

BRUNO TAKASHI NAKAGAWA
RAFAEL VOLKART SALLES PENTEADO

**Project Lambda: sistema de simulação 3D do pulmão e de suas
estruturas internas por realidade virtual**

São Paulo
2015

BRUNO TAKASHI NAKAGAWA
RAFAEL VOLKART SALLES PENTEADO

**Project Lambda: sistema de simulação 3D do pulmão e de suas
estruturas internas por realidade virtual**

Monografia apresentada no
Departamento de Engenharia
Mecatrônica e Sistemas Mecânicos da
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do título de
Engenheiro.

Área de Concentração:
Engenharia Mecatrônica
Engenharia de Computação

Orientadores:
Prof. Dr. Marcos Tsuzuki
Prof. Dr. Romero Tori

São Paulo
2015

Este relatório é apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de engenheiro mecatrônico na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. É o produto do meu próprio trabalho, exceto onde indicado no texto. O relatório pode ser livremente copiado e distribuído desde que a fonte seja citada.

Bruno Takashi Nakagawa

Rafael Volkart Salles Penteado

AGRADECIMENTOS

Aos orientadores, Professores Marcos Tsuzuki e Romero Tori, pela orientação e pelo suporte durante o período de desenvolvimento do projeto.

À Escola Politécnica, em especial ao Laboratório de Geometria Computacional, que forneceu estrutura para que o projeto se realizasse.

Aos professores e pesquisadores da Yokohama National University, grupo parceiro de pesquisas sobre o movimento pulmonar.

Ao Kanagawa Cardiovascular Respiratory Center, no Japão, que forneceu equipamentos e capturou as imagens do pulmão utilizadas neste projeto.

Ao Dr. Yuma Iwao, que desenvolveu o software Lung Classifier, e ao Dr. André Sato, que desenvolveu o software OBCM. Ambos se mostraram bastante solícitos para responder às questões sobre a utilização dos respectivos softwares e para realizar melhorias em seus programas, visando atender às necessidades do projeto.

Ao mestre Leonardo Ishida, que ajudou no desenvolvimento do projeto.

RESUMO

O projeto consiste na criação de um sistema imerso em realidade virtual que permitirá ao usuário visualizar o movimento do pulmão e de suas estruturas internas, como as vias aéreas e a divisão em lobos pulmonares, em três dimensões e ainda realizar a broncoscopia virtual. O sistema proposto tem aplicações acadêmicas, em pesquisa e em treinamento de profissionais. Para isso são utilizadas imagens médicas obtidas via TC para extrair e segmentar o pulmão e, assim, criar modelos 3D representados pelo contorno. A aquisição das imagens ao longo do tempo permite obter informações sobre o movimento real do pulmão durante um ciclo respiratório completo: inspirando e expirando. Para o modo da broncoscopia virtual o usuário pode navegar livremente por dentro das vias aéreas, e assim, observar internamente o seu movimento. Para a simulação em realidade virtual é utilizado o Oculus Rift integrado à plataforma de criação de jogos Unity 3D. Para o controle dos movimentos do usuário durante a simulação é utilizado o equipamento Leap Motion, que detecta gestos das mãos e dos dedos.

Palavras-chave – Pulmão. Respiração. Tomografia Computacional. Movimento. Broncoscopia. Simulação 3D. Realidade Virtual. Oculus Rift. Unity 3D. Leap Motion.

ABSTRACT

The project consists in creating a system immersed in virtual reality that allows the user to view the movement of the lung and its internal structures, such as the airways and the lobes division, in three dimensions, and also to conduct the virtual bronchoscopy. The proposed system has applications in research, studies and professional training. The medical images obtained through computer tomography were used to extract and segment the lung and its internal structures and thereby to create three-dimensional B-Rep models. The acquisition of temporal images provides information on the real motion of the lungs during a complete respiratory cycle: inspiration and expiration. For the virtual bronchoscopy mode, the user can navigate freely inside the airways. For simulating in virtual reality it is used the Oculus Rift integrated to the Unity 3D game creation platform. For the controller of the user's movements during the simulation it is used the Leap Motion equipment, which detects gestures of the hands and fingers.

Keywords – Lung. Movement. Breathing. Computed Tomography. Bronchoscopy. 3D Simulation. Virtual Reality. Oculus Rift. Unity 3D. Leap Motion.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Logo do projeto.	17
Figura 2 - Fluxograma do projeto.	18
Figura 3 - Oculus Rift DK2 (Hutchinson, 2014).	19
Figura 4 - Exemplos de movimentos detectados pelo Leap Motion (Leap Motion Controller Leap Motion, 2015).	20
Figura 5 - Acessório do Oculus Rift para Leap Motion (Leap Motion & Oculus VR: Frustrations & Future, 2014).	21
Figura 6 - Imagem DICOM.	22
Figura 7 - Nuvem de pontos das vias aéreas. (a) Modelo de baixa resolução. (b) Modelo de alta resolução.	23
Figura 8 - Comparação do modificador de decimação. (a) Modelo original. (b) 50% de faces. (c) 10% de faces. (d) 5% de faces. (e) 1% de faces. (f) 0,5% de faces.	25
Figura 9 – Comparação do modificador smooth (a) Modelo sem smooth. (b) Modelo com smooth.	26
Figura 10 - <i>Armature</i> aplicada à um personagem humanoide (Débutez dans la 3D avec Blender, 2015).	27
Figura 11 - Desenvolvimento do Hovercursor.	29
Figura 12 - Desenvolvimento do Hovercast.	30
Figura 13 - Desenvolvimento da Hoverboard.	30
Figura 14 - Sala de consultório para cena principal.	32
Figura 15 - Visualização no modo de broncoscopia.	33
Figura 16 - Collider das vias aéreas.	34
Figura 17 - Funcionalidade de QuickSwitch (QuickSwitch, 2015).	35
Figura 18 - Movimento do pulmão. (a) Frame 0. (b) Frame 23. (c) Frame 47.	36
Figura 19 - Movimento dos lobos. (a) Frame 0. (b) Frame 23. (c) Frame 47.	36
Figura 20 - Movimento das vias aéreas. (a) Frame 0. (b) Frame 23. (c) Frame 47.	36
Figura 21 - Resultado final do consultório.	37
Figura 22 - Visualização no modo de broncoscopia.	37
Figura 23 – Render Baking. (a) Modelo com número original de faces. (b) Modelo com número reduzido de faces. (c) Comparação de renderização entre os modelos.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Requisitos Funcionais.	14
Tabela 2 - Requisitos não-funcionais.	15

SUMÁRIO

1.	Introdução	9
1.1.	Motivação	10
1.2.	Revisão bibliográfica	10
1.3.	Metodologia.....	12
2.	Desenvolvimento.....	14
2.1.	Requisitos do projeto	14
2.1.1.	Requisitos Funcionais	14
2.1.2.	Requisitos não funcionais	15
2.2.	Considerações profissionais	16
2.3.	Identidade	16
2.4.	Descrição da solução	17
2.4.1.	Captura das imagens	21
2.4.2.	Extração e segmentação do pulmão	22
2.4.3.	Marching cubes	24
2.4.4.	Tratamento dos modelos	24
2.4.4.1.	Decimação	24
2.4.4.2.	Smooth	25
2.4.4.3.	Formato	26
2.4.5.	Animação	26
2.4.6.	Interface	28
2.4.6.1.	Hovercursor	29
2.4.6.2.	Hovercast.....	29
2.4.6.3.	Hoverboard	30
2.4.7.	Navegação	31
2.4.8.	Consultório	31
2.4.9.	Broncoscopia	33
2.4.10.	Quick Switch	35
3.	Resultados	36
4.	Discussão.....	39
5.	Conclusão	41
6.	Referências	42

1. Introdução

O pulmão, ao contrário de outros órgãos, como o coração, não possui músculos próprios (Tsuzuki M. , et al., 2009). Seu movimento depende de variações de pressão causadas por outros órgãos, em especial o diafragma e a musculatura intercostal. Ao remover o pulmão de dentro do corpo humano, ele para de se mover, o que torna impossível visualizar diretamente o seu movimento. Além disso, o movimento dos pulmões não é periódico, variando de acordo com a idade, da intensidade da respiração e da presença de anomalias. Estes fatos tornam a visualização do pulmão em movimento um tópico atual de pesquisa (Tsuzuki M. , et al., 2009).

Desse modo, é necessário utilizar meios indiretos de captura de imagens para observar o movimento pulmonar. Assim, dois métodos são mais utilizados pela ciência e medicina: Tomografia Computadorizada (TC) e Ressonância Magnética (RM). No primeiro caso, da TC, a imagem é obtida pela exposição do corpo a raios X. A incidência dos raios X sobre os diferentes tecidos do corpo humano causa a sua absorção em maior ou menor escala, dependendo da densidade do tecido. Os raios X são capturados e então é analisada a quantidade de radiação absorvida. Essas informações são processadas e transformadas em uma imagem com diferentes tons de cinza, variando conforme a densidade do tecido. Com isso é possível obter imagens de várias seções transversais do corpo e analisar a composição dos tecidos. A desvantagem desse método é a utilização de radiação diretamente sobre o corpo, o que pode causar câncer se feito constantemente ou em dosagens erradas. No segundo caso, da RM, as imagens são geradas a partir de uma espectroscopia realizada ao correlacionar a energia absorvida pelo tecido ao ser submetido a um campo magnético de frequência variada, em geral na faixa de MHz. No entanto, a RM demanda tempos de captura de imagens maiores do que no caso da TC, o que impede de obter imagens instantâneas do pulmão com qualidade, e consequentemente, adquirir imagens do movimento do pulmão tridimensional durante um ciclo respiratório.

Até o momento foram realizadas diversas pesquisas para a reconstituição do pulmão em movimento a partir de diversas sequências de imagens bidimensionais de RM. Recentemente, máquinas de TC de baixa radiação ionizante estão disponíveis, permitindo que sequências de imagens de pequena resolução sejam

capturadas. Apesar da pouca qualidade, é possível segmentar o pulmão, as vias aéreas e os lobos pulmonares a partir das mesmas.

Conforme será detalhado posteriormente, a baixa qualidade não permite uma segmentação consistente para todas as imagens da sequência. Entretanto, a segmentação obtida é suficiente para extrair as informações de movimento (deslocamento e rotação) das vias aéreas. Esses dados são inseridos em um modelo obtido a partir de imagens de alta resolução, replicando o movimento para a segmentação de melhor qualidade. Desta maneira é possível obter uma animação fluida e contínua das vias aéreas e dos lobos pulmonares.

1.1. Motivação

O objetivo deste projeto é a criação de um sistema para a visualização do movimento dos pulmões humanos em três dimensões e para a simulação de procedimentos médicos nas vias aéreas, utilizando-se de realidade virtual. A análise do comportamento das estruturas pulmonares durante a respiração tem aplicações acadêmicas, em pesquisa e no treinamento de profissionais. Dessa forma será desenvolvida uma técnica de captura e reconstituição do movimento real do pulmão humano e de suas estruturas internas a partir de imagens médicas.

O usuário estará imerso em um ambiente virtual e interagirá com ele através de movimentos da cabeça e das mãos, podendo assim visualizar o pulmão e suas estruturas internas de todas as direções, se aproximar ou se afastar dele e também selecionar quais estruturas deseja observar.

1.2. Revisão bibliográfica

Os pulmões são dois órgãos esponjosos do corpo humano, com aproximadamente 25 cm de altura, localizados dentro da caixa torácica, cuja função é realizar a troca de gases entre o ar atmosférico e o sangue. O pulmão direito, ligeiramente mais espesso e largo que o esquerdo, possui três lobos e o pulmão esquerdo possui dois lobos. O ar entra pela traqueia, que se ramifica em dois brônquios (um para cada pulmão), que por sua vez se divide em bronquíolos e alvéolos pulmonares, locais onde ocorrem as trocas gasosas entre o ar e o sangue (Amabis & Martho, 2006).

O ar dos pulmões é constantemente renovado, de modo a garantir suprimento contínuo de gás oxigênio ao sangue, com simultânea eliminação do excesso de gás carbônico. Esse movimento é denominado ventilação pulmonar, que é dividido em inspiração e expiração. A inspiração é a etapa de entrada de ar nos pulmões, que depende da contração da musculatura intercostal, que liga as costelas entre si, e da musculatura do diafragma, que separa a cavidade torácica da cavidade abdominal. A contração dessas musculaturas faz com que o diafragma desça e as costelas subam, aumentando o volume da caixa torácica, forçando a entrada de ar nos pulmões. O posterior relaxamento dessas musculaturas, chamado de expiração, eleva o diafragma e abaixa as costelas, diminuindo o volume da caixa torácica, forçando o ar a sair dos pulmões (Amabis & Martho, 2006). Um adulto normal em repouso respira confortavelmente entre 12 e 18 vezes por minuto (Frequência Respiratória (FR), 2013).

Tsuzuki et al. (2009) criaram um algoritmo baseado em imagens sequenciais não sincronizadas de RM. Em uma primeira etapa, o algoritmo extrai o contorno do pulmão de cada uma das imagens 2D, sagitais e coronais. Em seguida o pulmão 3D é reconstruído a partir do cruzamento entre as várias silhuetas (coronais e sagitais), formando um modelo de fios de arame. Finalmente, um modelo de sólido B-Rep (Boundary Representation, representação pelo contorno) é criado pela costura dos fios de arame. Assim, é possível analisar alguns aspectos do movimento pulmonar, como variação da forma e do volume.

Mori et al. (1996) propuseram um procedimento automatizado para extração das vias aéreas a partir de imagens 3D obtidas via TC. O algoritmo encontra um ponto localizado dentro da traqueia, cujo valor corresponda ao do ar e que esteja cercado por uma região de valores mais altos, correspondentes à parede. A partir desse ponto inicial o sistema utiliza um algoritmo de crescimento por pintura, em que ele irá pintar todos os voxels na vizinhança que tenham valores equivalentes ao do ar, ou seja, abaixo de um certo limiar, que é definido automaticamente. Assim, ao final do processo, tem-se os voxels correspondentes às vias aéreas e pode-se então realizar a simulação virtual da broncoscopia. Mori et al. (2000) propuseram um método automático de marcação dos ramos das vias aéreas, de forma a facilitar a localização do usuário durante a broncoscopia. O método baseia em segmentar as vias aéreas, calcular o seu esqueleto e comparar o resultado com uma base de dados com as relações entre os ramos.

Iwao et al. (2012) propuseram um algoritmo baseado em imagens obtidas via TC para criar um modelo 3D do pulmão, assim como a separação das vias aéreas e sanguíneas, além da subdivisão em lobos pulmonares. O algoritmo parte de um ponto inicial, localizado na traqueia, no caso de vias aéreas, e percorre os planos adjacentes a fim de detectar a continuação das vias aéreas. O algoritmo baseia-se no princípio de falha e recuperação através do critério de dimensão do raio e do volume. Ao encontrar uma bifurcação o algoritmo realiza a busca nos dois ramos, e ao final tem-se uma árvore de ramos das vias aéreas. Utilizando de aspectos anatômicos, considerando que a bifurcação das vias aéreas para os lobos segue um padrão, pode-se classificar cada ramo nos diferentes lobos (dois no pulmão esquerdo e três no direito) e determinar a região ocupada por cada um. A saída desse algoritmo é uma nuvem de pontos classificada. Entretanto, a visualização de nuvens de pontos pode ser difícil, principalmente quando se deseja ampliá-la. Dessa forma foi desenvolvido um algoritmo que reconstrói o pulmão por meio do algoritmo de cubos marchantes com laço de abertura (Tsuzuki et al., 2007). O algoritmo apresenta como resultado um modelo sólido triangulado.

1.3. Metodologia

Este trabalho utilizará imagens sequenciais do pulmão obtidas via TC de baixa radiação e de baixa resolução, que reconstroem um ciclo respiratório com inspiração e expiração. Além disso será utilizado um modelo de imagens do pulmão de alta resolução, sobre o qual será aplicado a animação do movimento, com base nos modelos sequenciais.

As imagens DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) obtidas via TC serão processadas pelo algoritmo proposto por Iwao et al. (2012), a fim de obter imagens 3D segmentadas do pulmão e de suas estruturas internas, em especial das vias aéreas e dos lobos pulmonares. Em seguida, essas imagens serão processadas pelo algoritmo desenvolvido por Tsuzuki et al. (2007) para criar modelos triangulares facetados do pulmão e de suas estruturas internas. Posteriormente esses modelos serão processados a fim de reduzir as imperfeições geradas pelos algoritmos utilizados.

Em seguida, os modelos 3D de baixa resolução obtidos servirão de base para a criação do movimento pulmonar, a ser realizado sobre um modelo do pulmão

em alta resolução. Será proposta uma metodologia que utiliza a evolução da posição e da orientação das ramificações das vias aéreas ao longo do tempo para realizar o movimento do pulmão, das vias aéreas e dos lobos pulmonares.

No modo de broncoscopia o usuário poderá percorrer as vias aéreas em um modo de navegação livre, em que ele poderá analisar os aspectos estruturais e dinâmicos dessas estruturas. A imersão em um ambiente de realidade virtual permitirá observar as vias em todas as direções, como se estivesse realmente dentro do pulmão.

A simulação em realidade virtual será feita através do periférico Oculus Rift, que apresenta também sensores de movimento da cabeça, permitindo o usuário observar toda a cena. Além disso será usado o equipamento Leap Motion, que é capaz de detectar o movimento das mãos do usuário e, assim, determinar os comandos de navegação dentro do ambiente.

2. Desenvolvimento

Nesta seção será descrito o desenvolvimento do projeto. Em um primeiro momento serão apresentados os requisitos de projeto, funcionais e não funcionais. Em seguida será detalhada a solução utilizada, que responde aos requisitos listados.

2.1. Requisitos do projeto

Por se tratar de um sistema de software, é necessário realizar uma análise criteriosa dos requisitos a serem atendidos pelo sistema. As Tabelas 1 e 2 definem os requisitos funcionais e não-funcionais do projeto.

2.1.1. Requisitos Funcionais

Os requisitos funcionais do projeto especificam todas as funcionalidades esperadas pelo sistema, tais como o modo de broncoscopia e a animação de movimento. A Tabela 1 lista todos os requisitos funcionais

Tabela 1 - Requisitos Funcionais.

#	Nome	Descrição	Razão
1	Modo Livre	O sistema deve fornecer um modo de navegação livre pelo ambiente de simulação	Esse modo será o modo inicial no ambiente de simulação, deixando o usuário livre para explorar ou iniciar os outros modos
2	Movimentação do pulmão	O sistema deve fornecer uma opção de controles para a movimentação do pulmão	A visualização do modelo do pulmão em movimento deve ser iniciada pelo usuário, dando maior controle ao mesmo
3	Broncoscopia	O sistema deve fornecer um modo de simulação da broncoscopia	Visualizar e navegar pelas vias aéreas

4	Habilitar / Desabilitar pulmão	O sistema deve ser capaz de habilitar/desabilitar a visualização do pulmão	Permitir ao usuário que selecione o que ele deseja visualizar
5	Habilitar / Desabilitar vias aéreas	O sistema deve ser capaz de habilitar/desabilitar a visualização das vias aéreas	Permitir ao usuário que selecione o que ele deseja visualizar
6	Menu de opções	O sistema deve exibir um menu interativo para selecionar as opções da simulação	Permitir ao usuário que interaja com o sistema e selecione os modos e funções disponíveis
7	Capturar movimento e posição das mãos	O sistema deve capturar o movimento e a posição das mãos do usuário	Permitir ao usuário que interaja com o sistema e selecione os modos e funções disponíveis

2.1.2. Requisitos não funcionais

Os requisitos não-funcionais especificam todas as restrições que o projeto deve atender, tais como imersão e fadiga. A Tabela 2 lista todos os requisitos não funcionais.

Tabela 2 - Requisitos não-funcionais.

#	Nome	Descrição	Razão
1	Intuitividade	O sistema deve ser intuitivo, com uma curva rápida de aprendizado para o seu uso	Facilitar o uso dos equipamentos e a interação do usuário com o sistema, levando menos de 5 minutos para familiaridade
2	Imersão	O sistema deve ser imersivo, dando ao usuário a sensação de presença	Permitir que o usuário tenha a sensação estar presente no ambiente virtual
3	Fadiga	O sistema não deve provocar fadiga/tontura	Permitir o uso prolongado (30 minutos)

4	Eficiência	O sistema deve ser eficiente	Otimizar o processamento e a energia gasta para a utilização do sistema
5	Escalabilidade	O sistema deve ser escalável	Permitir a expansão e a continuidade do projeto no futuro
6	Compatibilidade	O sistema deve ser compatível com equipamentos de realidade virtual	Garantir a total funcionalidade do sistema
7	Licenciamento	O sistema deve utilizar em sua totalidade software de licença livre	Permitir fácil manipulação do projeto, além de oferecer maior suporte comunitário
8	Realidade	O sistema deve simular um ambiente e modelos reais	Aproximar o usuário da realidade e servir como objeto de estudo/treinamento
9	Taxa de frames	O sistema deve rodar a uma taxa aproximadamente constante de frames (24fps)	Permitir maior fluidez nas animações e navegação pelo ambiente

2.2. Considerações profissionais

A utilização das imagens do pulmão que serão utilizadas nesse projeto não necessitam de aprovação prévia. As imagens foram obtidas para uma pesquisa anterior específica sobre o registro de vias aéreas, e agora estão sendo utilizadas nesse projeto. Entretanto, para a pesquisa original foi obtida uma autorização do comitê de ética do *Kanagawa Respiratory and Cardiovascular Center*, no Japão. As imagens foram obtidas de pulmões de um voluntário.

Além disso, todos os softwares e códigos que serão usados para a construção da solução final deverão ter suas licenças de uso respeitadas. Neste caso poderão ser usados códigos abertos ou com licenças que permitem o uso em aplicações acadêmicas, científicas e/ou não-comerciais.

2.3. Identidade

Grandes empresas concentram muito do seu esforço na elaboração da sua própria identidade visual, e também na de seus serviços ou produtos. É evidente a importância de um bom trabalho na definição de nomes, slogans e imagens que

representem de maneira concisa o valor e a proposta desejados, para que seja passada a credibilidade necessária.

O design de logos tem sido proposto como uma forma eficaz de construir credibilidade. Como as pessoas, todas as marcas têm traços de credibilidade únicos, e se torna necessário provocar uma primeira impressão profissional ao apresentar uma nova marca (Lowry, Wilson, & Haig, 2014).

Buscando atender a esses aspectos comerciais e de divulgação foi proposto o codinome *Project Lambda* (vide Figura 1).



Figura 1 - Logo do projeto.

A parte inicial do nome enfatiza o caráter experimental e o escopo acadêmico do sistema, enquanto que o aspecto visual da letra grega lambda remete às vias aéreas. Seguindo as tendências modernas de design, o logo, mostrado na Figura 1, foi desenhado com uma aparência simples, tons neutros e poucos traços.

2.4. Descrição da solução

A Figura 2 mostra o fluxograma geral do projeto. A sua parte superior ilustra o processo de criação do movimento respiratório, enquanto que sua parte inferior representa o sistema em si, com suas interações com o usuário. Para a construção de um modelo em movimento do pulmão e de suas estruturas internas foram obtidas imagens sequenciais via TC. Em seguida, essas imagens são processadas para extrair as informações do pulmão, gerando uma matriz de nuvem de pontos. Essa matriz é posteriormente convertida em um modelo sólido 3D representado pelo

contorno. Finalmente, as informações obtidas das imagens sequenciais são utilizadas para animar um outro modelo do pulmão.

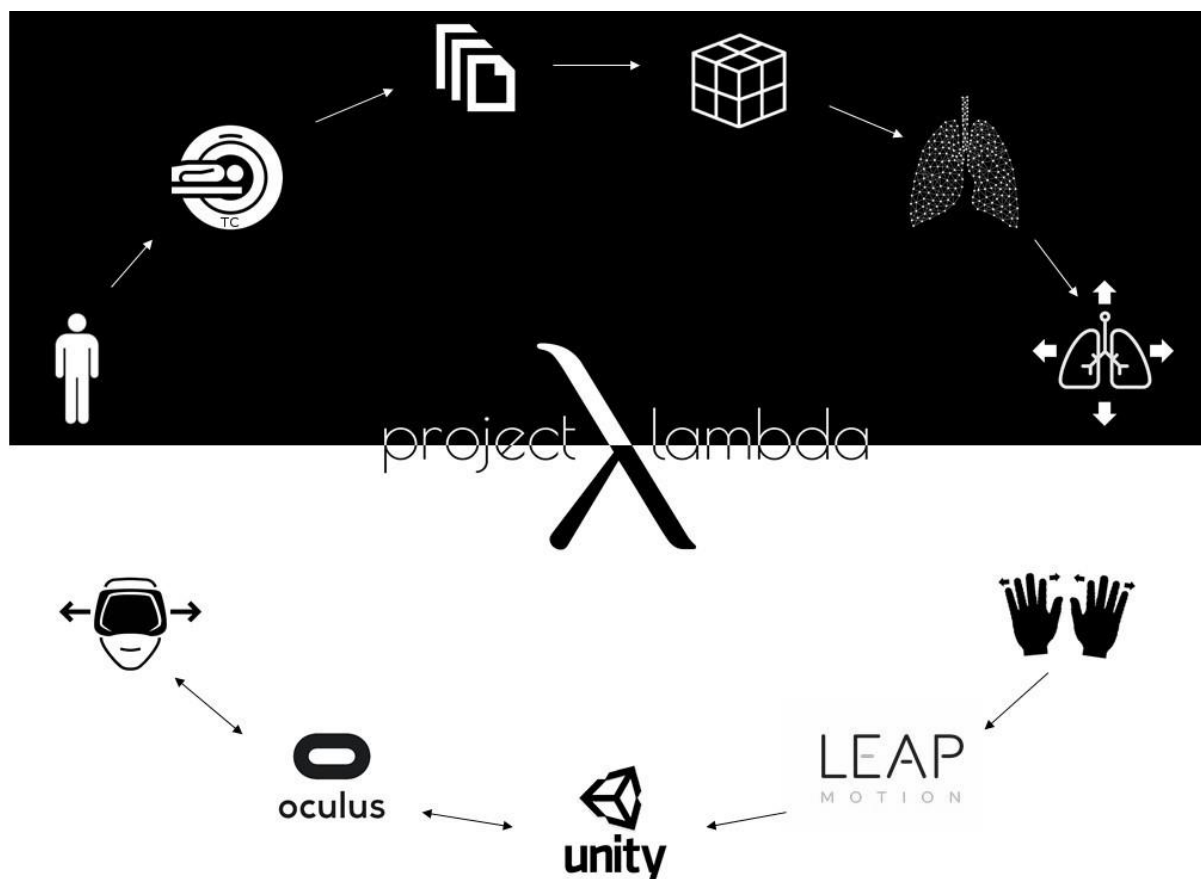


Figura 2 - Fluxograma do projeto.

O sistema apresentado será criado na ferramenta de criação de jogos Unity 3D. A sua escolha se deve, entre outros, à larga gama de ferramentas apresentadas, como por exemplo o mapeamento de sombra, texturas e de colisão, que não precisariam ser codificadas em baixo nível; a sua portabilidade, pois apresenta compatibilidade com 22 plataformas de jogos, como por exemplo navegadores Web, Windows, Mac, Android, iOS, PlayStation e Xbox; e à grande comunidade que a utiliza, o que garante suporte. Além disso, é um serviço que apresenta uma versão gratuita totalmente funcional e que é compatível com o periférico Oculus Rift. Neste projeto será utilizada a versão 4.6.6f2 do Unity (How to develop for the Oculus Rift with Unity Free, 2014) (Unity - Game Engine, 2015) (Gasparotto, 2014).

O Oculus Rift, mostrado na Figura 3 é um equipamento para visualização em realidade virtual, que é o mais promissor avanço para a indústria de games dos últimos anos (Chinen, 2014). A versão utilizada no projeto é uma versão criada para

desenvolvedores, o DK2 (Development Kit 2). Este modelo foi lançado previamente para que os desenvolvedores pudessem realizar testes e iniciar a criação de jogos antes do lançamento do produto final. Assim, espera-se que no momento do lançamento, previsto para o ano de 2016, já haja uma grande variedade de jogos que integram o Oculus Rift. O aparelho é composto de uma tela LCD dentro de um equipamento que é montado na cabeça do usuário. Dessa forma, o usuário fica completamente imerso no ambiente. A imagem é dividida em duas, uma para cada olho, que ao serem visualizadas em conjunto criam a percepção de um espaço 3D. Ainda foram adicionados sensores de movimento que permitem detectar as variações de movimento da cabeça e uma câmera externa, que permite a localização do usuário no espaço físico real. Para a execução do projeto será utilizada a versão 0.5.0.1-beta do Oculus Runtime, do SDK e do Unity 4 Integration. (How to develop for the Oculus Rift with Unity Free, 2014) (Oculus Rift - Virtual Reality Headset for 3D Gaming | Oculus VR®, 2015) (Araujo, 2013) (Bazan, 2014) (Qual será o futuro dos games?, 2015).



Figura 3 - Oculus Rift DK2 (Hutchinson, 2014).

Nota: durante a execução do projeto foram lançadas versões atualizadas, tanto do Unity quanto do Oculus Rift. Entretanto, para evitar qualquer problema de migração para as novas plataformas, foi decidido manter as versões citadas acima.

O Leap Motion é um pequeno periférico que utiliza conexão USB para ser integrado com diversos dispositivos, principalmente computadores pessoais. Ele é

composto por duas câmeras e três LEDs infravermelhos, que atuam em conjunto na observação de uma área hemisférica, com ângulo de 150° e uma distância máxima de aproximadamente um metro. Feito especialmente para o monitoramento das mãos, ele é capaz de detectar os movimentos individuais dos 10 dedos, com uma precisão de até 0,01mm. Alguns exemplos de movimentos detectados pelo Leap Motion são ilustrados na Figura 4 (Leap Motion Controller | Leap Motion, 2015).

Os três LEDs geram luz infravermelha sem padrão, que é refletida e capturada pelas câmeras a aproximadamente 200 frames por segundo. Esses dados capturados são transmitidos para o computador, onde são analisados através de algoritmos privados complexos, sintetizando a posição tridimensional a partir da análise dos frames bidimensionais produzidos.



Figura 4 - Exemplos de movimentos detectados pelo Leap Motion (Leap Motion Controller | Leap Motion, 2015).

A menor área de observação e a maior resolução do dispositivo diferencia ele de outros produtos como o Kinect, que é mais focado no tracking do corpo inteiro em um espaço amplo. Lançado em julho de 2013, o Leap Motion possui alto grau de suporte pela comunidade desenvolvedora e fácil integração com o ambiente Unity e Oculus Rift, tendo até acessórios especialmente designados para esse objetivo. A Figura 5 mostra um acessório que permite integrar o Leap Motion ao Oculus Rift. Dessa forma o usuário pode visualizar as suas mãos dentro do ambiente virtual.

Por estar completamente imerso no ambiente de simulação, o usuário não poderá utilizar acessórios comuns, como o mouse e o teclado. Assim, a interação será completamente feita por gestos realizados pelas mãos e captados pelo Leap Motion. Através de um menu interativo, ele poderá escolher a função que deseja

acessar. A sua movimentação também será realizada via comandos gestuais e os sensores do Oculus Rift permitirão a visualização em todas as direções.



Figura 5 - Acessório do Oculus Rift para Leap Motion (Leap Motion & Oculus VR: Frustrations & Future, 2014).

2.4.1. Captura das imagens

As imagens DICOM utilizadas nesse projeto foram feitas pelo Kanagawa Cardiovascular Respiratory Center, no Japão, em parceria com a Yokohama National University, grupos parceiros em pesquisas do Laboratório de Geometria Computacional da Escola Politécnica da USP. As imagens médicas foram obtidas via TC de baixa radiação, o que diminui os efeitos dos raios X. A Figura 6 mostra uma das imagens DICOM utilizadas neste projeto.

Dessa forma, existem 22 grupos de imagens de baixa resolução: 11 durante a inspiração e 11 durante a expiração. Com isso pode-se obter o movimento do pulmão durante um ciclo respiratório completo. Cada grupo apresenta 112 imagens transversais da caixa torácica, com 512 x 512 pixels cada. Um pixel representa um espaço de 0,7421875 mm e cada camada tem espessura de 1,5 mm.

Além disso, será utilizado um grupo de imagens de alta resolução. Esse grupo apresenta 691 imagens transversais, com 512 x 512 pixels, de 0,782 mm. Cada camada tem 0,5 mm de espessura.

Os termos alta e baixa resolução referem-se à quantidade de informação presente em cada grupo de imagens. Nota-se que, por possuir um número bem maior de camadas, com menor espessura, o modelo de alta resolução apresenta maior quantidade de informação sobre o pulmão. Entretanto, para obter imagens com maior resolução, o tempo de processamento é maior, o que impede de adquirir imagens sequenciais do movimento pulmonar. A fim de diminuir o número de imagens e, com isso, viabilizar a aquisição das imagens sequenciais, as imagens apresentam uma distância maior entre as camadas. A TC não permite a captura do pulmão completo inspirando, isto é, totalmente cheio de ar, assim as partes superior e inferior do pulmão não são obtidas.

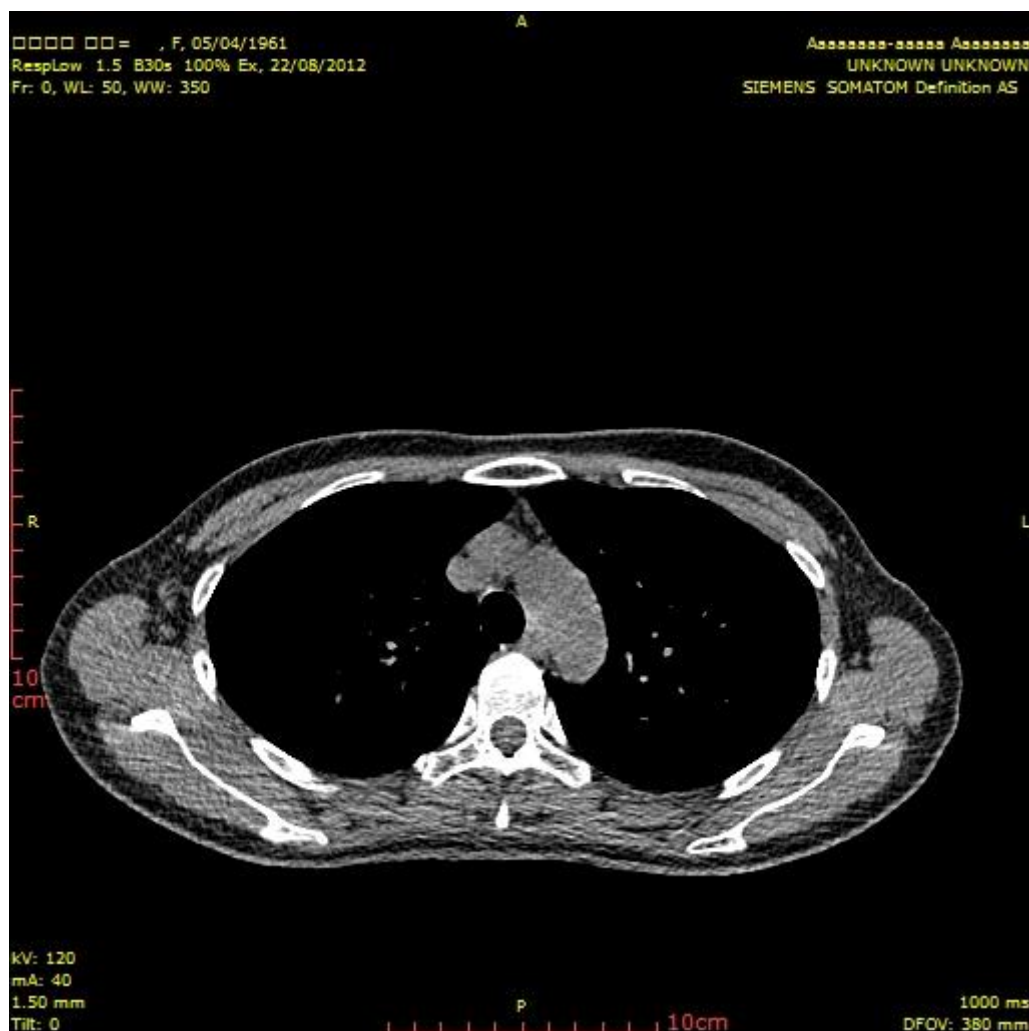


Figura 6 - Imagem DICOM.

2.4.2. Extração e segmentação do pulmão

Para extrair o pulmão das imagens DICOM é utilizado o software “Lung Classifier”, v.5.0, que implementa o algoritmo proposto por Iwao et al. (2012) para

obter modelos 3D do pulmão e de suas estruturas internas. A partir de um ponto localizado na traqueia, o algoritmo irá procurar nos planos adjacentes uma região que apresente características semelhantes de cor, com back-tracking segundo critérios de raio e de volume. Para a classificação das regiões em lobos, o programa realiza uma expansão baseada na classificação das vias aéreas para determinar o lobo correspondente à região do pulmão.

O resultado desse processo é uma matriz 3D, que indica a classificação de cada voxel em uma das estruturas do pulmão, ou nula, caso o voxel não faça parte do pulmão. A saída desse algoritmo torna-se um problema, por se tratar de uma nuvem de pontos discretos no espaço tridimensional. Isso porque, quando o modelo é ampliado, a distância entre os voxels aumenta e a visualização do objeto como um sólido não é possível. Dessa forma, deseja-se obter um modelo do pulmão que seja representado por faces ao invés de voxels.

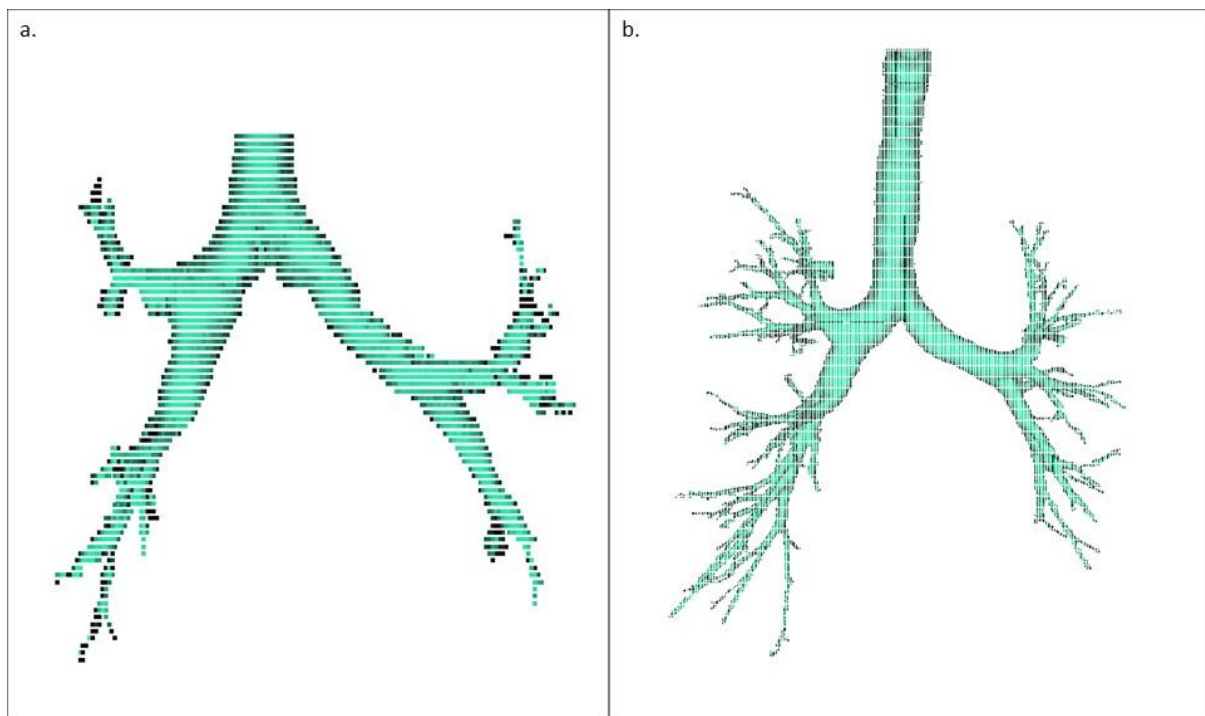


Figura 7 - Nuvem de pontos das vias aéreas. (a) Modelo de baixa resolução. (b) Modelo de alta resolução.

Outro problema encontrado durante a segmentação do pulmão foi quanto à conversão dos modelos de baixa resolução, conforme ilustra a Figura 7. Por apresentar camadas mais espaçadas, o algoritmo falha em recuperar as ramificações das vias aéreas à medida em que elas ficam mais finas. Com isso, em alguns modelos o algoritmo consegue encontrar mais ramificações do que em outros. Visto a disparidade da segmentação entre os modelos de baixa resolução e

a menor quantidade de ramificações encontradas, a criação do movimento pulmonar apenas com os modelos de baixa resolução não apresenta resultados satisfatórios. Por esse motivo resolveu-se utilizar o modelo em alta resolução como base da animação do movimento respiratório.

2.4.3. Marching cubes

Para resolver o problema do sólido representado por uma nuvem de pontos, é utilizado o software OBMC, versão 0.92, que aplica o algoritmo proposto por Tsuzuki et al. (2007) para criar um sólido B-Rep (Boundary Representation) a partir da imagem em nuvem de pontos. Com isso, obtém-se apenas as informações das superfícies de contorno do sólido. O resultado do processo é um modelo 3D da estrutura selecionada (pulmão, vias aéreas ou lobos) em formato STL (STereoLithography), comumente utilizado por softwares de CAD.

2.4.4. Tratamento dos modelos

Para o tratamento dos modelos 3D e para a criação das animações é utilizado o software gratuito Blender 3D, da Blender Foundation, que é um programa de modelagem, animação e motor de jogo. Assim, todos os modelos são reposicionados, redimensionados e rotacionados, uma vez que a saída do software OBCM é um modelo de dimensões muito grandes e, ao importar para o Blender, ocorre um erro de espelhamento do modelo. Além disso, são aplicados um algoritmo de decimação e um de suavização de superfícies aos modelos do pulmão. Ainda, é necessário verificar se as normais estão orientadas corretamente, pois o Unity renderiza apenas a superfície cuja normal está voltada para fora. Por fim, o modelo 3D é exportado em um formato compatível com o Unity.

2.4.4.1. Decimação

O algoritmo de decimação (Decimate Modifier, no Blender) tem como objetivo reduzir o número de faces e de vértices de um modelo, alterando minimamente a sua forma. Tal recurso é necessário, visto que os modelos STL gerados pelo algoritmo de cubos marchantes apresentam elevado número de triângulos (da ordem de milhões), o que torna a renderização lenta e com muita utilização de memória. Outro problema que ocorre devido ao número elevado de triângulos

acontece durante o cálculo de colisões com as paredes do modelo, durante a execução da simulação da broncoscopia.

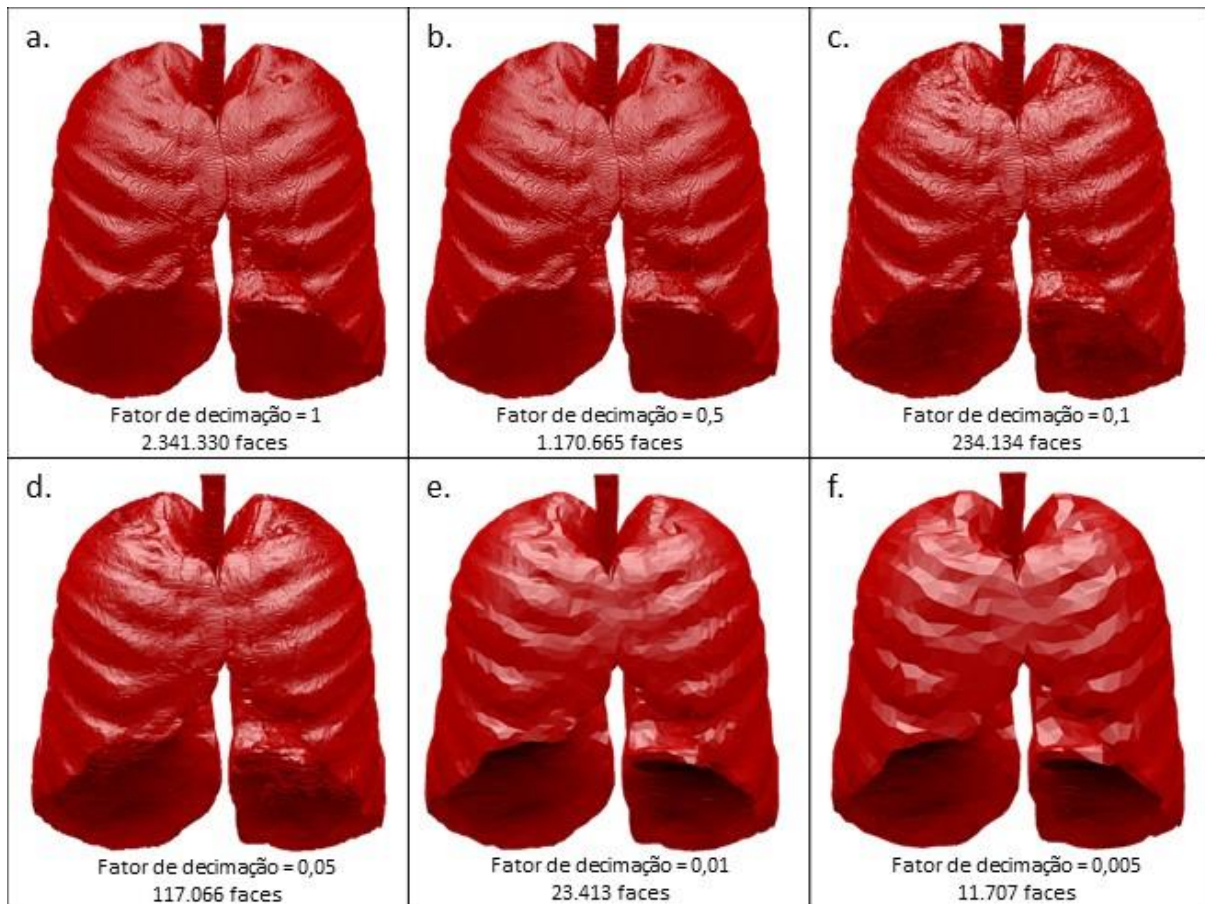


Figura 8 - Comparação do modificador de decimação. (a) Modelo original. (b) 50% de faces. (c) 10% de faces. (d) 5% de faces. (e) 1% de faces. (f) 0,5% de faces.

Como pode-se observar na Figura 8, a forma do modelo não é significativamente alterada à medida em que o fator de decimação diminui. Após a análise dos diferentes valores de redução, foi decidido usar o fator de decimação de 0,05, que apresenta 5% do número de faces originais, mas, como ilustra a Figura 8, ainda preserva o formato original e apresenta boa qualidade superficial.

Por se tratar de um sistema de simulação, cujos objetivos são principalmente acadêmicos e educacionais, a redução da quantidade de faces do modelo utilizado é adequada aos propósitos do projeto.

2.4.4.2. Smooth

O modificador Smooth é utilizado para suavizar a superfície de um modelo, ao diminuir o ângulo formado entre as faces adjacentes, sem afetar o número total de faces existentes. Como a superfície do pulmão e das vias aéreas é contínua, é

esperado que o ângulo entre as faces seja pequeno. A aplicação do Smooth é necessária porque o modelo de saída do algoritmo de cubos marchantes apresenta ângulos elevados entre faces adjacentes. Isso ocorre pois esse algoritmo cria as faces com base na matriz tridimensional de nuvem de pontos, que tem forma cúbica. A Figura 9 mostra uma comparação entre o modelo do pulmão sem a aplicação do smooth e com o smooth. Nota-se que a superfície do modelo b é mais lisa do que a do modelo a.

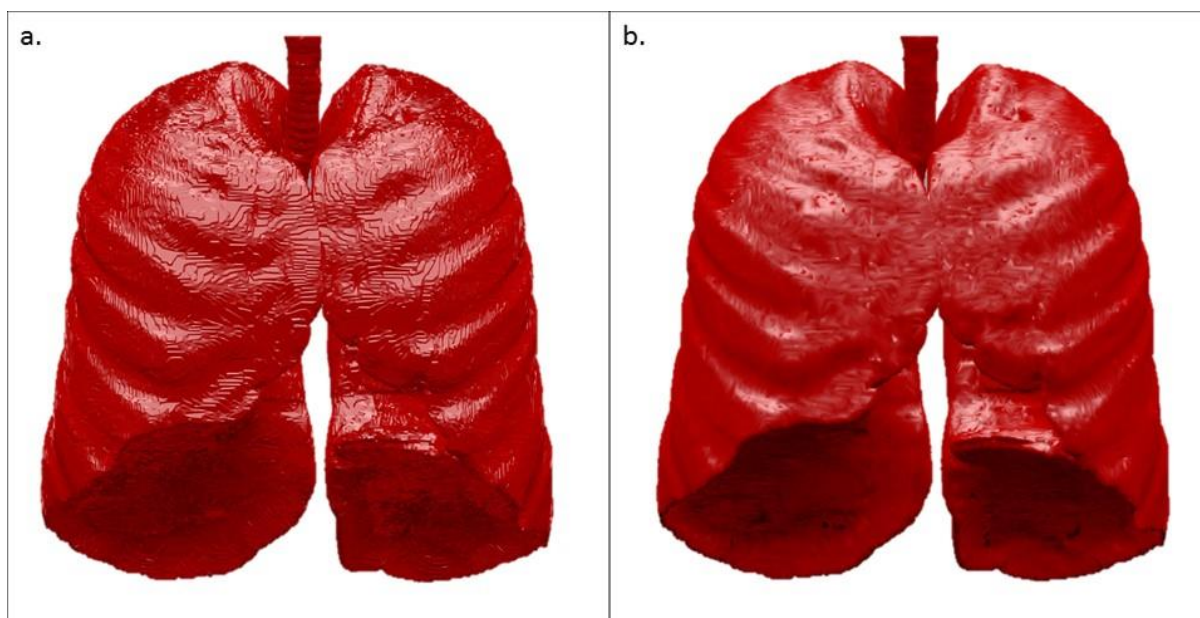


Figura 9 – Comparação do modificador smooth (a) Modelo sem smooth. (b) Modelo com smooth.

2.4.4.3. Formato

Ao exportar os modelos tratados no Blender, é preciso salvá-lo em um formato compatível com o ambiente do Unity 3D 4.6. O formato STL não é aceito pelo Unity e também não apresenta informações adicionais ao modelo, em especial a animação do movimento pulmonar. Os formatos aceitos pelo Unity são: FBX, dae (Collada), 3DS, dxf e .obj.

2.4.5. Animação

A animação dos modelos 3D é feita com o software Blender 3D. Nele é possível inserir “keyframes”, ou seja, pontos-chaves a cada quadro, que contêm informações de localização, orientação e dimensão dos objetos. O próprio software é responsável por calcular as posições intermediárias dos modelos, de forma a garantir a correspondência entre os keyframes e, assim, realizar a animação. Ainda

é possível escolher o modo de interpolação, como por exemplo, linear, bézier, quadrático, exponencial, entre outros.

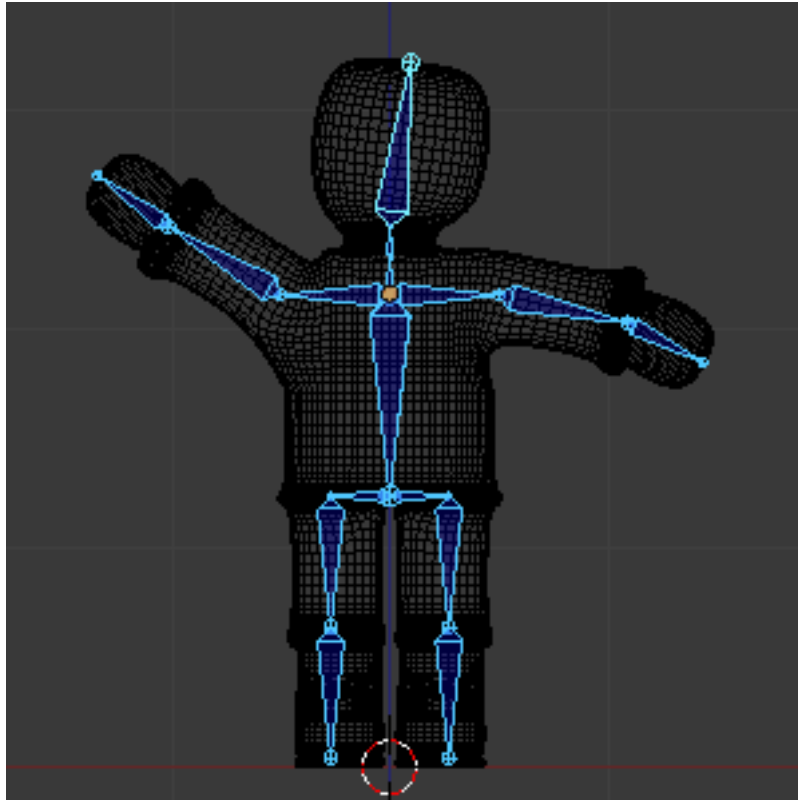


Figura 10 - Armature aplicada a um personagem humanoide (Débutez dans la 3D avec Blender, 2015).

A estrutura utilizada para realizar as animações dos modelos é chamada de “armature” (armadura, em inglês), que é comumente utilizada para a animação de personagens em jogos, conforme ilustra a Figura 10. Com ela, é possível definir “bones” (ossos, em inglês), que correspondem a uma região específica. Cada bone se relaciona com o modelo através de pesos sobre os vértices - um vértice de peso 1 indica que seu movimento é igual ao daquele bone, enquanto o peso 0 indica que ele não é afetado pela movimentação do bone.

Para reconstruir o movimento real da respiração, a estrutura de bones foi aplicada ao modelo de vias aéreas de alta resolução. Em seguida, o primeiro modelo de baixa resolução, que corresponde ao início da inspiração, foi posicionado para que os pontos de ramificação coincidisse. Essa posição é aplicada a todos os modelos de baixa resolução, cujo plano superior apresenta a mesma altura para todos os modelos, visto que foi originado do mesmo plano das imagens DICOM. Depois, a cada 5 frames (cerca de 0,2 segundos, se considerado um rate de 24 fps), os bones são reposicionados e redimensionados para que as ramificações do

modelo de alta resolução coincidam com as do modelo de baixa resolução correspondente àquele frame. Após isso é inserido um keyframe para cada um dos bones. Ao final do processo tem-se o movimento do modelo de alta resolução, baseado no movimento real da respiração, que foi obtida com os modelos de baixa resolução.

Em seguida a mesma estrutura de armature e a mesma sequência de keyframes foi aplicada ao modelo do pulmão completo e a cada um dos cinco modelos dos lobos pulmonares. Dessa forma, garante-se que o movimento apresentado por todas as estruturas seja o mesmo.

Como os modelos de baixa resolução divergiam quanto ao número de ramificações, foram utilizados apenas as três primeiras ramificações para fazer o casamento entre os modelos. A utilização de mais ramificações permite uma melhor reprodução do movimento, mas é muito mais complicada de ser efetuada. O intervalo de tempo entre os modelos que foi utilizado gera um ciclo respiratório que dura cerca de 4 segundos, o que corresponde à uma frequência respiratória de cerca de 15 ciclos por minuto, o que é adequada a uma pessoa com respiração lenta.

2.4.6. Interface

Por muitos anos, os campos de interfaces gráficas e 3D eram tão novos que suas possibilidades pareciam ilimitadas de modo que muitos pesquisadores simplesmente focavam no desenvolvimento de novos dispositivos, técnicas de interação e interface do usuário sem tomar o devido tempo para avaliar o quão bom os novos projetos eram. À medida que os campos têm amadurecido, no entanto, têm-se focado muito em usabilidade. É necessário analisar criticamente, avaliar e comparar dispositivos, técnicas de interação, UIs e aplicativos 3D disponíveis para selecionar o mais adequado ao objetivo do projeto (Bowman et al. 2004).

A interface utilizada teve como pilares intuitividade e imersão para o seu desenvolvimento. O usuário não precisa interagir de maneira direta com nenhum componente físico fora do ambiente virtual, tal como joysticks, mouse ou teclado, para executar comandos e navegar pelo sistema.

Ela foi desenvolvida em cima da API HoverVR (Hover VR Interface Kit), criada pela Aesthetic Interactive, baseada em três recursos: HoverCursor, HoverCast e HoverBoard.

2.4.6.1. Hovercursor

O Hovercursor insere um cursor virtual no ambiente, podendo ser configurado para controle através de qualquer objeto. Esse cursor serve de base para a utilização das interfaces Hoverboard e Hovercast, e é exemplificado na Figura 11.

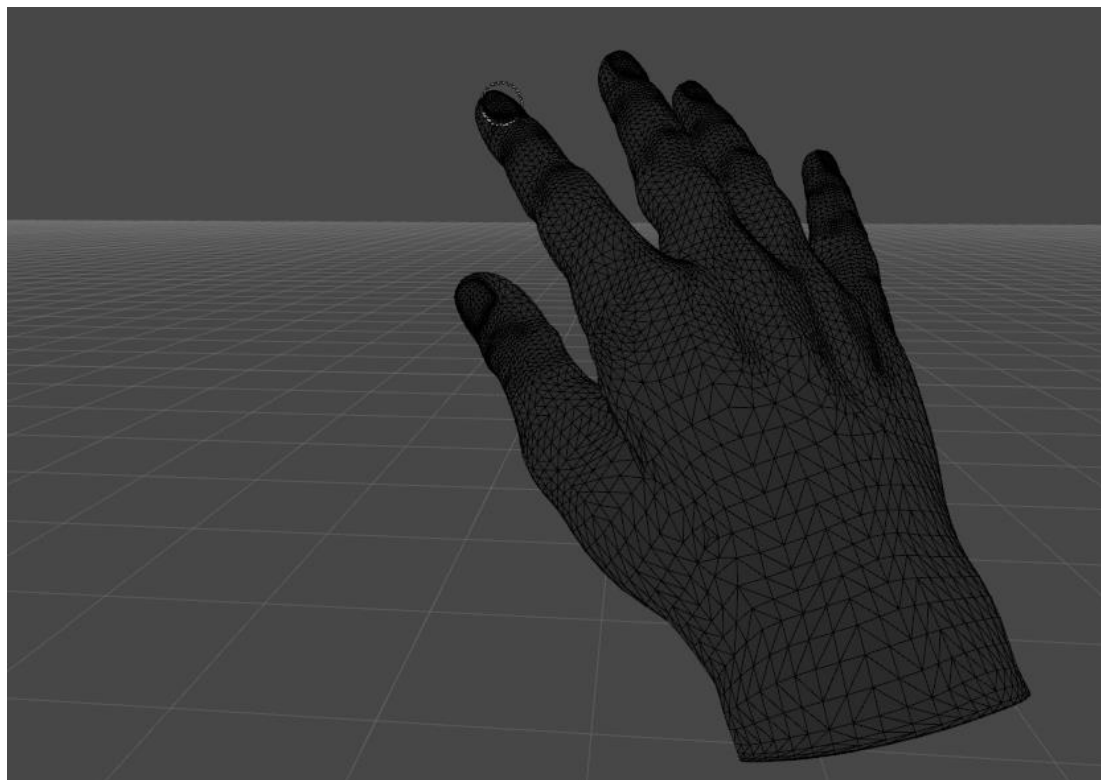


Figura 11 - Desenvolvimento do Hovercursor.

As duas opções consideradas para isso foram o ponto de foco central da câmera, e o dedo indicador da mão direita, sendo que a escolha foi pela segunda opção. Isso se deve ao fator intuitivo de utilizar as mãos para interagir com objetos e a baixa curva de aprendizado necessária, pois diversos periféricos de interação atuais são utilizados por este membro, além do fato de diminuir a ocorrência de interações acidentais. Entretanto, a primeira opção é uma alternativa muito interessante caso haja interesse em tornar a plataforma acessível para pessoas com deficiências físicas ou dificuldade de coordenação motora.

2.4.6.2. Hovercast

O HoverCast, conforme mostrado na Figura 12, insere um painel virtual com menus hierárquicos, sendo posicionado na palma da mão esquerda, acompanhando os movimentos de translação e rotação da mão. Dessa forma, o menu só é acionado caso o usuário rotacione a mão esquerda de forma que o plano definido

pela palma esteja aproximadamente paralelo ao eixo vertical da cabeça do usuário, com a sua normal com sentido oposto à normal da câmera virtual.

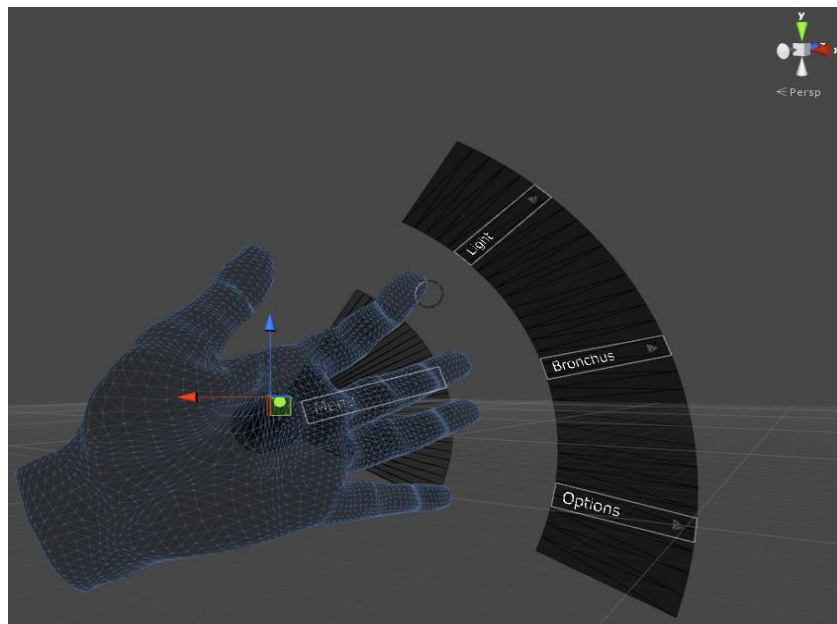


Figura 12 - Desenvolvimento do Hovercast.

2.4.6.3. Hoverboard

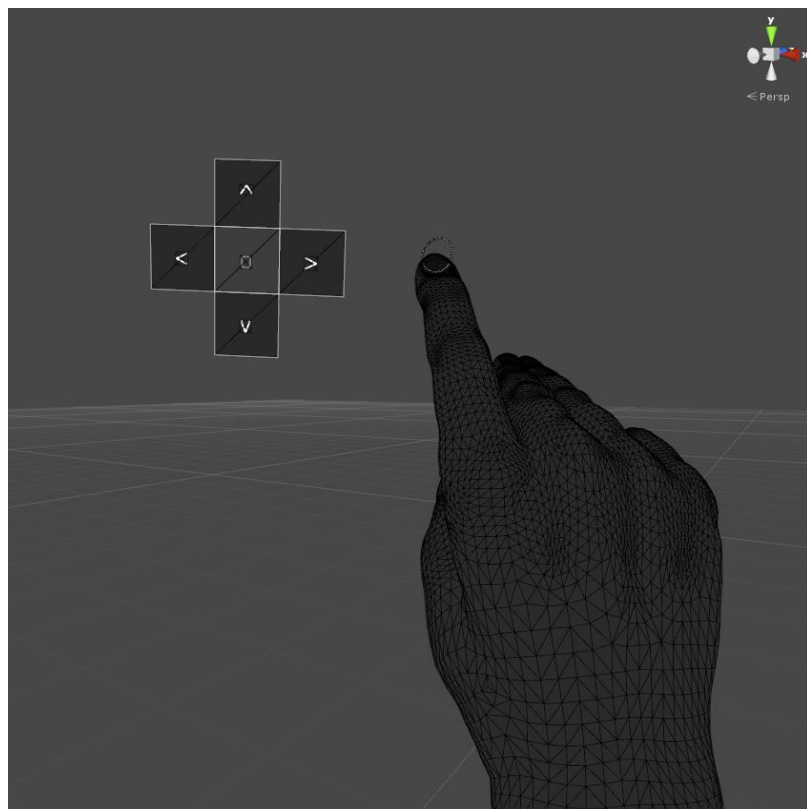


Figura 13 - Desenvolvimento da Hoverboard.

O HoverBoard, exemplificado na Figura 13, insere painéis virtuais que podem ser posicionados em qualquer local do ambiente e são controlados pelo cursor.

Esse recurso foi utilizado para o menu de navegação, criando um direcional posicionado no centro do visor, composto por botões para movimentação em duas direções (frontal e lateral), cada uma delas em dois sentidos. Para não atrapalhar a visão do usuário, o painel possui um fator de transparência que é aumentado quando a mão do usuário não está sobre o sensor, além de permanecer desabilitado no caso de leitura de ambas as mãos, evitando interferência com o HoverCast.

2.4.7. Navegação

O usuário é capaz de se movimentar pelo ambiente virtual através dos equipamentos Oculus Rift e Leap Motion somente. Ele é representado por um objeto câmera, que tem a sua rotação controlada pelo giroscópio presente no Oculus Rift (acompanhando o movimento da cabeça), e a sua translação pelo painel direcional HoverBoard. Foi atribuída uma RigidBody a esse objeto, para permitir que ele seja deslocado com o uso de forças físicas. Ao acionar um dos botões do painel, é aplicada uma força no sentido equivalente, sendo que ele sempre está definido em relação ao eixo da cabeça do usuário (a seta frontal realiza o deslocamento no mesmo sentido da normal de visão).

Também foi atribuído um Collider ao objeto câmera, de formato esférico, e Colliders de formatos variados aos demais objetos, de maneira a detectar colisões da mesma com os outros elementos virtuais presentes no ambiente (evitando que a câmera os atravesse).

2.4.8. Consultório

Sistemas de realidade virtual têm sido utilizados para o tratamento de fobias (como apresentações em público) e no treinamento de habilidades específicas (como uso de equipamentos militares. Especificamente, essas aplicações necessitam de um nível elevado de fidelidade nos sinais sensoriais visuais, auditivas, e outros semelhantes aos experimentados no mundo real. Eles exigem que a experiência no mundo virtual chegue o mais próximo possível da real. Em outras palavras, estas aplicações requerem um elevado nível de imersão para produzirem um bom resultado na sensação de presença (Pausch et al. 1997).

Dessa forma, um dos pontos considerados no projeto foi a criação de um ambiente que estimule sensorialmente o usuário. O local virtual desenvolvido para a

demonstração dos modelos de interesse é baseado em um consultório médico, como pode-se observar na Figura 14, deixando o usuário imerso em um ambiente com itens e mobílias que remetem ao tema do projeto.



Figura 14 - Sala de consultório para cena principal.

As proporções dos objetos em relação ao usuário foram mantidas próximas dos valores reais, ajudando no fator de imersão do sistema. O pulmão é mostrado em destaque na sala, permitindo interação através das opções disponíveis do menu Hovercast. O usuário é capaz de selecionar os itens que deseja visualizar (pulmão, lobos ou vias aéreas), alterar a cor dos modelos, pausar a animação da respiração, e iniciar o modo de broncoscopia.

2.4.9. Broncoscopia

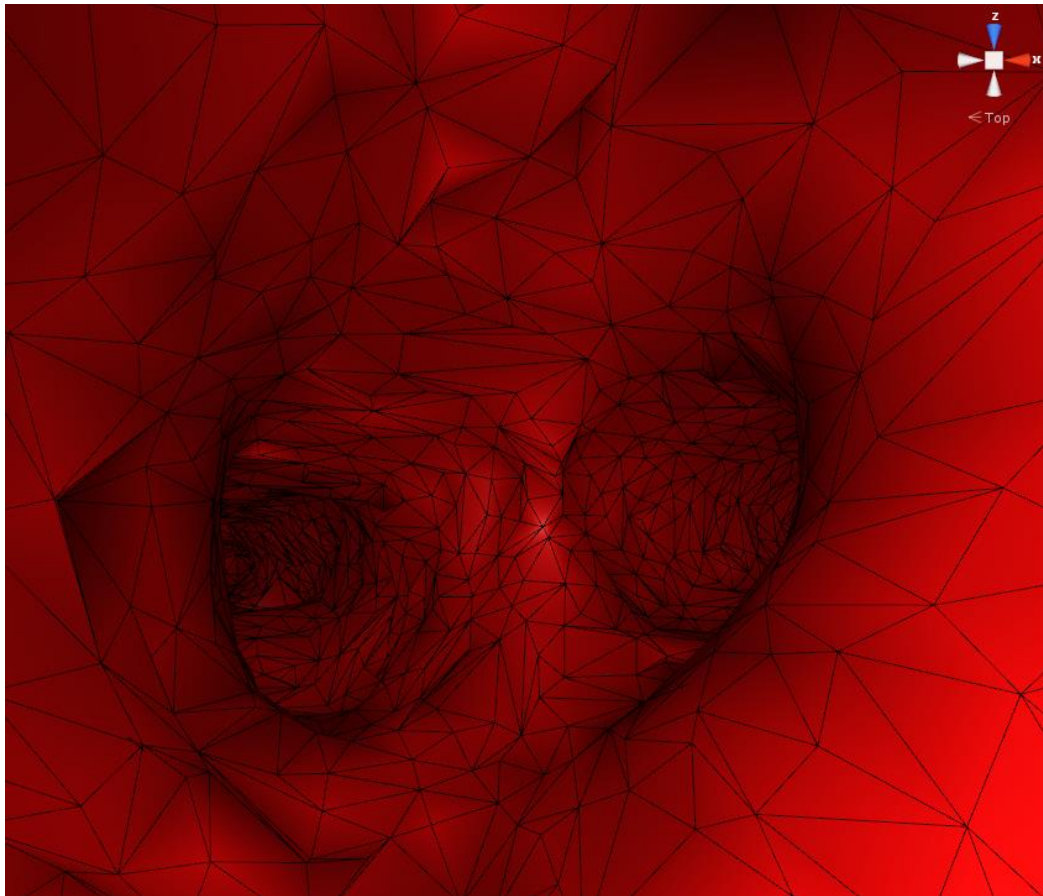


Figura 15 - Visualização no modo de broncoscopia.

No campo da medicina, habilidades manuais e técnicas também devem ser adquiridas para desempenhar com competência procedimentos invasivos, tais como fibrobroncoscopia flexível (FFB). Até recentemente, a formação em FFB e outros procedimentos endoscópicos ocorria diretamente em pacientes reais, o que pode resultar em procedimentos invasivos prolongados, um potencial para diagnósticos errados, aumento do desconforto do paciente e aumento do risco de morte relacionada ao procedimento. Entretanto, isso têm mudado aos poucos para métodos alternativos que simulam os procedimentos, apresentando bons resultados de treinamento (Colt et al. 2001).

Os sistemas atuais de simulação desse procedimento utilizam um modelo 3D estático das vias aéreas, devido à dificuldade de se adquirir imagens de alta resolução em sequência, para reprodução do movimento. Assim, esse projeto visa preencher essa lacuna de funcionalidade. A navegação pelas vias aéreas, mostrada na Figura 15, é realizada sobre um modelo em alta resolução das vias aéreas, em

movimento. Uma luz em formato de spot foi colocada fixa à câmera, simulando as imagens obtidas nos equipamentos médicos para esse procedimento.

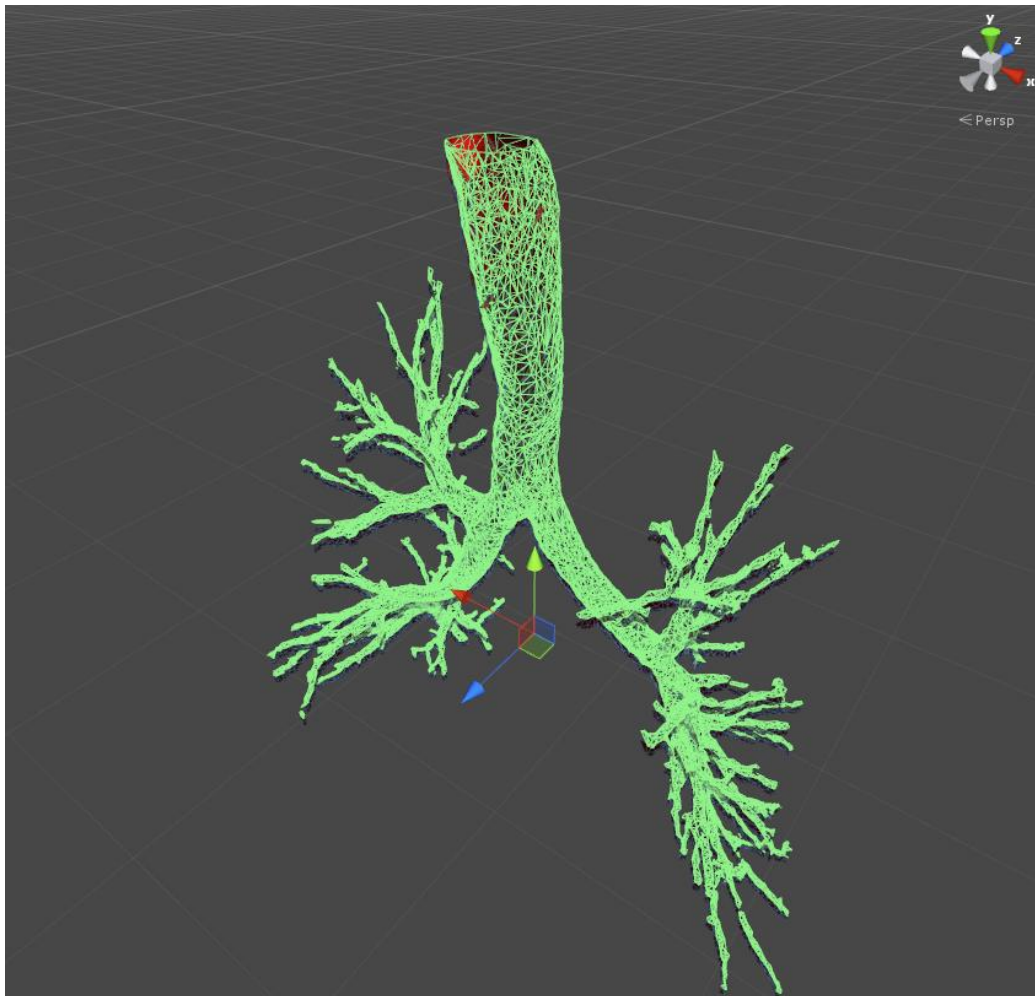


Figura 16 - Collider das vias aéreas.

O usuário pode se deslocar livremente pelo interior das vias aéreas, sendo impedido de atravessar as paredes do modelo pela colisão com um Collider de malhas (Figura 16), que acompanha o movimento das faces do modelo 3D. O deslocamento é realizado através do painel direcional, e as demais opções de interação se encontram no menu Hovercast. Através dele, o usuário é capaz de alterar a cor do modelo, pausar e rodar a animação de movimento, e habilitar uma vista auxiliar para observar a sua posição em relação ao modelo.

Para auxiliar no fator de imersão, um efeito sonoro de respiração é reproduzido em sincronia com a animação das vias aéreas. Outras opções disponíveis permitem o controle da intensidade e do ângulo da luz spot, além de reiniciar o procedimento ou voltar para a cena principal do consultório.

2.4.10. Quick Switch

Os equipamentos de realidade virtual deixam o usuário privado de visualizar o ambiente externo, encobrendo completamente a visão de forma a exibir somente o conteúdo virtual. Por serem componentes que levam um certo tempo para serem ajustados ao corpo antes da sua utilização, é incômodo quando há uma necessidade de realizar alguma ação rápida no ambiente real (como se posicionar adequadamente no local).

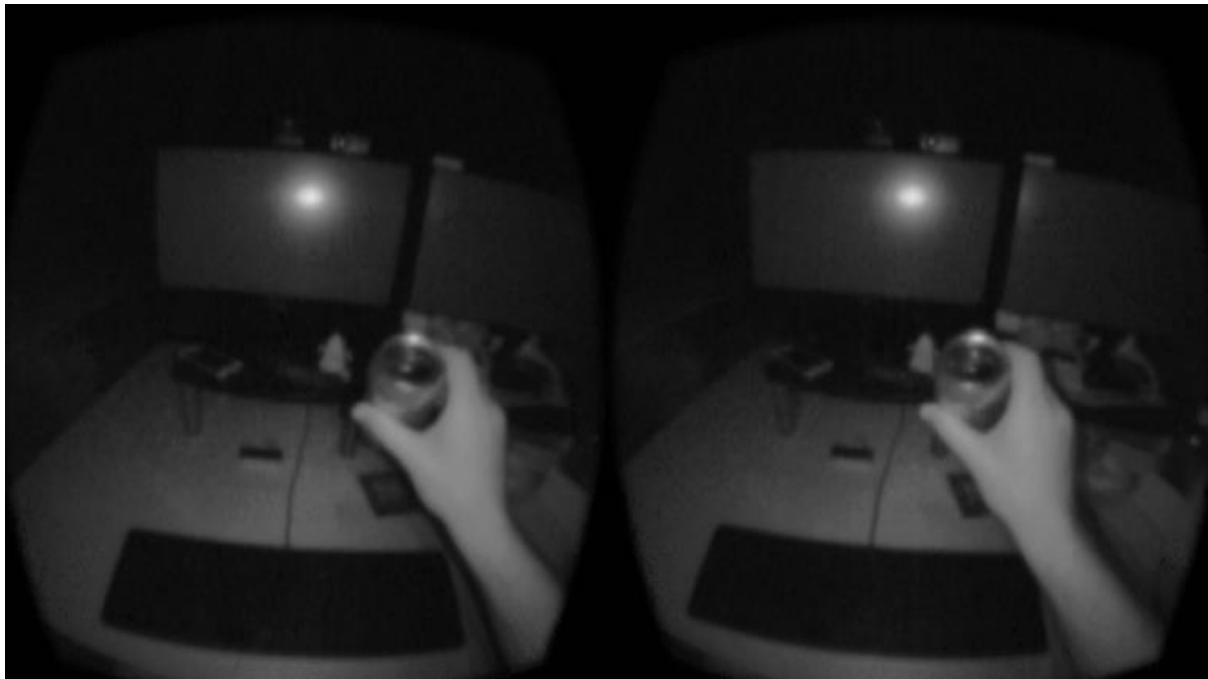


Figura 17 - Funcionalidade de QuickSwitch (QuickSwitch, 2015).

Aproveitando a câmera infravermelha do Leap Motion, foi implementada uma funcionalidade chamada de Quick Switch (QuickSwitch, 2015), que mostra a imagem desta câmera no visor do Oculus Rift, dando ao usuário a oportunidade de enxergar o ambiente externo, como mostrado na Figura 17:

Esse modo é ativado ao deslizar verticalmente a palma da mão próximo ao equipamento Leap Motion, pausando a execução do ambiente virtual até que o usuário realize o mesmo gesto, retornando ao sistema.

3. Resultados

Este trabalho apresenta como resultado a criação de um método de obter o movimento real do pulmão e de suas estruturas internas com base em uma sequência de imagens 3D de baixa resolução obtidas via TC. A análise da evolução das ramificações, que são pontos em comum a todos os modelos, permite reproduzir corretamente o movimento respiratório. Ainda, a análise das vias aéreas e dos lobos em movimento permite o estudo do comportamento dessas estruturas internas. As Figura 18, Figura 19 e Figura 20 mostram a evolução do movimento em diferentes frames.



Figura 18 - Movimento do pulmão. (a) Frame 0. (b) Frame 23. (c) Frame 47.



Figura 19 - Movimento dos lobos. (a) Frame 0. (b) Frame 23. (c) Frame 47.

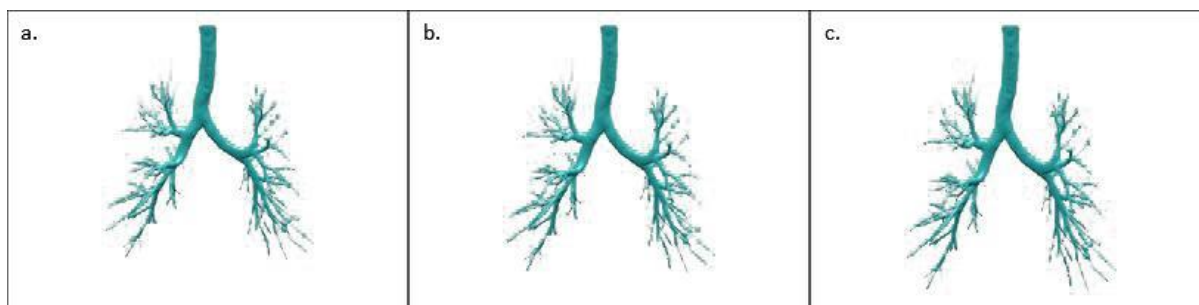


Figura 20 - Movimento das vias aéreas. (a) Frame 0. (b) Frame 23. (c) Frame 47.

Os requisitos de projeto foram cumpridos exibindo todas as funcionalidades esperadas e atendendo às restrições esperadas, principalmente em imersão e realidade. Um dos fatores que contribuiu nesse aspecto foi o desenvolvimento do

37

real da broncoscopia, o paciente estará respirando. Assim, espera-se que estudantes e profissionais em treinamento se beneficiem do sistema criado.

4. Discussão

A utilização de jogos sérios com fins educacionais e de treinamento é bastante estudada na atualidade, principalmente dentro da área médica. O resultado desse projeto permite avançar nesse estudo, que ainda apresenta muitas possibilidades quanto às formas de uso. Dessa forma, essa seção trata de discutir algumas delas e que não foram tratadas no escopo desse projeto.

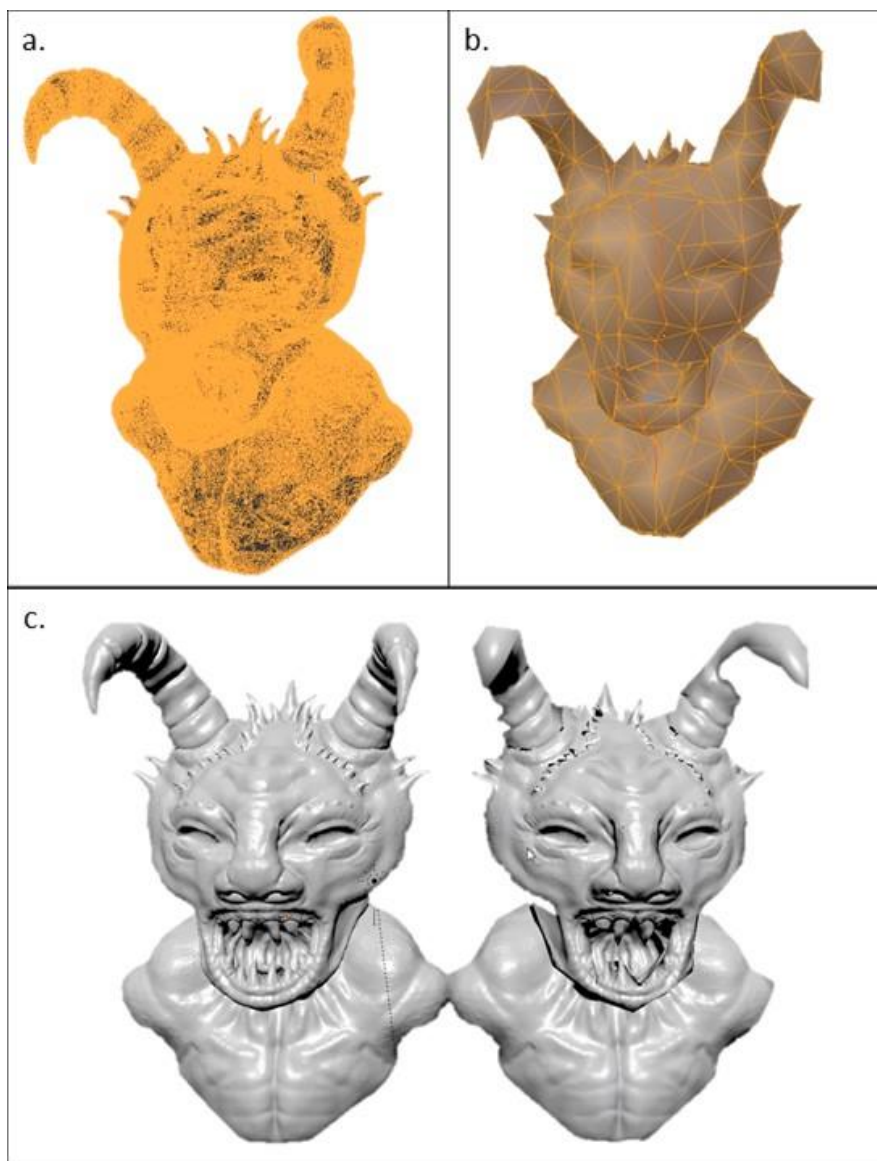


Figura 23 – Render Baking. (a) Modelo com número original de faces. (b) Modelo com número reduzido de faces. (c) Comparação de renderização entre os modelos.

Durante o processo de tratamento dos modelos 3D, uma outra possibilidade para reduzir o número de triângulos é utilizar a técnica conhecida como Render Baking (Render Baking), que consiste em criar uma textura a partir de um modelo de alta qualidade. Depois, aplica-se o algoritmo de decimação com um fator muito

menor, reduzindo o modelo a poucas faces. Em seguida coloca-se a textura, criada a partir do modelo completo, ao modelo reduzido. Assim, espera-se reduzir o tempo de renderização ao reduzir a contagem de polígonos. Por outro lado, essa técnica exige mais trabalho humano e se a textura apresentar grande resolução, a renderização pode ficar lenta. Um exemplo pode ser verificado na Figura 23.

Quanto ao movimento do pulmão, pode-se expandir a técnica de animação utilizada no projeto a um número maior de ramificações. Espera-se que assim o movimento seja ainda mais fiel à realidade. Porém o esforço em fazer coincidir todas as ramificações aumenta, visto que cada modificação em um ramo altera a modificação dos ramos derivados deste.

Um outro tópico de pesquisa é quanto à interatividade e a usabilidade das novas tecnologias. Por se tratar de um conceito completamente novo e que não está mais limitado ao uso de um console, é preciso definir quais os meios e as formas de interação que o usuário pode utilizar para interagir com o sistema. Assim, é possível aprofundar o estudo das técnicas utilizadas nesse projeto para decidir quais são as mais intuitivas e cômodas ao usuário, a fim de garantir menor tempo de aprendizado e, conseqüentemente, menores taxas de rejeição do produto.

Ainda, diversas novas interfaces humano-computador com propostas semelhantes ao Oculus Rift e ao Leap Motion poderiam ser utilizadas a fim de escolher quais apresentam melhor resposta ao usuário. Por exemplo, a Sony e a Samsung têm projetos de equipamentos de realidade virtual, e o Kinect poderia ser uma alternativa ao Leap Motion. Com a evolução desses periféricos é esperado que a resolução da tela aumente e a fadiga causada pelo movimento da câmera diminua. Da mesma forma, a captura dos gestos também precisa ser aprimorada.

Finalmente, outra possibilidade que poderia ser estudada é o uso de realidade aumentada ao projeto. Algumas ideias são a visualização do pulmão em movimento diretamente sobre o corpo humano, em que a frequência respiratória é captada em tempo real, ou ainda a simulação da broncoscopia com a utilização de instrumentos virtuais, aumentando a experiência, para o emprego em treinamento de profissionais.

5. Conclusão

O projeto desenvolvido apresentou uma maneira de se obter e visualizar o movimento dos pulmões e suas estruturas internas, exibindo o resultado em um ambiente virtual imersivo e adequado aos requisitos do trabalho. Além disso, a funcionalidade de broncoscopia também faz proveito das possibilidades de interação oferecidas pelos equipamentos utilizados, resultando em um processo intuitivo e tecnológico para a simulação desse procedimento em um modelo com animação de movimento.

Dessa forma, a proposta inicial foi alcançada com êxito, chegando em um resultado final com a qualidade necessária para uma área de aplicação exigente como a medicina, além de abrir uma vasta gama de oportunidades para futuros trabalhos complementares.

6. Referências

- Amabis, J. M., & Martho, G. R. (2006). *Fundamentos da Biologia moderna: volume único*. São Paulo: Ed. Moderna.
- Araujo, B. (26 de Agosto de 2013). *Oculus Rift: G1 testou o acessório de realidade virtual para games*. Acesso em 16 de Novembro de 2015, disponível em G1: <http://g1.globo.com/tecnologia/games/noticia/2013/08/g1-testa-o-oculus-rift-acessorio-de-realidade-virtual-para-games.html>
- Bazan, R. (28 de 07 de 2014). *Testamos o Oculus Rift: evolução em um ano aumenta sensação de imersão*. Acesso em 16 de Novembro de 2015, disponível em Techtudo: <http://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2014/07/testamos-o-oculus-rift-evolucao-em-um-ano-aumenta-sensacao-de-imersao.html>
- Bowman, D., Kruijff, E., & Poupyrev, I. (2004). *3D User Interfaces*.
- Chinen, R. (04 de Agosto de 2014). *Realidade virtual ... uma nova tecnologia que vai revolucionar o mundo como o conhecemos*. Acesso em 16 de Novembro de 2015, disponível em Espiral de Valor.
- Colt, H., Crawford, S., & Galbraith, O. (2001). *Virtual Reality Bronchoscopy Simulation: A Revolution in Procedural Training*.
- Débutez dans la 3D avec Blender*. (21 de Maio de 2015). Fonte: OpenClassrooms: <https://openclassrooms.com/courses/debutez-dans-la-3d-avec-blender/introduction-a-l-animation>
- Frequência Respiratória (FR)*. (06 de Fevereiro de 2013). Acesso em 06 de Abril de 2015, disponível em Portal Educação: <https://www.portaleducacao.com.br/enfermagem/artigos/32335/frequencia-respiratoria-fr>
- Gasparotto, H. M. (2014). *Unity 3D: Introdução ao desenvolvimento de games*. Acesso em 06 de Novembro de 2015, disponível em DevMedia.
- Hover VR Interface Kit*. (s.d.). Acesso em 16 de Novembro de 2015, disponível em GitHub: <https://github.com/aestheticinteractive/Hover-VR-Interface-Kit>
- How to develop for the Oculus Rift with Unity Free*. (03 de Novembro de 2014). Acesso em 06 de Abril de 2015, disponível em VR Museum: <http://vrmuseum.nl/unity/>

- Hutchinson, L. (19 de Março de 2014). *Oculus Rift Dev Kit 2 launches with 960×1080 resolution, lower latency*. Fonte: Ars Technica: <http://arstechnica.com/gadgets/2014/03/oculus-rift-dev-kit-2-launches-with-960x1080-resolution-lower-latency/>
- Iwao, Y., Gotoh, T., Kagei, S., Iwasawa, T., & Tsuzuki, M. d. (29-31 de Agosto de 2012). Integrated Lung Field Segmentation of Injured Regions and Anatomical Structures from Chest CT Images. *8th IFAC Symposium on Biological and Medical Systems. The International Federation of Automatic Control.*, pp. 85-90.
- Iwao, Y., Gotoh, T., Kagei, S., Iwasawa, T., & Tsuzuki, M. d. (2014). Integrated lung field segmentation of injured region with anatomical structure analysis by failure–recovery algorithm from chest CT images. *Biomedical Signal Processing and Control 12 (2014)*, pp. 28-38.
- Iwao, Y., Wei, Y., Kagei, S., Gotoh, T., Iwasawa, T., & Tsuzuki, M. d. (3-7 de Julho de 2013). Fusion of Lung MR/CT Images Through Lung Vessel Registration. *35th Annual International Conference of the IEEE EMBS*, pp. 3419-3422.
- Leap Motion & Oculus VR: Frustrations & Future*. (14 de Outubro de 2014). Acesso em 11 de Abril de 2015, disponível em Simulator Trends: <http://simulatortrends.com/leap-motion-oculus-vr-frustrations-future/>
- Leap Motion Controller | Leap Motion*. (06 de Abril de 2015). Fonte: Leap Motion: <http://www.leapmotion.com>
- Lowry, P., Wilson, D., & Haig, W. (2014). A Picture is Worth a Thousand Words: Source Credibility Theory Applied to Logo and Website Design for Heightened Credibility and Consumer Trust. *International Journal of Human-Computer Interaction*, pp. 63-93.
- Mori, K., Hasegawa, J.-i., Suenaga, Y., & Toriwaki, J.-i. (2000). Automated Anatomical Labeling of the Bronchial Branch and Its Application to the Virtual Bronchoscopy System. *IEEE TRANSACTIONS ON MEDICAL IMAGING*, vol 19, no 2, pp. 103-114.
- Mori, K., Hasegawa, J.-i., Toriwaki, J.-i., Anno, H., & Katada, K. (1996). Recognition of Bronchus in Three-Dimensional X-ray CT Images with Applications to Virtualized Bronchoscopy System. *Proceedings of ICPR 96*, pp. 528-532.
- Oculus Rift - Virtual Reality Headset for 3D Gaming | Oculus VR®*. (2015). Acesso em 06 de Abril de 2015, disponível em Oculus: <http://www.oculus.com/>

Pausch, R., Proffitt, D., & Williams, G. (1997). *Quantifying Immersion in Virtual Reality*.

Qual será o futuro dos games? (Agosto de 2015). Acesso em 16 de Novembro de 2015, disponível em Alvanista: <http://alvanista.com/donabbade/posts/3132591-qual-sera-o-futuro-dos-games>

QuickSwitch. (30 de Janeiro de 2015). Acesso em 16 de Novembro de 2015, disponível em Leap Motion Developer Portal: <https://developer.leapmotion.com/gallery/quick-switch>

Render Baking. (s.d.). Fonte: Blender Reference Manual: <https://www.blender.org/manual/render/workflows/bake.html>

Sato, A. K., Stevo, N. A., Tavares, R. S., Tsuzuki, M. d., Kadota, E., Gotoh, T., . . . Iwasawa, T. (2011). Registration of temporal sequences of coronal and sagittal MR images through respiratory patterns. *Biomedical Signal Processing and Control* 6 (2011), pp. 34-47.

Tsuzuki, M. d., Takase, F. K., Garcia, M. A., & Martins, T. d. (Outubro-Dezembro de 2007). Converting CSG models into Meshed B-Rep Models Using Euler Operators and Propagation Based Marching Cubes. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, Vol. XXIX, No. 4, pp. 337-344.

Tsuzuki, M., Takase, F., Gotoh, T., Kagei, S., Asakura, A., Iwasawa, T., & Inoue, T. (2009). Animated solid model of the lung constructed from unsynchronized MR sequential images. *Computer-Aided Design* 41 (2009), pp. 573-585.

Unity - Game Engine. (06 de Abril de 2015). Fonte: Unity : <http://unity3d.com/pt>

Unity - Scripting API. (s.d.). Acesso em 06 de Abril de 2015, disponível em Unity: <http://docs.unity3d.com/ScriptReference/>