Base**, Georg Thieme Verlag KG, v. 81, n. S 01, p. P110, 2020.
- LI, J; LIAO, S; LU, R; TENG, J; LUO, X; ZOU, B. Realistic cosmetic plastic surgery simulation based on the golden ratio. **Chinese Journal of Electronics**, IET, v. 25, n. 5, p. 886–891, 2016.
- LI, Qian; PAN, Hongguang; LI, Lan; CAO, Juan. Malignant peripheral nerve sheath tumor of the nasal cavity and nasopharynx in a child: A case report. **Medicine**, Wolters Kluwer Health, v. 98, n. 4, 2019.
- LUCAS, Carlo Foletto. Técnicas de segmentação e classificação de imagens em exames de ressonância magnética nuclear. **Revista da Graduação**, v. 7, n. 2, 2014.
- LUCAS, Larissa. Uso de simulador no ensino da cirurgia de catarata por facoemulsificação. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2018.
- LUND, Valerie; HOWARD, David J; WEI, William I. Endoscopic resection of malignant tumors of the nose and sinuses. **American journal of rhinology**, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 21, n. 1, p. 89–94, 2007.
- MARIANI, AW; PÊGO-FERNANDES, PM. Ensino médico: simulação e realidade virtual. **Diagn Tratamento**, v. 17, n. 2, p. 47–8, 2012.
- MARMITT, Nara Rejane Feliz; SOUZA, José Eduardo Prado de; JÚNIOR, Pedro Andrade; ANGELETTI, Pierangelo; SILVA, Paulo Renato Dias da. A influência das tonsilas faríngea e palatinas no desenvolvimento craniofacial. **Ortodontia**, v. 42, n. 1, p. 60–66, 2009.
- MARTELLI, Nicolas; SERRANO, Carole; BRINK, Hélène van den; PINEAU, Judith; PROGNON, Patrice; BORGET, Isabelle; BATTI, Salma El. Advantages and disadvantages of 3-dimensional printing in surgery: a systematic review. **Surgery**, Elsevier, v. 159, n. 6, p. 1485–1500, 2016.
- MATOZINHOS, Isabela Penido; MADUREIRA, Angélica Aparecida Coelho; SILVA, Gabriel Felipe; MADEIRA, Glícia Cristina Castro; OLIVEIRA, Isabel Fusaro Aguiar; CORRÊA, Cristiane Rodrigues. Impressão 3d: Inovações no campo da medicina. **Revista Interdisciplinar Ciências Médicas – MG**, Elsevier Inc, v. 55, n. 1, p. 143–162, 2017.
- MEENAKSHI, Pareek C.K; JHA, Saurabh; MUKHERJEE, Chandani Joshi. Brain tumor detection using watershed segmentation techniques and area calculation. **International Journal of Informatics and Communication Technology**, IJ-ICT, v. 7, n. 2, p. 71–76, Agosto 2018.

- MEIRELLES, Roberto. Exame da cavidade nasal e tratamento cirúrgico da obstrução nasal. **Revista Hospital Universitário Pedro Ernesto**, v. 7, n. 2, 2008.
- MIZOI, Cristina Satoko. Curva de aprendizado e treinamento em procedimentos videolaparoscópicos. v. 9, n. 5, p. 167–168, 2011.
- MOTTA, Eduardo Vieira da; BARACAT, Edmund Chada. Treinamento de habilidades cirúrgicas para estudantes de medicina–papel da simulação. **Revista de Medicina**, v. 97, n. 1, p. 18–23, 2018.
- MUSTAQEEM, Anam; JAVED, Ali; FATIMA, Tehseen. An efficient brain tumor detection algorithm using watershed & thresholding based segmentation. **International Journal of Image, Graphics and Signal Processing**, Modern Education and Computer Science Press, v. 4, n. 10, p. 34, 2012.
- NACUL, Miguel Prestes; CAVAZZOLA, Leandro Totti; MELO, Marco Antonio Cezario de. Situação atual do treinamento de médicos residentes em videocirurgia no brasil: uma análise crítica. **ABCD: Arquivos Brasileiros de Cirurgia Digestiva. São Paulo.**, v. 28, n. 1, p. 81–85, 2015.
- NEMA, ACR *et al.* Digital imaging and communications in medicine (dicom). **National Electrical Manufacturers Association**, 1998.
- NIKOLIC, Dalibor; MATOVIC, Milovan; JEREMIC, Marija; CVETKOVIC, Aleksandar; NINKOVIC, Srdjan; KOJIC, Milos; FILIPOVIC, Nenad. Hybrid spect/msct 3d computational preoperative simulation in breast cancer surgery. In: IEEE. **2015 IEEE 15th International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE)**. [S.l.], 2015. p. 1–5.
- NOVELLI, Giorgio; TONELLINI, Gabriele; MAZZOLENI, Fabio; BOZZETTI, Alberto; SOZZI, Davide. Virtual surgery simulation in orbital wall reconstruction: Integration of surgical navigation and stereolithographic models. **Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery**, Elsevier Ltd, v. 42, n. 8, p. 2025–2034, 2014.
- NUNES, Augusto Luengo Pereira; MACIEL, Anderson; WALTER, Marcelo. Representação gráfica de tecidos orgânicos humanos vivos. **Journal on Advances in Theoretical and Applied Informatics**, v. 2, n. 1, p. 28–33, 2016.
- OLIVEIRA, Adriana Kosma Pires de; JÚNIOR, Erivaldo Elias; SANTOS, Luciana Vieira dos; BETTEGA, Silvio Gomes; MOCELLIN, Marcos. Prevalence of deviated nasal septum in curitiba, brazil prevalência do desvio de septo nasal em curitiba, brasil. **International Archives of Otorhinolaryngology**, v. 9, n. 4, 2005.
- OLIVEIRA, Henrique Fernandes de. Modelo de treinamento e aquisição de habilidades em cirurgias endoscópicas nasais em cabeça de cordeiro. 2018.
- OTORRINOLARINGOLOGIA, Tratado de. Tratado de otorrinolaringologia. **Sociedade Brasileira de Otorrinolaringologia**, ROCA, São Paulo, v. 3, 2011.
- OYAMA, Kenichi; FILHO, Leo; MUTO, Jun; SOUZA, Daniel; GUN, Ramazan; OTTO, Bradley; CARRAU, Ricardo; PREVEDELLO, Daniel. Endoscopic endonasal cranial base surgery simulation using an artificial cranial base model created by selective laser sintering. **Neurosurgical Review**, Springer Medizin, v. 38, p. 171–178, Janeiro 2015.
- PEREIRA, Stéphanie Villa-Nova *et al.* Associação da gravidade clínica da fibrose cística com variantes na família de genes slc (slc26a9, slc9a3, slc6a14 e slc11a1). [sn], 2017.
- PÉREZ, Montserrat Diéguez; MONTANET, Gleyvis Coro; SÁNCHEZ, Margarita Gómez. Implantación y evaluación del uso de escenarios clínicos como herramienta de aprendizaje en el grado de odontopediatría. **REDU. Revista de Docencia Universitaria**, v. 15, n. 2, p. 113–124, 2017.
- POSSEMIERS, Aidan L; LEE, Ickjai. Fast obj file importing and parsing in cuda. **Computational Visual Media**, Springer, v. 1, n. 3, p. 229–238, 2015.
- RAMIREZ, Adriana G.; NURADIN, Nebil; BYIRINGIRO, Fidele; SSEBUUFU, Robinson; STUKENBORG, George J.; NTAKIYIRUTA, Georges; DANIEL, Thomas M. Creation, implementation, and assessment of a general thoracic surgery simulation course in rwanda. **Annals of Thoracic Surgery**, The Society of Thoracic Surgeons, v. 105, p. 1842–1849, Janeiro 2018.

- RAMÍREZ, CRISTINA ESTEFANIA. **Cálculo da dose absorvida nos pulmões durante uma tomografia helicoidal com a tomografia “Brilliance Big Bore”, usando simulações de Monte Carlo**. Dissertação (BSc) — Quito., 2019.
- RECKER, Chelsey; III, Grant S Hamilton. Evaluation of the patient with nasal obstruction. **Facial Plastic Surgery**, Thieme Medical Publishers, v. 32, n. 01, p. 003–008, 2016.
- RITZEL, Rodrigo Agne *et al.* Correlação entre a nasofibrofaringscopia e a cefalometria no diagnóstico de hiperplasia de tonsilas faríngeas. **International Archives of Otorhinolaryngology**, Universidade Federal de Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 209–216, 2011.
- RODRIGUES, Marcos Marques; DIBBERN, Ralph Silveira; OLIVEIRA, Luis Francisco De; MARQUES, Melania Dirce Oliveira; BELLA, Marcelo Fernando; PAULA, Fausto Antonio De; ARAÚJO, Fernando Cesar França. Comparação entre turbinoplastia e turbinectomia endoscópicas: Eficácia e parâmetros clínicos. **International Archives of Otorhinolaryngology**, v. 15, n. 4, p. 426–430, 2011.
- ROITHMANN, Renato; CURY, Alexandre de Souza; DEMENEGHI, Pedro; BUSIN, Taís Stedile; ATHAYDE, Renata. Obstrução nasal unilateral: relato de caso e revisão da literatura. **Rev. AMRIGS**, v. 49, n. 1, p. 37–40, 2005.
- RUTHENBECK, Greg S; HOBSON, Jonathan; CARNEY, A Simon; SLOAN, Steve; SACKS, Raymond; REYNOLDS, Karen J. Toward photorealism in endoscopic sinus surgery simulation. **American journal of rhinology & allergy**, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 27, n. 2, p. 138–143, 2013.
- RYAN, Justin R.; ALMEFTY, Kaith K.; NAKAJI, Peter; FRANKS, David H. Cerebral aneurysm clipping surgery simulation using patient-specific 3d printing and silicone casting. **World Neurosurgery**, Elsevier Inc, v. 88, p. 175–181, Abril 2016.
- SARTI, A; GORI, R; LAMBERTI, C. A physically based model to simulate maxillo-facial surgery from 3d ct images. **J. Futur. Gener. Comput. Syst.**, Elsevier, v. 15, n. 2, p. 217–221, 1999.
- SHEN, Xiaojun; HAMAM, Abdelwahab; MALRIC, Francois; NOURIAN, Saeid; NAIM, R; GEORGANAS, Nicolas D. Immersive haptic eye tele-surgery training simulation. **2007 3DTV Conference**, IEEE, p. 1–4, 2007.
- SHI, Yifei; LIU, Min; XIONG, Yueshan; CAI, Chenjianong; TAN, Ke; PAN, Xinhua. The simulation of delineation and splitting in virtual liver surgery. In: IEEE. **2015 International Conference on Virtual Reality and Visualization (ICVRV)**. [S.l.], 2015. p. 264–268.
- SINGAL, Ashima; HALVERSON, Amy; ROONEY, Deborah M; DAVIS, Lauren M; KIELB, Stephanie J. A validated low-cost training model for suprapubic catheter insertion. **Urology**, v. 85, p. 23–26, 2015.
- STAMMBERGER, Heinz; POSAWETZ, W. Functional endoscopic sinus surgery. **European archives of oto-rhino-laryngology**, Springer, v. 247, n. 2, p. 63–76, 1990.
- TÁVORA, Carla Gonçalves; GARCIA, Gabriel Lino; RIBEIRO, Carlos Eduardo da Trindade; ALBINO, João Pedro. Estudo sobre a competência da modalidade gamificação em um ambiente virtual de aprendizagem engajadora. **Games e gamificação, pages=30, year=2019**.
- UNITY TECHNOLOGIES. **Unity**. 2019. Disponível em: <<https://unity.com/>>. Acesso em: 01/06/2019.
- VAGHETTI, César Augusto Otero; BOTELHO, Silvia Silva da Costa. Ambientes virtuais de aprendizagem na educação física: uma revisão sobre a utilização de exergames. **Ciências & Cognição**, v. 15, n. 1, p. pp–64, 2010.
- VALENTINE, Rowan; PADHYE, Vikram; WORMALD, Peter John. Simulation training for vascular emergencies in endoscopic sinus and skull base surgery. **Otolaryngologic Clinics of North America**, Elsevier Inc, v. 49, p. 877–887, Junho 2016.
- VALERIO NETTO, A; TAHARA, C; PORTO FILHO, A. Realidade virtual e suas aplicações na área de manufatura, treinamento, simulação e desenvolvimento de produto. **Revista Gestão & Produção**, v. 5, n. 2, p. 104–116, 1998.
- VARSHNEY, Rickul; FRENKIEL, Saul; NGUYEN, Lily HP; YOUNG, Meredith; MAESTRO, Rolando Del; ZEITOUNI, Anthony; SAAD, Elias; FUNNELL, W Robert J; TEWFIK, Marc A. The mcgill simulator for endoscopic sinus surgery (msses): a validation study. **Journal of Otolaryngology-Head & Neck Surgery**, BioMed Central, v. 43, n. 1, p. 40, 2014.

VASCO, Camila Taniguti Cordeiro; MORAIS, Heloisa Carvalho de; AVELINO, Melissa Ameloti Gomes. Revisão sistemática da literatura no tratamento cirúrgico da rinossinusite crônica na infância: Qual a melhor abordagem? **Revista Paulista de Pediatria**, SciELO Brasil, v. 38, 2020.

VENEZIANI, Glauco Rogério. **Medical Applications for 3D Printing: Current and Projected Uses**. Tese (Doutorado) — Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, Abril 2017.

VOLPATO, Neri. **Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D**. [S.l.]: Editora Blucher, 2017.

WANG, Sa; MAO, Zhengli; ZENG, Changhai; GONG, Huili; LI, Shanshan; CHEN, Beibei. A new method of virtual reality based on unity3d. In: IEEE. **2010 18th international conference on Geoinformatics**. [S.l.], 2010. p. 1–5.

WEBER, Silke Anna Thereza; FERRARI, Giesela Fleischer. Incidência e evolução da polipose nasal em crianças e adolescentes com fibrose cística. **Brazilian Journal of Otorhinolaryngology**, Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial, v. 74, n. 1, p. 16–20, 2008.

WHITTAKER, George; AYDIN, Abdullatif; RAISON, Nicholas; KUM, Francesca; CHALLACOMBE, Ben; KHAN, Muhammed Shamim; DASGUPTA, Prokar; AHMED, Kamran. Validation of the robotix mentor robotic surgery simulator. **Journal of endourology**, Mary Ann Liebert, Inc. 140 Huguenot Street, 3rd Floor New Rochelle, NY 10801 USA, v. 30, n. 3, p. 338–346, 2016.

WOLFORD, Larry M. Computer-assisted surgical simulation for concomitant temporomandibular joint custom-fitted total joint reconstruction and orthognathic surgery. **Atlas of the Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America**, Elsevier Inc, v. 24, n. 1, p. 55–66, 2016.

YADA, Keigo; MORI, Hiroki; ISHIBASHI, Hiroki. The usefulness of 3d-ct simulation and intraoperative navigation in pediatric minimally invasive surgery. **Journal of Pediatric Surgery Case Reports**, Elsevier, v. 37, n. 6, p. 1–5, 2018.

YOSHIDA, Ricardo de Alvarenga; YOSHIDA, Winston Bonetti; ROLLO, Hamilton Almeida; KOLVENBACH, Ralf; LORENA, Sílvia Elaine Rodolfo de Sá. Curva de aprendizado em cirurgia aórtica videolaparoscópica: estudo experimental em porcos. **Jornal Vascular Brasileiro**, SciELO Brasil, p. 231–238, 2008.

ZIELAK, João César; DELIBERADOR, Tatiana Miranda. Uso de cadáveres humanos como ferramenta de ensino-aprendizagem: passado ou futuro? **RSBO Revista Sul-Brasileira de Odontologia**, Universidade da Região de Joinville, v. 8, n. 2, 2011.