

ANDREI RAFAEL BRONGEL

**UMA APLICAÇÃO PARA MESA DIGITAL DE
DISSECAÇÃO DE CORPOS HUMANOS PARA
O ESTUDO DE ANATOMIA**

Curitiba - PR, Brasil

2020

ANDREI RAFAEL BRONGEL

**UMA APLICAÇÃO PARA MESA DIGITAL DE
DISSECAÇÃO DE CORPOS HUMANOS PARA O
ESTUDO DE ANATOMIA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática da Pontifícia Universidade Católica do Paraná como requisito para obtenção do título de mestre em Informática.

Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR

Programa de Pós-Graduação em Informática - PPGIa

Orientador: PROF. DR. EDSON JOSÉ RODRIGUES JUSTINO

Curitiba - PR, Brasil

2020

ANDREI RAFAEL BRONGEL

UMA APLICAÇÃO PARA MESA DIGITAL DE DISSECAÇÃO DE CORPOS HUMANOS PARA O ESTUDO DE ANATOMIA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática da Pontifícia Universidade Católica do Paraná como requisito para obtenção do título de mestre em Informática.

Trabalho aprovado. Curitiba - PR, Brasil, 28 de Novembro de 2020:

**PROF. DR. EDSON JOSÉ
RODRIGUES JUSTINO**
Orientador(a)

Prof. Dr. Flávio de Almeida e Silva
Convidado 1

Prof. Dr. Edson Emílio Scalabrin
Convidado 2

Curitiba - PR, Brasil
2020

Agradecimentos

Agradeço ao professor Edson Justino por acompanhar e guiar este trabalho, a todos meus amigos do CIIM e familiares que, de alguma forma, ajudaram a tornar este trabalho possível.

Resumo

O estudo de anatomia humana é um requerimento em diversos cursos da área de saúde, mas a disponibilidade de cadáveres vem sendo reduzida. Instituições podem buscar alternativas aos corpos reais no estudo digital de anatomia, o que muitas vezes compromete cor, textura e forma dos elementos representados. Uma base de imagens como a do *The Visible Human Project*(VHP), por apresentar imagens reais e em alta definição de corpos completos, são um bom ponto de partida para o desenvolvimento de aplicações e simuladores. Apesar disso, poucos são os trabalhos que utilizam as bases do VHP para o desenvolvimento de modelos em sua forma original, sem modificações. Motivado por isso, foi elaborado pelo Centro de Inovações em Imagens Médicas da Pontifícia Universidade Católica do Paraná o projeto de mesa virtual para o estudo de anatomia, do qual faz parte este trabalho. Foram aplicados métodos para a otimização dos dados das duas bases do VHP disponíveis, permitindo seu uso na criação de modelos volumétrico de corpo inteiro interativos, destinados ao uso no projeto de mesa digital de dissecação.

Palavras-chave: Aplicação Interativa, Modelo Volumétrico, Mesa de Dissecação Digital, Estudo Digital de Anatomia, *The Visible Human Project*.

Abstract

The study of anatomy is a requirement in many health related courses, but the availability of corpses is being reduced. Institutions may find alternatives in the virtual teaching of anatomy, usually compromising color, texture and shape of the presented elements. An image database such as that of *The Visible Human Project*(VHP), for having real images of complete bodies in high resolution, is a good starting point for the development of applications and simulators. Despite that, not many works use the VHP databases as they are, without modifications. Driven by this, the Center of Innovation in Medical Images from Pontifical Catholic University of Paraná conceived the project of a digital table for the study of anatomy, of which this work is a part of. Methods were applied to optimize the data from both the available VHP databases, allowing their use in the creation of full-body interactive volumetric models, made for the use in the digital dissection table.

Keywords: Interactive Application, Volumetric Model, Digital Dissection Table, Digital Anatomy Study, The Visible Human Project.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Imagem colorida do VHP.	7
Figura 2 – Modelo tridimensional formado por vértices e triângulos.	8
Figura 3 – Jogo Digital que utiliza rasterização e malhas tridimensionais.	9
Figura 4 – Benchmark de Ferramentas	12
Figura 5 – Remoção do fundo azul	12
Figura 6 – Ilustração dos planos de corte em 3D.	14
Figura 7 – Comparação das dimensões das bases, escala indefinida.	15
Figura 8 – Imagens resultantes por plano	17
Figura 9 – Separação de memória do computador para o software.	20
Figura 10 – Coordenadas extremas de tela ou imagens	22
Figura 11 – Exemplos de interatividade	25
Figura 12 – Processo de desenho	25
Figura 13 – Esquema de translações necessárias para cada corte.	26
Figura 14 – Efeito de estrias	27
Figura 15 – Passos de desenho	28
Figura 16 – Parte do modelo de visualização volumétrica em modo estereoscópico.	28
Figura 17 – Parte do modelo de visualização volumétrica com adição de sombreamento.	29
Figura 18 – Fluxo de telas	30
Figura 19 – Dial dinâmico.	31
Figura 20 – Modelo volumétrico com transparência.	32
Figura 21 – Menu rotativo de peças.	32
Figura 22 – Sistemas digestório e circulatório com transparências diferentes.	33
Figura 23 – Etiquetas não nomeadas em pontos do modelo.	34
Figura 24 – Funcionamento da ferramenta de plano de corte	35
Figura 25 – Janelas de exames coronais, três maximizadas no centro da imagem e cinco minimizadas na parte inferior.	36
Figura 26 – Exemplo de deslocamentos horizontais na reconstrução da base UHD coronal.	38

Lista de tabelas

Tabela 1 – Estrutura do arquivo auxiliar.	18
Tabela 2 – Tamanhos das bases de imagens em bytes.	20
Tabela 3 – Relação de imagens similares.	21

Lista de abreviaturas e siglas

2D	Duas Dimensões
3D	Três Dimensões
CIIM	Centro de Inovações em Imagens Médicas
CSEDU	International Conference on Computer Supported Education
F2S2	Full Frame Spherical Scanner
GB	Gigabyte
HD	High Definition
HDD	Hard Disk Drive
PNG	Portable Network Graphics
PUCPR	Pontifícia Universidade Católica do Paraná
RAM	Random Access Memory
SDL	Simple Directmedia Layer
SSD	Solid State Drive
TB	Terabyte
UHD	Ultra High Definition
VHP	Visible Human Project
VKH	Visible Korean Human
VHT	Visible Human Table

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivo Geral	2
1.2	Objetivos Específicos	2
1.3	Justificativa	2
1.4	Motivação	2
1.5	Contribuições	3
1.6	Organização	3
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
2.1	Considerações Iniciais	5
2.2	O Estudo da Anatomia Humana	5
2.2.1	Dissecação de Cadáveres	5
2.2.2	Ferramentas virtuais de aprendizado	5
2.3	Bases de Corpos Humanos	6
2.4	Técnicas de Renderização	8
2.4.1	Rasterização	8
2.4.2	Representação volumétrica	9
3	MATERIAIS E MÉTODOS	11
3.1	Considerações iniciais	11
3.2	Infraestrutura	11
3.2.1	Mesa Digital e Hardware	11
3.2.2	Softwares Utilizados	11
3.2.3	Bases de Dados Utilizadas	12
3.3	Método Proposto	13
3.3.1	Processamento das bases	13
3.3.2	Indexação de exames	18
3.3.3	Geração do Modelo de Visualização Volumétrica	21
3.3.4	Software	29
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	37
4.1	Análise dos métodos de processamento das bases.	37
4.2	Análise do Modelo de Visualização Volumétrica	38
4.3	Análise de usabilidade da mesa digital	39
5	CONCLUSÃO	41

5.1	Trabalhos Futuros	41
	REFERÊNCIAS	43

1 Introdução

O estudo da anatomia humana é essencial em diversos cursos ligados à saúde, e o uso de cadáveres é visto como importante ferramenta no processo de aprendizado de anatomia. No entanto, a atual baixa disponibilidade de corpos humanos destinados a estudo impõe um grande desafio às instituições de ensino, que ficam sem materiais suficientes para atender às suas necessidades (CORDEIRO; MENEZES, 2019).

Como possível forma de reduzir a dependência de corpos reais pelas instituições, existem aplicações interativas, como atlas anatômicos ou simuladores, que podem ser utilizados para ensino, ou até mesmo para treinamento de profissionais. E quando tratamos de ferramentas que precisam preparar as pessoas para situações reais, é importante que a representação virtual seja capaz de reproduzir fielmente a realidade (Dawson; Kaufman, 1998).

Uma das ferramentas já disponível em algumas universidades ao redor do mundo é a *Anatomage Table*, uma mesa de dissecação virtual que apresenta um modelo completo do corpo humano (ANATOMAGE INC.). Alguns estudos mostram que o uso desta ferramenta específica é geralmente aprovado por estudantes como forma de aprendizado complementar ao uso de cadáveres (Kazoka, Dzintra; Pilmane, Mara, 2019).

Projetos como o *Visible Human Project* (VHP) (ACKERMAN, 1998), que fez a digitalização completa de dois corpos humanos, podem ser utilizados como base para o desenvolvimento de aplicações relacionadas ao estudo de anatomia e, por conterem dados de cor vindos de corpos reais e em alta resolução, satisfazem o requisito de proporcionar visualizações realísticas. Adicionalmente, por se tratarem de bases com dados volumétricos, permitem a construção de modelos de visualização tridimensional de alta qualidade, ainda que tal feito necessite de grande poder computacional.

Quando as imagens do VHP foram concebidas, o tamanho das bases impossibilitava o uso direto das mesmas em aplicações em tempo real. Por isso, havia a necessidade de modificar as imagens ou transformá-las em outros tipos de dados para utilização em trabalhos como o *Voxel Man*, por exemplo (SCHIEMANN et al., 2000). Analisando as melhorias nas áreas de computação gráfica e a falta de projetos que utilizassem as imagens do VHP em sua máxima qualidade, o Centro de Inovações em Imagens Médicas (CIIM) da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), elaborou o projeto de uma mesa de dissecação virtual de anatomia.

Para concretizar a *Visible Human Table* (VHT), nome dado à mesa digital, várias pesquisas foram iniciadas, para preparar as bases do VHP e para o desenvolvimento da aplicação em si. Neste trabalho, especificamente, foram desenvolvidos os métodos que

proporcionam a visualização volumétrica dos corpos do VHP inteiros e em tempo real, aplicados na mesa digital.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver de um método de visualização volumétrica interativa, sem o uso de técnicas de renderização tradicionais e a partir da base de dados do VHP, visando a incorporação em mesa digital para o estudo de anatomia.

1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desse trabalho são:

- Desenvolver visualização volumétrica de corpo inteiro, a partir das imagens dos dois corpos do VHP.
- Criar associação entre imagens coloridas do VHP e imagens de tomografia e ressonância.
- Permitir a visualização e navegação, em alta definição, dos planos de corte coronal e sagital, para as bases do VHP.

1.3 Justificativa

O estudo de anatomia utiliza, desde seus primórdios, cadáveres como um dos meios principais de aprendizagem. Com a baixa disponibilidade de corpos e os fatores negativos apresentados pelos laboratórios de anatomia, como o uso de produtos químicos, há uma necessidade de alternativas que reduzam essa dependência.

Apesar das ferramentas digitais disponíveis para o ensino de anatomia se mostrarem promissoras, ainda são utilizados modelos meramente baseados em dados reais. Com o acesso às bases do *Visible Human Project*, notou-se a possibilidade da criação de modelos de visualização mais realísticos dos que os disponíveis atualmente.

1.4 Motivação

A motivação para a realização deste trabalho está em explorar as bases do VHP, de novas formas, para criar modelos de visualização que representem fielmente os corpos reais utilizados para o ensino de anatomia humana. Acredita-se que, após os avanços tecnológicos das últimas décadas, possa-se extrair novos resultados destas bases, que já foram ponto de partida de inúmeros outros trabalhos.

1.5 Contribuições

As contribuições deste trabalho são as seguintes:

- Viabilização da construção de nova ferramenta de estudo virtual de anatomia.
- Desenvolvimento de métodos de melhoria de performance para apresentação de imagens de alta resolução.

1.6 Organização

Esta dissertação está organizada em cinco capítulos. O primeiro é a introdução, que apresenta objetivos, desafios, motivações e contribuições do trabalho.

No segundo capítulo são apresentados, para contextualização, um breve resumo da história do estudo da anatomia humana e exemplos do uso de computadores no aprendizado de anatomia.

O terceiro capítulo trata do método proposto, abrangendo os materiais utilizados, o processamento das bases de imagens usadas no projeto, bem como as etapas do desenvolvimento e aperfeiçoamentos de um modelo volumétrico do corpo humano e dos elementos de interface desenvolvidas para o software produzido.

No quarto capítulo os métodos desenvolvidos são analisados, sendo apresentadas possíveis soluções para os problemas encontrados no decorrer do projeto.

Por fim, o quinto capítulo contém as conclusões e trabalhos futuros desta dissertação de mestrado.

2 Fundamentação Teórica

2.1 Considerações Iniciais

Neste capítulo é feita uma breve revisão da história do estudo de anatomia, tanto pelo uso de cadáveres como por meios virtuais. Também são apresentados alguns conceitos em relação à renderização de objetos tridimensionais.

2.2 O Estudo da Anatomia Humana

Nos cursos ligados à saúde, em diversas instituições, o estudo de anatomia é um requerimento, principalmente com a utilização de corpos reais. É grande a importância desta modalidade de estudo do corpo humano (CHAGAS, 2001).

Cadáveres humanos disponíveis são um recurso escasso e não reutilizável, e muitas instituições de ensino passam por dificuldades na obtenção dos mesmos (CORDEIRO; MENEZES, 2019). Métodos virtuais de ensino são uma das formas de aliviar a necessidade de corpos reais, porém a complexidade da anatomia humana gera diversos desafios computacionais, dificultando a criação de aplicações que representem fielmente as nuances do corpo humano, uma necessidade para simuladores desta natureza (Dawson; Kaufman, 1998).

2.2.1 Dissecção de Cadáveres

Como revisado em GHOSH(2015), a dissecção de corpos humanos para aprendizado é utilizada desde o século III A.C, na antiga Grécia. A obtenção de cadáveres para estudos anatômicos mudou com o passar do tempo, principalmente por motivos religiosos.

A dificuldade de obtenção de cadáveres é um desafio enfrentado por anatomistas e instituições de ensino, que no passado chegou a levar, em alguns países, à aquisição por meios ilegais (MAGEE, 2001). Atualmente, em maior parte das instituições de ensino do mundo, a obtenção de corpos para estudo é feita unicamente por meio de doações voluntárias para este propósito.

2.2.2 Ferramentas virtuais de aprendizado

Existem diversas aplicações e simuladores da área médica que podem ser utilizados para o aprendizado da anatomia humana. Apesar disso, a efetividade dessas ferramentas é questionável, como verificado por BIASUTTO; CAUSSA; RÍO(2006), trabalho no qual, no

entanto, é concluído que a literatura nessa área é principalmente baseada em experiências próprias e comentários.

A mesa de dissecação digital *Anatomage* é utilizada por diversas universidades ao redor do mundo ([ANATOMAGE INC.](#)), e diversos trabalhos tratam da utilização dela no ensino de anatomia. Em [FYFE; FYFE; DYE\(2013\)](#) é elencado que alguns estudantes que fazem uso de mesas digitais são críticos da qualidade visual de modelos digitais, o que pode levá-los o interesse em aprender anatomia com o auxílio de computadores.

Uma das vantagens de mesas virtuais de dissecação, quando comparadas à dissecação de cadáveres reais, é evitar a exposição dos estudantes a produtos químicos, como o formol, presentes nos laboratórios físicos. Apesar de algumas limitações, [WASHMUTH et al.\(2020\)](#) mostrou, com o uso da *Anatomage*, que a utilização exclusiva de um ambiente virtual pode levar a resultados similares aos obtidos apenas com a utilização de cadáveres.

Ferramentas virtuais tendem a estar cada vez mais presentes nas instituições de ensino, existindo poucos indícios do impacto, positivo ou negativo, delas no ensino de anatomia ([MCLACHLAN et al., 2004](#)). Assim, pode-se concluir que são necessários mais estudos que analisem a influência do uso de materiais digitais no estudo da anatomia humana. Também se verifica a importância da qualidade visual para uma aplicação que visa substituir o uso de corpos reais ou apoiar o ensino com materiais reais.

2.3 Bases de Corpos Humanos

Com os avanços tecnológicos nas áreas da computação e fotografia, surgiu o desejo pela digitalização de dados reais, incluindo bases de imagens completas de corpos humanos.

O Visible Human Project([ACKERMAN, 1998](#)), é um exemplo de deste tipo de base de imagens. No projeto, dois cadáveres foram submetidos a diversos exames de tomografia e ressonância. Depois, passaram pelo processo de congelamento, seguido de corte seccional de cima para baixo, com cada secção sendo fotografada em cor([Figura 1](#)), gerando uma base de dados de imagens coloridas com informações completas do corpo humano em alta definição. No VHP, o corpo masculino foi submetido a cortes de 1mm, e o feminino a cortes de 0,33mm. Algumas secções não estão presentes nas duas bases do VHP, pois os blocos de gelo contendo os cadáveres foram previamente divididos em quatro blocos menores ([SPITZER et al., 1996](#)).

Uma situação que ocorreu devido à forma de aquisição das imagens do VHP foram deslocamentos entre as imagens, que não ficaram corretamente alinhadas umas às outras. Nos projetos *AustinMan* e *AustinWoman*([Massey; Yilmaz, 2016](#)) foram desenvolvidas correções para alguns deslocamentos mais perceptíveis, como observado em [BEYLOT, P. et al.\(1996\)](#).

Figura 1 – Imagem colorida do VHP.



Fonte: <https://www.nlm.nih.gov/databases/download/vhp.html>

Além dos projetos em dois cadáveres, masculino e feminino, realizados pelo VHP nos Estados Unidos, foram aplicados os métodos do VHP em projetos na China(ZHANG; HENG; LIU, 2006) e na Coréia(Jin Seo Park et al., 2005). Na execução do *Visible Korean Human*(VKH), foram verificadas algumas falhas presentes no VHP, sendo tomadas medidas para corrigir tais falhas. Assim, foi determinado pelo VKH que, para melhor aproveitamento do material, as imagens devem ser obtidas em um único bloco, que deve ser seccionado de baixo para cima, evitando a perda de imagens anatômicas relevantes e evitando a retirada indesejada de fragmentos devido à pressão exercida pelos equipamentos quando o processo é feito de cima para baixo. Outro aspecto importante notado pelo VKH é que o tamanho de um pixel e a distância entre cada uma das secções devem ser iguais, para possibilitar a geração de elementos de volume, ou *voxels*, regulares.

Apesar dos avanços na geração de bases de imagens humanas obtidas por estes projetos, em SPITZER; SCHERZINGER é constatado que, para atingir melhores níveis de aprendizado com o uso destas bases, é necessária a criação de diversos novos projetos, principalmente buscando a representação de mais cadáveres de diferentes regiões, gêneros e idades, por exemplo.

2.4 Técnicas de Renderização

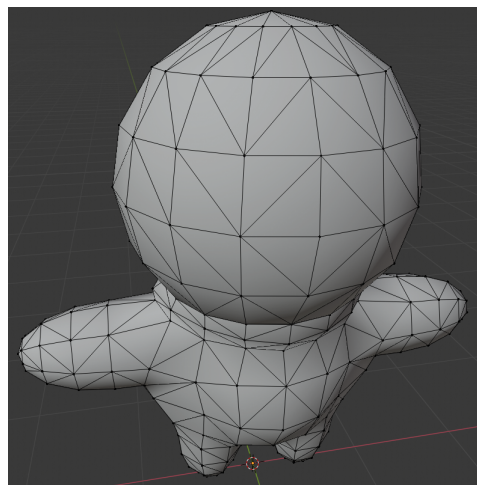
Ao processo de transformação de vários tipos de dados em um único resultado final é dado o nome de renderização. Em aplicações gráficas interativas, a renderização é o processo de conversão de diferentes dados, como modelos tridimensionais, imagens ou elementos de interface, que são compostos em uma única imagem, apresentada ao usuário em uma tela ([CONTROLE NET TECNOLOGIA LTDA](#)).

Ao tratar da renderização de objetos tridimensionais, existem diferentes abordagens que podem ser utilizadas, dependendo do tipo de dado tridimensional sendo utilizado.

2.4.1 Rasterização

Uma técnica de renderização comumente utilizada para apresentar objetos tridimensionais é chamada de rasterização. Esta técnica se resume em transformar malhas compostas de vértices e triângulos ([Figura 2](#)), vindas de um espaço tridimensional, em pontos coloridos bidimensionais na tela do computador ([Machover; Myers, 1984](#)).

Figura 2 – Modelo tridimensional formado por vértices e triângulos.



Fonte: Autoria Própria

Na rasterização, durante a conversão de texturas de coordenadas locais para valores na tela, é comum que dada textura sofra transformações de escala ou rotação e, quando isso acontece, não é claro qual valor de cor deve ser copiado para a tela. Em geral, ferramentas utilizam diferentes filtros para decidir quais cores serão escolhidas, como o filtro de vizinho mais próximo ou o filtro linear.

No filtro de vizinho mais próximo, um único pixel, mais próximo do ponto desejado, é selecionado. Esta abordagem pode causar artefatos, principalmente quando o tamanho da imagem é reduzido. Já no filtro linear, um conjunto de pixels é considerado na escolha

da cor final, o que também pode gerar artefatos, ao fazer a mistura de diferentes pixels (TUNNEL; JAGGO; LUIK).

Uma das características principais da rasterização é a eficiência na exibição dos resultados. Muitas placas gráficas possuem hardware especializado em executar as operações matriciais requeridas pela rasterização. Assim, a técnica é muito utilizada em jogos digitais (Figura 3), aplicações interativas que requerem que o computador reaja quase instantaneamente às ações do usuário.

Figura 3 – Jogo Digital que utiliza rasterização e malhas tridimensionais.



Fonte: Autoria Própria

Como ponto negativo, esta abordagem não permite a apresentação de dados volumétricos, sem antes transformar tais dados em modelos formados por vértices e triângulos. Embora existam procedimentos que permitam fazer esta transformação, eles muitas vezes geram resultados que levam à perda ou deformação dos dados originais.

2.4.2 Representação volumétrica

Bases de dados como a do VHP são consideradas bases volumétricas, pois elas contêm dados nos eixos de altura, largura e profundidade. Essa quantidade de dados permite, em teoria, que um objeto seja representado em qualquer orientação com alta fidelidade visual, uma vez que o valor de cor de qualquer ponto do objeto está presente na base de dados, com a única limitação sendo a resolução do volume. A renderização volumétrica ajuda a entender melhor um objeto, pois não se limita apenas à renderização da superfície, permitindo a navegação pelo objeto e a visualização de dados internos (OMNISCI).

Para representar computacionalmente dados de imagem volumétricos, existem diversas técnicas. Uma destas técnicas é chamada de *Volumetric Raycasting*, na qual

raios de luz são simulados na direção dos dados volumétricos, retornando um valor de cor. Apesar de permitir gerar resultados fotorealísticos, a técnica impõe um alto custo de processamento computacional. Por isso, até poucos anos, o seu uso era limitado à produtos não-interativos, como animações gráficas ou fotografias estáticas ([NVIDIA](#)).

3 Materiais e Métodos

3.1 Considerações iniciais

Todos os materiais utilizados e processos desenvolvidos e executados para possibilitar a criação da VHT são discutidos neste capítulo.

3.2 Infraestrutura

3.2.1 Mesa Digital e Hardware

Para o desenvolvimento da mesa digital desenvolvida no CIIM, na qual foram implantados os métodos desenvolvidos nesta pesquisa, precisou ser estabelecido um hardware específico, capaz de executar em tempo real o software desenvolvido. No laboratório do CIIM foi mensurado e montado, com a ajuda de Lucas Murbach Pierin, o seguinte hardware. 128GB de memória RAM, dois SSDs com capacidades de armazenamento de 1TB e 120GB, HDD com 1GB de espaço de armazenamento, processador *Intel® Core™ i9*, sistema operacional *Windows 10* de 64 bits, placa gráfica *NVidia GTX 1080 Ti* e televisor *Smart TV 4k Ultra HD Samsung*.

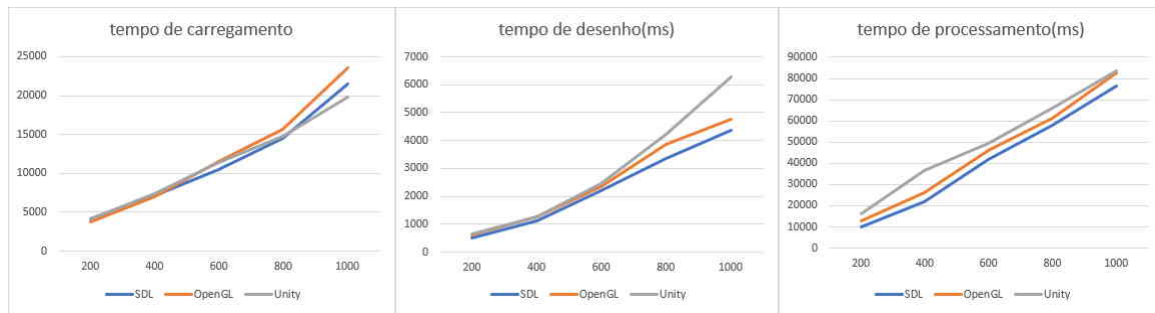
3.2.2 Softwares Utilizados

Para a criação dos softwares de apoio utilizados para aprimorar e gerar novas bases, foi utilizada a biblioteca SDL, que possui uma extensão denominada *SDL IMAGE*, capaz de manipular imagens em diversos formatos. A mesma biblioteca também foi utilizada, com adição de suas extensões *SDL TTF* para a leitura de fontes de texto e *SDL MIXER* para o controle de efeitos sonoros, para o desenvolvimento do software principal da mesa.

Para sustentar a escolha da SDL, foi desenvolvido um teste de *benchmark* entre SDL, Unity e OpenGL, no qual diferentes quantidades de imagens foram carregadas, processadas e exibidas em diferentes configurações de posição, escala e rotação. No teste, conforme Figura 4, a biblioteca SDL se mostrou mais rápida na tarefa de desenho de grande quantidade de texturas, fator principal para garantir a interatividade do software.

Adicionalmente, por se tratar de ferramenta simples de desenvolvimento, os executáveis gerados são menores do que aqueles criados por *engines* como a *Unity*. Por fim, a licença de uso da ferramenta permite sua utilização gratuita em qualquer software, incluindo uso comercial, de interesse pela PUCPR.

Figura 4 – Benchmark de Ferramentas



Fonte: Autoria Própria

3.2.3 Bases de Dados Utilizadas

Este projeto fez uso das duas bases de imagens de corpos humanos (masculino e feminino) do *Visible Human Project*, publicamente disponíveis para uso pela *National Library of Medicine*. Das imagens coloridas do plano axial, foram utilizadas todas as 1.871 da base masculina e 5.189 da base feminina. Quanto às bases de exames, foram utilizadas todas as imagens da base masculina do VHP. Da base feminina de exames, foram utilizadas apenas as imagens de tomografia.

As imagens do VHP possuem áreas de coloração azul em sua parte externa e em algumas partes do interior das fatias, provenientes do bloco de gelo no qual o corpo foi originalmente posicionado antes da aquisição das imagens. Tais áreas são desinteressantes para o estudo do corpo humano e, por isso, foram incluídas no projeto as bases segmentadas com o uso de SVMs, desenvolvidas por [BROBOUSKI\(2020\)](#).

Figura 5 – Remoção do fundo azul



Fonte: Autoria Própria

O uso das bases segmentadas citadas permite a reconstrução do corpo em modelo volumétrico como um todo, mas impossibilita a análise individual de diferentes sistemas. Para prover esta funcionalidade, foram utilizadas bases de imagens de diferentes sistemas individuais, também produzidas em [BROBOUSKI\(2020\)](#).

3.3 Método Proposto

Nesta seção são descritos os processos de preparação de bases de imagens e os passos do desenvolvimento do software de mesa digital de estudo de anatomia.

3.3.1 Processamento das bases

No estudo de anatomia, o uso de mais de um plano de corte é comum. No entanto, as bases do VHP só contemplam o plano axial, com as imagens da cabeça aos pés. Para permitir a visualização das bases coronal e sagital, foi aplicado um algoritmo que gera as novas bases a partir da base axial.

Existe também, nas bases do VHP, uma desassociação entre as imagens coloridas e as imagens de ressonância e tomografia. Assim, foi desenvolvido uma fórmula para que essa associação acontecesse.

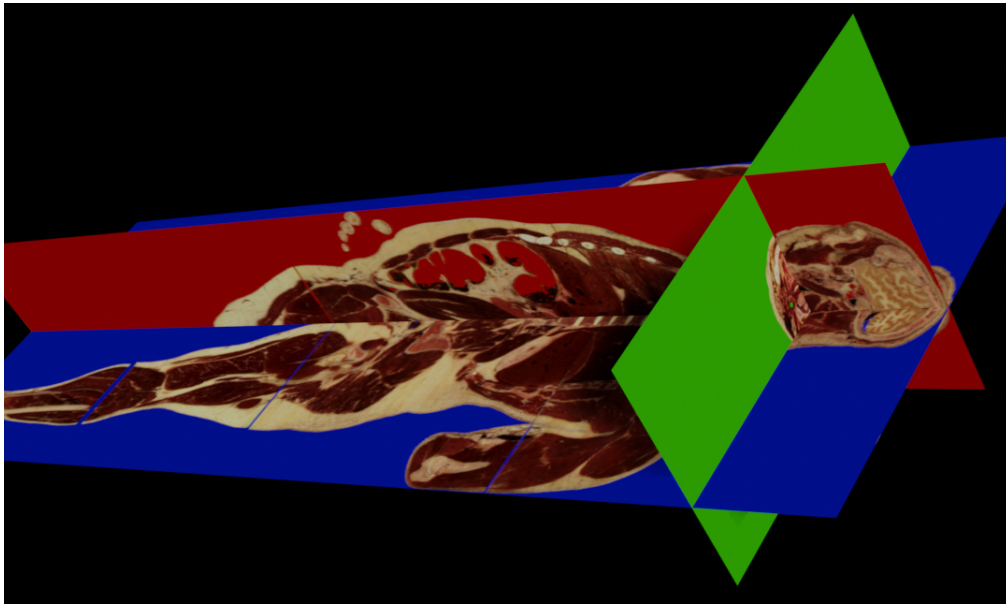
Geração de planos de corte

Para o estudo da anatomia, usualmente são utilizados três planos de corte: o axial, o coronal e o sagital. Cada plano representa o fatiamento da peça em diferentes direções, o axial verticalmente, o sagital lateralmente e o coronal em profundidade. Os planos são ilustrados na Figura 6, na qual os planos, sagital, axial e coronal são representados pelas cores vermelho, verde e azul, respectivamente. Devido a forma destrutiva de aquisição das imagens do VHP, se tornou fisicamente impossível fotografar imagens para os planos coronal e sagital. Por ser interessante e importante visualizar as imagens do corpo humano nos três planos de corte principais, foi aplicado um algoritmo que gera digitalmente novas bases de dados a partir do único plano disponível no VHP, o axial.

Uma imagem em um computador é composta por um vetor bidimensional, com cada elemento sendo responsável por representar os quatro canais de cor de determinado pixel. Cada elemento deste vetor bidimensional, daqui em diante chamado de coordenada, possui dois índices que indicam, na mesma ordem, a posição do pixel horizontalmente e verticalmente. O processo de geração das bases é resumido na conversão de coordenadas das imagens axiais originais em coordenadas de novas imagens, sagitais ou coronais.

Primeiramente é necessário definir como as novas imagens serão compostas. Para este trabalho foi decidido que as imagens coronais e sagitais seriam criadas horizontalmente, com a cabeça à direita e os pés a esquerda. Quanto à indexação, foi escolhida arbitrariamente que as imagens coronais seriam indexadas de cima para a baixo e as sagitais da esquerda para a direita, definições representadas pela Figura 7. Dado isto, pode-se obter as dimensões em pixels de cada uma das novas imagens geradas. Ficando o plano coronal com altura igual à largura da base axial e o plano sagital tem a mesma altura do plano axial. Já a largura de cada imagem das novas bases é igual ao número de fatias da base axial. Outra

Figura 6 – Ilustração dos planos de corte em 3D.



Fonte: Autoria Própria

dimensão dependente da base axial é o número de imagens nas novas bases, fazendo com que as bases coronal e sagital tenham, na mesma ordem, quantidades de imagens iguais a altura e largura da base original.

O primeiro passo para o algoritmo de criação de bases é a conversão das coordenadas da imagem axial para coordenadas das novas imagens. Os algoritmos 1 e 2 apresentam a transformação de uma coordenada nos planos coronal e sagital, respectivamente. Nos algoritmos deste trabalho, ponto é uma estrutura com dois valores inteiros x e y . As entradas necessárias para cada uma das funções são a coordenada original da imagem axial, o número da fatia axial a ser processada e o número total de fatias axiais disponíveis. Todas as conversões assumem que a contagem dos pixels das imagens é feita da esquerda para a direita e de cima para baixo, iniciando-se no canto superior esquerdo.

Algoritmo 1: Algoritmo de transformação de coordenada axial para coordenada coronal em nova imagem

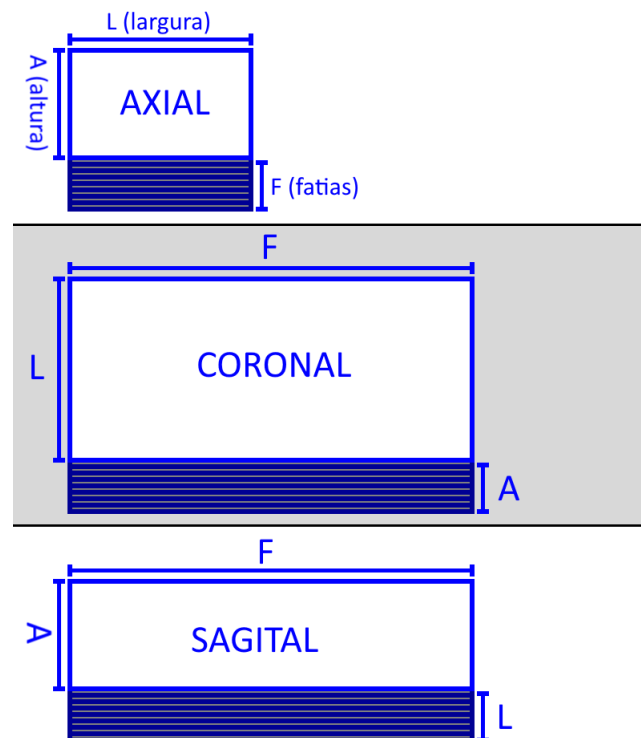
```

1 funcao para_coronal(coordenada: ponto, fatia_axial: inteiro, num_fatias: inteiro)
  : ponto
2   var nova_coordenada: ponto;
3   nova_coordenada.x = num_fatias - fatia_axial;
4   nova_coordenada.y = coordenada.x;
5   retorne nova_coordenada;
6 fim

```

Tendo as funções de conversão de coordenadas, torna-se possível a geração de novas

Figura 7 – Comparação das dimensões das bases, escala indefinida.



Fonte: Autoria Própria

Algoritmo 2: Algoritmo de transformação de coordenada axial para coordenada sagital em nova imagem

```

1 funcao para_sagital(coordenada: ponto, fatia_axial: inteiro, num_fatias: inteiro) :
  ponto
2   var nova_coordenada: ponto;
3   nova_coordenada.x = num_fatias - fatia_axial;
4   nova_coordenada.y = coordenada.y;
5   retorne nova_coordenada;
6 fim

```

imagens por meio da cópia de pixels de cada uma das imagens axiais para novas imagens, em seus respectivos planos. Esta parte do processo é definida pelas seguintes operações: abertura das imagens axiais, cópia de pixels para as novas imagens e salvamento das novas imagens. Para cada imagem da base coronal, é copiada 1 linha horizontal de pixels da base axial, enquanto para a base sagital, 1 linha vertical é copiada. O Algoritmo 3 mostra, em pseudocódigo, o processo como um todo, supondo que a estrutura *imagem* contém uma variável *pixels* que, por sua vez, é um vetor bidimensional de pixel. No algoritmo, a função *carregar* retorna uma imagem do disco do computador, e a função *salvar* salva uma imagem em disco. Também é considerado que a variável *num_imagens* é um número inteiro que representa o número de imagens axiais disponíveis, *altura* e *largura* correspondem às

determinadas dimensões das imagens da base de dados original.

Algoritmo 3: Algoritmo completo de criação de novas bases

```

1 inicio
2   var imagens_axial: vetor[1..num_fatias] de imagem;
3   para i de 1 a num_fatias faça
4     |   imagens_axial[i] = carregar(i);
5   fimpara
6   var imagens_coronal: vetor[1..altura] de imagem;
7   para y de 1 a altura_axial faça
8     |   para fatia de 1 a num_fatias faça
9       |   para x de 1 a largura_axial faça
10        |   var coordenada: ponto;
11          |   coordenada.x = x;
12          |   coordenada.y = y;
13          |   var nova_coordenada: ponto;
14          |   nova_coordenada = para_coronal(coordenada, fatia, num_fatias);
15          |   var px: pixel;
16          |   px = imagens_axial[fatia].pixels[x, y];
17          |   imagens_coronal[y].pixels[nova_coordenada.x, nova_coordenada.y]
18          |   = px;
19        |   fimpara
20      |   fimpara
21      |   salvar(imagens_coronal[y]);
22    |   fimpara
23    |   var imagens_sagital: vetor[1..largura] de imagem;
24    |   para x de 1 a largura_axial faça
25      |   para fatia de 1 a num_fatias faça
26        |   para y de 1 a altura_axial faça
27          |   var coordenada: ponto;
28          |   coordenada.x = x;
29          |   coordenada.y = y;
30          |   var nova_coordenada: ponto;
31          |   nova_coordenada = para_sagital(coordenada, fatia, num_fatias);
32          |   var px: pixel;
33          |   px = imagens_axial[fatia].pixels[x, y];
34          |   imagens_sagital[x].pixels[nova_coordenada.x, nova_coordenada.y]
35          |   = px;
36        |   fimpara
37      |   fimpara
38    |   salvar(imagens_sagital[x]);
39  |   fimpara
40  fim

```

Após a execução destes algoritmos, obtém-se o resultado apresentado pela Figura 8. Nota-se que a base masculina fica com aparência achatada nos novos planos, o que

é resultado da baixa quantidade de imagens no plano axial. Este problema é corrigido posteriormente, dentro do software da VHT, como explicado na subseção 3.3.4.

Figura 8 – Imagens resultantes por plano



Fonte: Autoria Própria

Melhorias de desempenho

As imagens utilizadas neste trabalho, com o fundo transparente, ocupam um grande espaço quando carregadas na memória de um computador, apesar de não ocupar a mesma quantidade em disco. Isto se deve ao fato de que, quando em disco, as imagens utilizam a compressão sem perda do formato *Portable Network Graphics*(PNG), que é impossível quando já em memória, aonde os dados dos pixels são armazenados de forma contínua e sem compressão, para aumentar a velocidade de acesso aos dados. Em memória RAM ou de placa de vídeo, uma imagem com suporte à transparência comumente ocupa 32 bits de memória por pixel, 8 para cada um dos 4 canais de cor.

Foi percebido que a memória disponível na máquina utilizada por este trabalho não era suficiente para atingir o nível de interatividade desejado. Por este motivo um algoritmo de processamento de imagens foi desenvolvido e aplicado sobre todas as bases de dados utilizadas no projeto. O objetivo do algoritmo é realizar um corte para remover todos os pixels transparentes, deixando apenas a área de interesse de cada imagem visível. É importante, por fatores que serão apresentados em seções subsequentes, que as coordenadas de corte sejam salvas pelo algoritmo em um arquivo auxiliar. A Tabela 1 apresenta a estrutura simplificada de tal arquivo, onde são primeiramente salvas largura e altura originais da base, seguidas de pares de dois valores inteiros, o primeiro sendo o ponto de corte esquerdo e o segundo sendo o ponto de corte superior.

O processo de corte é descrito pelo Algoritmo 4. Primeiramente, são identificadas

Tabela 1 – Estrutura do arquivo auxiliar.

2 bytes	2bytes
Largura original	Altura original
Corte Esquerdo(imagem 1)	Corte Superior(imagem 1)
Corte Esquerdo(imagem 2)	Corte Superior(imagem 2)
Corte Esquerdo(imagem 3)	Corte Superior(imagem 3)
...	...
Corte Esquerdo(imagem N)	Corte Superior(imagem N)

Fonte: Autoria Própria

as extremidades da área de interesse, processo feito pela checagem pixel a pixel de cada imagem, de forma a determinar uma área retangular que abrange todos os pixels visíveis. O segundo passo é a criação de uma nova imagem do tamanho da área identificada, seguido da cópia dos pixels da imagem original para a nova.

Após aplicação dos processos, o espaço em disco ocupado pelas bases de imagens não teve grande modificação em relação às bases originais, isto acontece por causa da diminuição de tamanho proporcionada pelo formato de arquivo de imagem PNG, que reduz o tamanho em disco das áreas de mesma cor de uma imagem. A Tabela 2 mostra, em bytes, os tamanhos em disco e em memória das bases de imagens utilizadas antes e depois da otimização.

O uso de uma placa gráfica dedicada só permite o desenho rápido das imagens armazenadas em sua memória de vídeo. Por este motivo, é preciso uma ordenação dos recursos enviados para ela. Não há espaço para todas as bases utilizadas, portanto são enviadas, nesta ordem: a base em ultra alta definição(UHD) axial, as bases UHD sagital e coronal, as imagens de exames, bases de imagens do *Full Frame Spherical Scanner*(F2S2)([OLSEN. et al., 2018](#)) e, por fim, os elementos gráficos da interface. Assim, é possível que toda a base axial, responsável pelo desenho do modelo volumétrico e que mais consome recursos de vídeo, esteja em sua totalidade na placa de vídeo. A Figura 9 mostra como essa divisão é feita. Nela, a linha tracejada é escolhida enquanto há espaço suficiente na memória de vídeo, sendo escolhida a linha contínua quando isto deixa de ser verdade.

3.3.2 Indexação de exames

Além das imagens coloridas das fatias dos corpos, o VHP contempla exames de ressonância magnética e tomografia realizados nos corpos. As tomografias foram realizadas sobre o corpo todo no plano axial. Já as ressonâncias foram realizadas em quatro modalidades, T1, T2 e densidade de prótons, na região do crânio no plano axial, nas regiões do tórax, abdômen, pélvis, coxas e pés para o plano coronal e em uma modalidade específica para o plano sagital, denominada LOC, nas regiões da cabeça, tórax, abdômen,

Algoritmo 4: Algoritmo completo de corte de imagens

```

1  inicio
2  |   var limite_esquerdo: inteiro;
3  |   var limite_direito: inteiro;
4  |   var limite_baixo: inteiro;
5  |   var limite_topo: inteiro;
6  |   limite_esquerdo = largura;
7  |   limite_direito = 0;
8  |   limite_baixo = 0;
9  |   limite_topo = altura;
10 |   para  $x$  de 1 a largura faça
11 |       |   para  $y$  de 1 a altura faça
12 |           |   var alfa: inteiro;
13 |           |   alfa = pixel_alfa( $x$ ,  $y$ );
14 |           |   se  $alfa > 0$  entao
15 |               |   se  $x > limite\_direito$  entao
16 |                   |   limite_direito =  $x$ ;
17 |                   |   fimse
18 |                   |   se  $x < limite\_esquerdo$  entao
19 |                       |   limite_esquerdo =  $x$ ;
20 |                       |   fimse
21 |                       |   se  $y > limite\_baixo$  entao
22 |                           |   limite_baixo =  $y$ ;
23 |                           |   fimse
24 |                           |   se  $y < limite\_topo$  entao
25 |                               |   limite_topo =  $y$ ;
26 |                               |   fimse
27 |                           |   fimse
28 |                       |   fimpara
29 |                   |   fimpara
30 |               |   para  $x$  de  $limite\_esquerdo$  a  $limite\_direito$  faça
31 |                   |   para  $y$  de  $limite\_topo$  a  $limite\_baixo$  faça
32 |                       |   var novo_x: inteiro;
33 |                       |   var novo_y: inteiro;
34 |                       |   novo_x =  $x - limite\_esquerdo$ ;
35 |                       |   novo_y =  $y - limite\_topo$ ;
36 |                       |   copiar( $x$ ,  $y$ , novo_x, novo_y);
37 |                   |   fimpara
38 |               |   fimpara
39 |   fim

```

pélvis e coxas. A base de exames completa contém 24 conjuntos de exames. Para aplicação na VHT, foi necessário realizar um processo manual de associação das imagens dos exames com as fotografias coloridas, devido a quantidade inferior de imagens de exames.

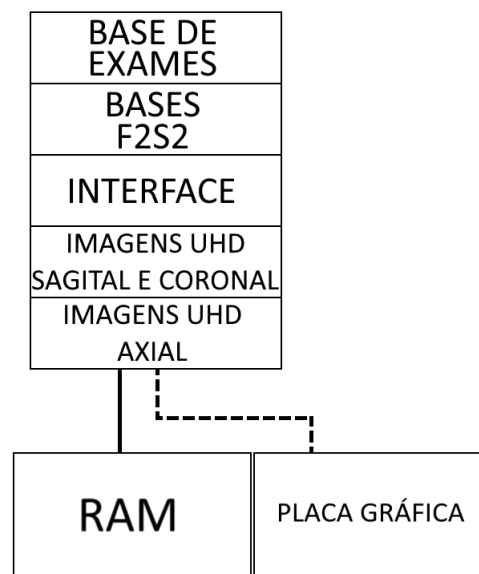
O processo de indexação dos exames é separado em duas etapas. Na primeira é

Tabela 2 – Tamanhos das bases de imagens em bytes.

Base de imagens	Tamanho original		Tamanho após corte		Redução em memória (%)
	Disco	Memória	Disco	Memória	
Feminina UHD	7.184.366.030	46.376.542.208	7.091.653.149	17.348.695.016	62,59
Masculina UHD	1.878.568.505	13.100.897.952	1.849.104.319	5.663.491.232	56,77

Fonte: Autoria Própria

Figura 9 – Separação de memória do computador para o software.



Fonte: Autoria Própria

feita a verificação visual por dois pares de imagens de exame e imagens coloridas que representem uma mesma fatia. Tendo estas duas imagens, em uma segunda etapa é possível calcular a quantidade de imagens disponíveis entre as imagens analisadas em cada base, podendo-se calcular assim a proporção entre bases. Dado esta proporção torna-se possível a navegação pelas bases, iniciando de um dos pares e utilizando saltos diferentes para cada uma, de acordo com a proporção. A Tabela 3 mostra, para cada conjunto, os nomes das imagens semelhantes selecionadas e a quantidade de imagens coloridas para cada imagem de exame. As modalidades T2 e densidade de prótons do plano coronal são omitidas da tabela, pois os valores são exatamente os mesmos da modalidade T1. Ainda na tabela, a coluna *Proporção* representa o número de imagens coloridas que podem ser representadas por cada imagem de exame.

A indexação das bases de exame permite que os mesmos sejam exibidos ao usuário da VHT ao lado das imagens coloridas, gerando uma associação direta que possibilita melhor entendimento das particularidades dos diversos tipos de exame disponíveis.

Tabela 3 – Relação de imagens similares.

Plano de corte	Imagem colorida	Imagem de exame	Proporção
Axial (TC)	1038.png	cvf1004f.png	2,97
	6079.png	cvf2697f.png	
Axial (T1)	1097.png	mvf1039t.png	2,66
	1442.png	mvf1159t.png	
Coronal (T1)	1174.png	mvf3432t.png	3,09
	1817.png	mvf3640t.png	
Coronal (T1)	1037.png	mvf4392t.png	3,24
	1854.png	mvf4644t.png	
Coronal (T1)	1076.png	mvf5400t.png	3,39
	1917.png	mvf5648t.png	
Coronal (T1)	1078.png	mvf6403t.png	3,72
	1693.png	mvf6568t.png	
Coronal (T1)	1168.png	mvf7413t.png	3,06
	1781.png	mvf7613t.png	
Sagital (LOC)	1807.png	mvf2001l.png	12,40
	1869.png	mvf2006l.png	
Sagital (LOC)	1808.png	mvf3001l.png	18,25
	1881.png	mvf3005l.png	
Sagital (LOC)	1874.png	mvf4005l.png	13,00
	1965.png	mvf4012l.png	
Sagital (LOC)	1823.png	mvf5001l.png	22,00
	1889.png	mvf5004l.png	
Sagital (LOC)	1637.png	mvf6001l.png	53,55
	2119.png	mvf6010l.png	

Fonte: Autoria Própria

3.3.3 Geração do Modelo de Visualização Volumétrica

Com o objetivo de imitar a visualização e manipulação de um corpo real, foi feita a construção de um modelo volumétrico interativo utilizando as imagens processadas. Esta seção descreve as operações realizadas para a exibição deste modelo em tempo real, de forma interativa, na tela da mesa anatômica. O processo de elaboração do modelo passou por diversas fases de aprimoramentos, até o estabelecimento do protocolo final. Todas estas etapas são descritas, em sequência, nesta seção.

Toda esta seção irá considerar algumas definições nos algoritmos apresentados. Considera-se “ponto” uma estrutura de dados com 2 componentes numéricos reais “x” e “y”. Similarmente, a estrutura “retângulo” é composta por quatro números reais numéricos “x”, “y”, “w” e “h” que representam, respectivamente, posição horizontal, posição vertical, largura e altura de um retângulo.

Para todos os algoritmos também é considerado como ponto zero de uma tela ou imagem, o canto superior esquerdo da mesma, como retratado pela Figura 10. Desta forma, o centro da tela é definido horizontalmente e verticalmente, em mesma ordem, pela metade de sua largura e metade de sua altura. Finalmente é considerada a existência de uma função *desenhar*, utilizada para copiar uma parte de uma imagem para uma nova imagem ou para a tela. Esta função recebe, na mesma ordem, os seguintes parâmetros: uma imagem a ser copiada, uma imagem de destino da cópia, um retângulo que indica a parte da imagem original a ser copiada, um retângulo de destino que indica o local em que a área copiada será colada, um número real que indica um ângulo de rotação para a imagem, um ponto utilizado como pivô para a rotação da imagem, um valor real chamado alfa utilizado para definir a transparência de cada fatia e, finalmente, um valor booleano chamado *inverter*, que determina se a imagem será desenhada espelhada no eixo horizontal.

Figura 10 – Coordenadas extremas de tela ou imagens



Fonte: Autoria Própria

Representação básica

De forma a apresentar as imagens do VHP como um modelo volumétrico interativo, foi escolhida uma abordagem bidimensional simples, onde cada uma das imagens do plano axial é desenhada sobre a anterior, com determinado deslocamento no eixo horizontal da tela, sem a utilização de transformações geométricas tridimensionais. Inicialmente, serão desconsideradas as melhorias aplicadas às bases descritas anteriormente.

O primeiro passo para a composição do modelo volumétrico é a definição das variáveis que serão controladas pelos usuários da mesa digital, de forma a proporcionar a interatividade desejada. Foi determinado o uso das seguintes variáveis: *distância*, *ângulo*, *alfa*, *retângulo de origem*, *corte superior*, *corte inferior* e *inverter visualização*. As variáveis, exceto *distância* e *ângulo*, são independentes para cada base, permitindo que cada uma tenha uma configuração diferente.

A variável *distância* é um valor real que determina a quantos pixels uma fatia axial será desenhada de outra. *Ângulo* também é um valor real, que define quantos graus cada uma das fatias será rotacionada, com objetivo que simular a rotação do corpo como um todo. *Retângulo de origem* é uma variável que define uma área, com base no tamanho das imagens antes da aplicação de otimizações, da qual serão copiados os pixels para o destino, para que se possam ser feitos cortes dinâmicos nos planos sagital e coronal. Similarmente, para permitir cortes no plano axial, os valores de *corte inferior* e *corte superior* são valores inteiros, que delimitam quais imagens axiais serão copiadas para o destino. Por fim, o valor booleano *inverter visualização* é utilizado para estabelecer a ordem na qual as imagens serão desenhadas, se da cabeça aos pés ou ao contrário.

O Algoritmo 5 descreve, em pseudocódigo, como cada uma das variáveis apresentadas é utilizada na composição do modelo básico. Existem duas estruturas de repetição principais. A primeira é apresentada na linha 14, que percorre cada imagem por índice disponível e a segunda, na linha 15, percorrendo cada uma das bases carregadas. Os valores destas estruturas de repetição são utilizados para obter a imagem atual por meio da função *obter_imagem*, chamada na linha 22, dado um índice de base e um índice de imagem.

Na linha 16 existe a condicional que determina se certa fatia será realmente desenhada ou simplesmente ignorada. É esta condicional que constitui o plano de corte no eixo axial, controlado pelo usuário individualmente para cada base. Os cortes coronal e sagital são definidos pela variável *retângulo_origem*, como indicado das linhas 18 à 21, onde o retângulo de origem é utilizado na composição do retângulo de destino.

Quando as imagens da base de dados são desenhadas uma sobre a outra pela ordenação original, que inicia a contagem da cabeça aos pés, é obtido um modelo como visto de baixo para cima. Como as imagens originais foram obtidas para a visualização superior, o modelo formado acaba invertendo a orientação de órgãos e estruturas do corpo, o que não é ideal. Por isso, na linha 22, na chamada da função de desenho e quando necessário, é feito o espelhamento da imagem.

Com estas operações, já se obtém um modelo altamente modificável, que pode ser visto de diversas maneiras, ainda que não apresente taxa de quadros aceitável para o manuseio em tempo real. A Figura 11a mostra o modelo com diferentes cortes nos três planos e uma única base de imagens. Nas Figuras 11b e 11c são apresentados, respectivamente, resultados da combinação de diferentes valores de transparência e posição de corte, fazendo o uso de dois sistemas.

Representação com melhorias de desempenho

A representação básica é capaz de gerar o modelo de visualização volumétrico, porém não atinge o desempenho desejado para manipulação em tempo real. Por isso, o uso das bases otimizadas criadas anteriormente é necessário, alterando alguns aspectos

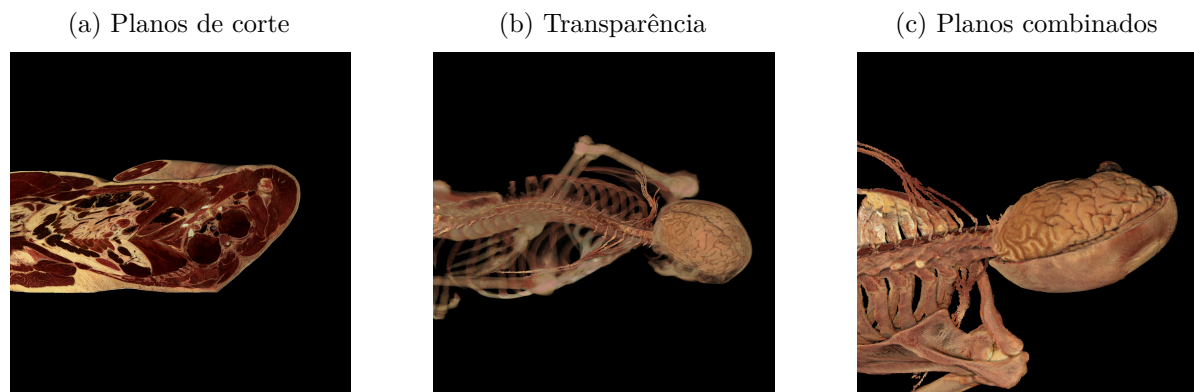
Algoritmo 5: Algoritmo de desenho básico

```

1 inicio
2   var posição: ponto;
3   var inicio: inteiro;
4   var fim: inteiro;
5   se inverter entao
6     | inicio = num_imagens;
7     | fim = 1;
8     | posição.x = largura_tela / 2 + num_imagens / 2 * distância;
9   senao
10    | inicio = 1;
11    | fim = num_imagens;
12    | posição.x = largura_tela / 2 - num_imagens / 2 * distância;
13  fimse
14  para índice: inteiro de inicio até fim faça
15    para base: inteiro de 0 até num_bases faça
16      | se índice > corte_superior[base] e índice < corte_inferior[base] entao
17        | var retângulo_destino: retângulo;
18        | retângulo_destino.x = posição.x - largura_imagem / 2 +
19          |   retângulo_origem.x;
20        | retângulo_destino.y = posição.y - altura_imagem / 2 +
21          |   retângulo_origem.y;
22        | retângulo_destino.w = retângulo_origem.w;
23        | retângulo_destino.h = retângulo_origem.h;
24        | desenhar(obter_imagem(base, índice), destino, retângulo_origem,
25          |   retângulo_destino, ângulo, posição, alfa, inverter != verdadeiro);
26      | fimse
27    fimpara
28    se inverter entao
29      | posição.x -= distância;
30    senao
31      | posição.x += distância;
32    fimse
33  fimpara
34 fim

```

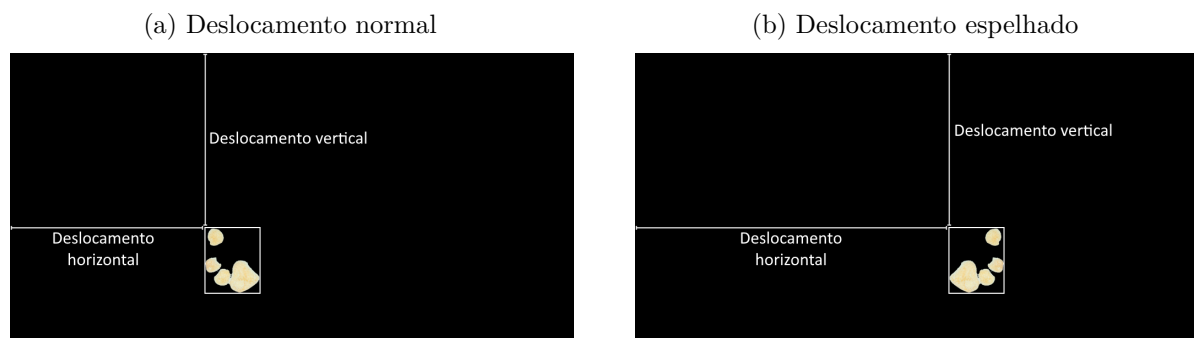
Figura 11 – Exemplos de interatividade



Fonte: Autoria Própria

das fórmulas de cálculo de posição de cada imagem na tela. Devido ao recorte, as imagens precisam ter seu posicionamento ajustado para que fiquem centralizadas e rotacionem ao redor de um pivô adequado. Estes ajustes são diferentes quando a visualização é feita da cabeça aos pés ou dos pés à cabeça, devido ao espelhamento realizado. A Figura 12 mostra como estes ajustes são feitos para cada modo de visualização.

Figura 12 – Processo de desenho



Fonte: Autoria Própria

Outro fator alterado pelas otimizações são os planos de corte sagital e coronal, que fazem com que os retângulos de origem passem a ser recalculados individualmente para cada fatia axial. No Algoritmo 6 pode-se observar como estas novas operações são aplicadas no cálculo de posição em tela de uma única imagem. Nele, a função *largura* retorna um inteiro que é a largura de uma imagem recebida como parâmetro. Na Figura 13 se tem uma representação visual das operações necessárias para o correto posicionamento de cada fatia.

Como o modelo volumétrico não precisa ser constituído quando o usuário não está interagindo com ele, foi aplicada a técnica de desenho em uma imagem separada antes do

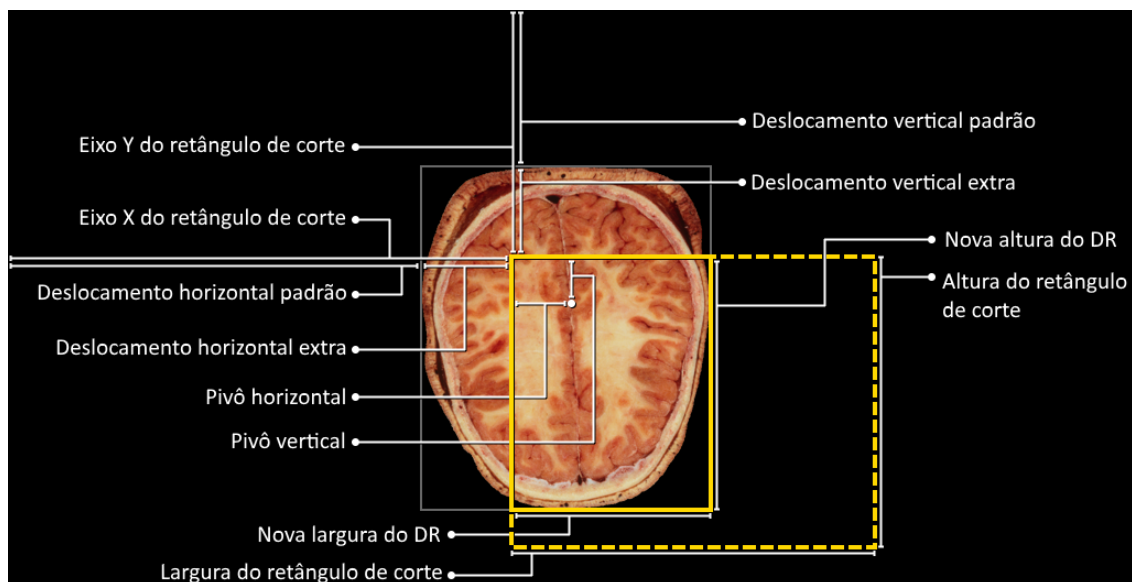
Algoritmo 6: Algoritmo de desenho com melhorias de desempenho aplicadas

```

1 funcao calcular_posição(índice: inteiro) : ponto
2   var posição: ponto;
3   posição.x = (largura_tela - num_imagens) / 2 + índice * distância;
4   posição.y = altura_tela / 2;
5   posição += deslocamentos[índice];
6   se retângulo_origem.x > deslocamentos[índice].x entao
7     | posição.x += retângulo_origem.x - deslocamentos[índice].x;
8   fimse
9   se retângulo_origem.y > deslocamentos[índice].y entao
10    | posição.y += retângulo_origem.y - deslocamentos[índice].y;
11  fimse
12  retorne posição;
13 fim

```

Figura 13 – Esquema de translações necessárias para cada corte.



Fonte: Autoria Própria

desenho na tela. Assim, se o modelo não é atualizado, apenas a nova imagem é desenhada, evitando travamentos durante a utilização dos demais componentes da mesa.

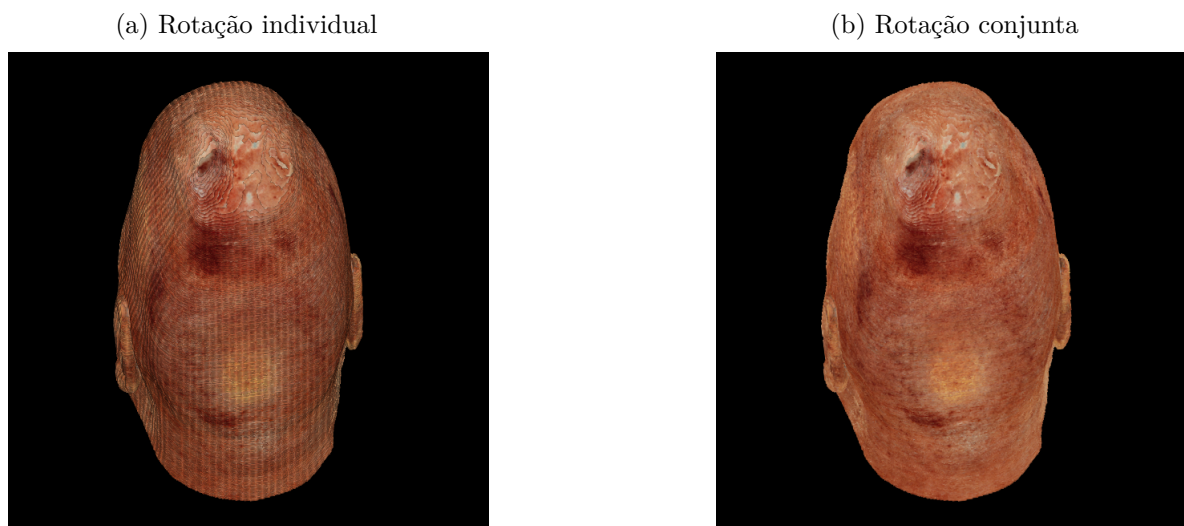
Correções

As telas de televisores e monitores são compostas por uma grade de pixels, que se encontram alinhados horizontal e verticalmente. Isto significa que uma imagem rotacionada precisa ser distorcida para ser exibida na tela, o que é geralmente feito por filtros de imagem.

Alguns destes filtros realizam a mistura ou deslocamento de pixels em operações

de escala ou rotação, fazendo com que, no caso de um modelo volumétrico, as imagens com fundo transparente tenham parte dos fragmentos do fundo misturados à área que contém informações importantes. Essa geração de fragmentos indesejados é responsável pela criação de estrias no modelo volumétrico, como na Figura 14a.

Figura 14 – Efeito de estrias



Fonte: Autoria Própria

Para remover estas estrias sem modificar, por meio de filtros, as imagens originais e atingir o resultado da Figura 14b, uma nova abordagem para a translação da base foi utilizada. As imagens foram desenhadas em uma textura auxiliar utilizando deslocamentos horizontais e verticais calculados dinamicamente de acordo com o ângulo desejado, porém sem rotações individuais, como mostra a Figura 15a. A textura composta é então desenhada na tela com uma rotação que compensa os deslocamentos dinâmicos, como na Figura 15b. Esta nova abordagem remove o efeito das linhas escuras pois as imagens não sofrem alterações durante a composição, mantendo a informação dos pixels como nas imagens originais. Novos fragmentos podem aparecer nas bordas da textura composta que é rotacionada, mas estes não são essenciais para a boa visualização do modelo volumétrico.

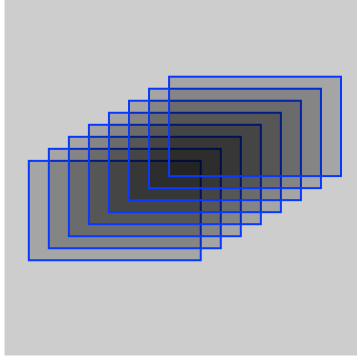
Visualização estereoscópica

Uma das opções desenvolvidas para a VHT é a visualização estereoscópica dos modelos por meio do uso de anáglifos, inspirado pelo trabalho desenvolvido no CIIM para o F2S2 (OLSEN. et al., 2018). Para permitir que o modelo de visualização volumétrica seja preparado para o uso com óculos 3D, uma simples nova etapa opcional de desenho foi adicionada.

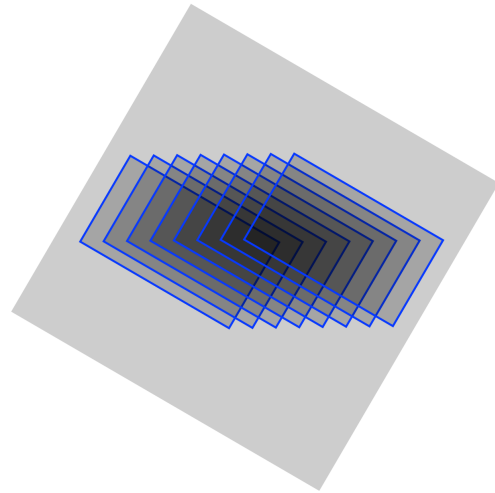
A operação consiste na geração normal do modelo volumétrico e cópia apenas de

Figura 15 – Passos de desenho

(a) Desenho na textura



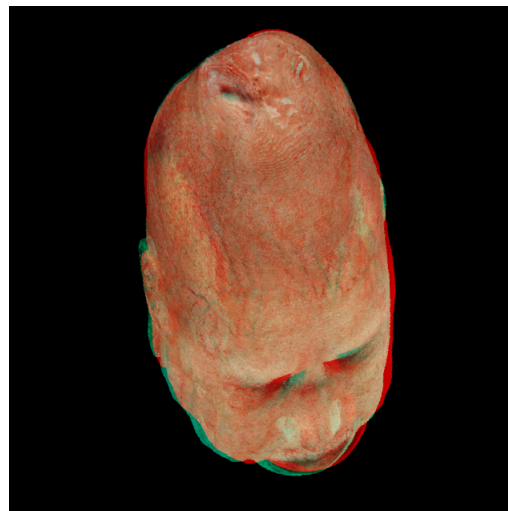
(b) Rotação da textura



Fonte: Autoria Própria

seu canal vermelho para a tela. Após isto, o modelo é gerado novamente, com uma leve rotação de 6 graus no sentido anti-horário e cópia dos canais verde e azul da imagem resultante, utilizando a operação de adição de canais de cor para misturar as duas imagens. O resultado é o mostrado na Figura 16.

Figura 16 – Parte do modelo de visualização volumétrica em modo estereoscópico.



Fonte: Autoria Própria

Sombreamento

Na visualização de modelos tridimensionais, um dos fatores importantes para a identificação de forma e profundidade de um objeto são as sombras. Isto é ainda mais importante em ferramentas como simuladores, onde o realismo das imagens é essencial (CROW, 1977).

Como a visualização volumétrica apresenta diretamente as fotos originais, não existe um trabalho de iluminação, o que afeta negativamente a percepção de profundidade do modelo. Por este motivo, foi aplicada uma técnica simples de sombreamento, obtida ao desenhar cada fatia três vezes antes do seu desenho original. Estes novos desenhos são feitos com a imagem totalmente escura, porém com certa transparência e com deslocamentos individuais para a direita, esquerda e para baixo. Desta forma é obtido o resultado da Figura 17, que permite melhor distinguir o lado para o qual a superfície do modelo aponta.

Figura 17 – Parte do modelo de visualização volumétrica com adição de sombreamento.



Fonte: Autoria Própria

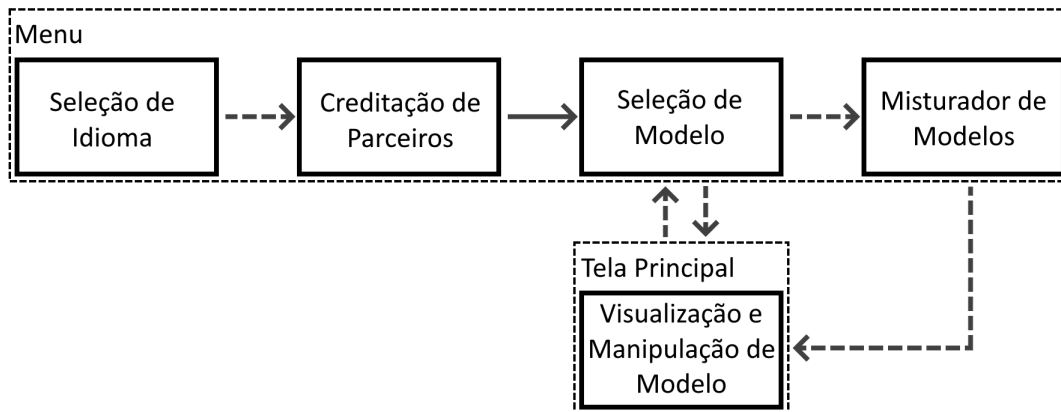
3.3.4 Software

Para possibilitar a interação com a mesa de dissecação, um software incluindo uma série de ferramentas foi planejado e implementado. Também foram incorporadas ao software da mesa algumas ferramentas de terceiros, que se mostraram úteis para o ensino. Esta seção dá informações sobre a apresentação da mesa ao usuário, discutindo cada uma das ferramentas disponibilizadas, explicando o funcionamento e listando decisões tomadas durante planejamento e implementação.

Telas

O software da mesa digital é apresentado ao usuário em duas telas principais, o menu e a tela principal. Durante a utilização da VHT, existe um fluxo entre estas telas, como apresentado pela Figura 18, na qual linhas contínuas representam avanços automáticos e linhas tracejadas avanços controlados pelo usuário.

Figura 18 – Fluxo de telas



Fonte: Autoria Própria

Na tela de menu, o usuário pode escolher a linguagem em que gostaria utilizar o programa, entre português e inglês. Na sequência são creditados os parceiros do projeto e o usuário é exposto à escolha de modelo, podendo selecionar o corpo masculino, feminino, ou escolher a ferramenta de mistura. A ferramenta de mistura é composta por duas listas giratórias com os nomes de diferentes modelos completos ou de determinados tecidos que, quando combinados, podem ser visualizados ao mesmo tempo pelo usuário, como apresentado na subseção 3.3.4.

Na tela principal são apresentados ao usuário as informações projetadas para o uso em sala de aula. A área de trabalho desta tela é dividida em duas áreas principais, a visualização de planos e a visualização de modelo volumétrico. Na primeira é exibido um plano de corte selecionado pelo usuário como descrito na subseção 3.3.4. A segunda área mostra o modelo volumétrico feito com as bases selecionadas anteriormente na tela de menu.

Dial dinâmico

Em interfaces tradicionais de programas de computador, alguns aspectos essenciais para o dinamismo requerido em sala de aula podem ser perdidos. Por este motivo, foi evitado o uso de elementos de interação estáticos e projetados para uso com um único objeto apontador, como um mouse. A solução encontrada foi a criação de um dial virtual

dinâmico, que é um objeto circular que agrupa as principais funcionalidades da VHT, podendo ser arrastado para diferentes pontos da tela e também rotacionado, para que seja possível sua utilização de qualquer orientação.

O dial é dividido em 4 seções, representadas por ícones em sua borda. São elas: Perspectiva, Tags, Segmentação e Ensino. Cada uma destas seções tem como objetivo separar ferramentas de funcionalidade comum para reduzir a quantidade de informações exibida em tela em um único momento. A Figura 19 mostra o dial em sua tela inicial, sem uma seção selecionada.

Figura 19 – Dial dinâmico.



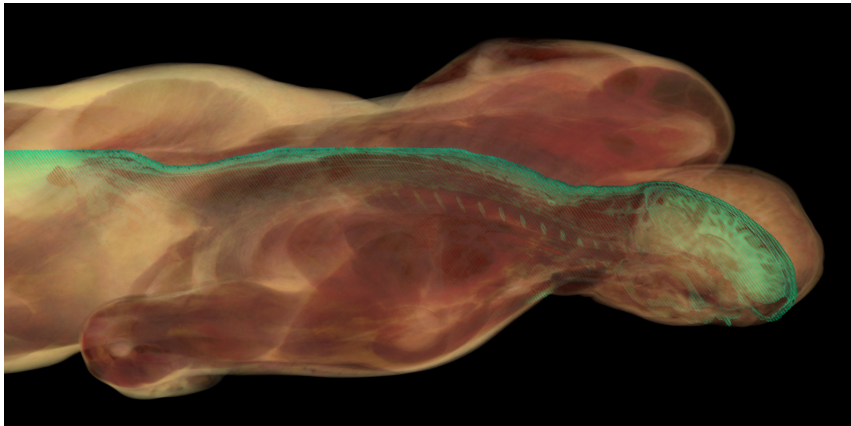
Fonte: Autoria Própria

Na seção perspectiva, o usuário tem acesso à rotação do modelo tridimensional, inversão da direção de visualização, modificação da distância entre fatias e transparência. A ferramenta de rotação lembra um transferidor, permitindo ao usuário rotacioná-la para escolher o ângulo de rotação das fatias do modelo tridimensional. Um botão na parte de baixo do dial é responsável por inverter a ordem de desenho das fatias da base, conseqüentemente invertendo também a direção da visualização do modelo, de baixo para cima ou vice-versa. Dois botões laterais são responsáveis por alterar a distância horizontal entre os slices, possibilitando a visualização do modelo lateral ou verticalmente. Uma barra no topo do dial é responsável pelo controle da transparência das fatias do modelo. Quando cada fatia é desenhada com determinada transparência, torna-se possível a visualização de estruturas internas do modelo tridimensional, que ficam com maior destaque, como exibido pela Figura 20.

Outras opções da seção perspectiva são a estereoscopia, troca de plano de corte e representação do plano atual. A primeira ativa ou desativa a visualização estereoscópica do modelo atual, que permite a visualização em profundidade com óculos 3D de duas cores, a segunda faz a troca entre os planos Axial, Coronal e Sagital representados na imagem principal. A representação do plano atual permite que o usuário visualize no modelo volumétrico a fatia selecionada na área de visualização de alta resolução.

Ao utilizar a seção tags, o usuário tem acesso a um menu rotativo, exibido na

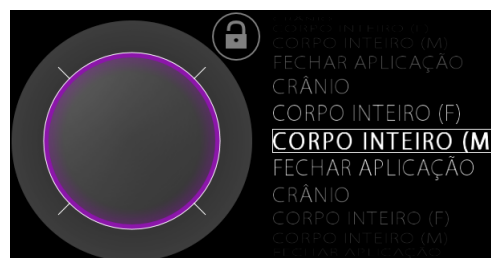
Figura 20 – Modelo volumétrico com transparência.



Fonte: Autoria Própria

Figura 21, que possui algumas opções de modelos que podem ser selecionados, de forma a substituir o modelo atual. Os modelos desta lista permitem a troca entre a base masculina e feminina sem sair da aplicação e também o estudo de peças individuais em maior resolução. Dentro da mesma ferramenta também é possível alternar para a visualização de peças obtidas pelo F2S2, que permite a visualização interativa de fotografias de objetos reais tridimensionalmente, com a possibilidade do uso da estereoscopia. Para evitar que o menu rotativo acabe em uma posição da tela inconveniente para o usuário, ele aparece ao lado esquerdo do dial se este está para a direita do centro da tela e à direita se o contrário é verdade. Também foi implementado um sistema de som dinâmico que utiliza o som estéreo do televisor para tocar um efeito sonoro na posição do dial, indicando a troca de peça ao usuário.

Figura 21 – Menu rotativo de peças.

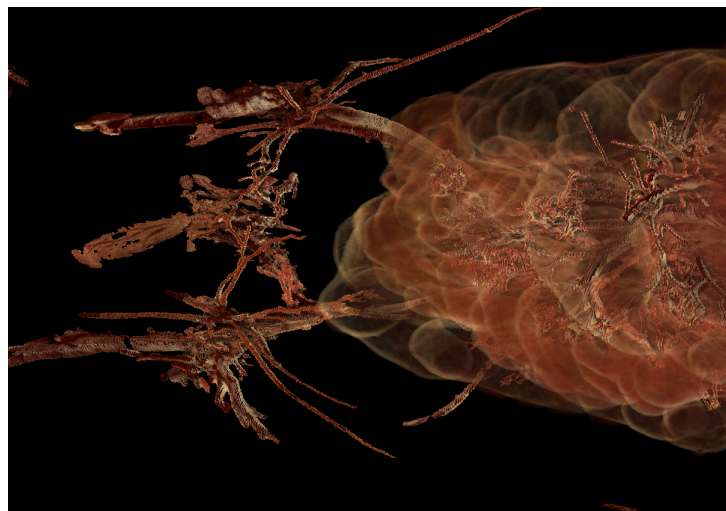


Fonte: Autoria Própria

Segmentação é o nome da seção que permite que o usuário selecione quais dos sistemas quer manipular no modelo volumétrico. É possível haver mais de um sistema selecionado ao mesmo tempo, e todos sistemas selecionados compartilham as opções de planos de corte e transparência. A única variável que é sempre compartilhada independente das seleções é o ângulo de rotação do modelo volumétrico. Quando combinada com a seção

de perspectiva, é possível ver um sistema com transparência diferente do outro, como apresentado na Figura 22.

Figura 22 – Sistemas digestório e circulatório com transparências diferentes.



Fonte: Autoria Própria

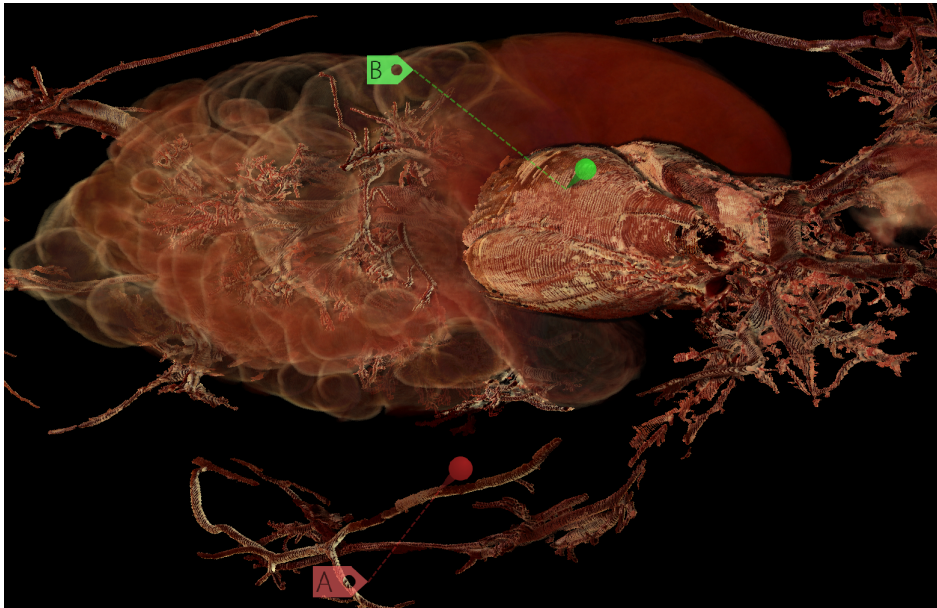
A seção de ensino contém atalhos para ferramentas de terceiros e uma ferramenta própria, todas destinadas ao uso por alunos e professores em sala de aula. As ferramentas de terceiros são: um ambiente de ensino da universidade, um navegador web e uma caneta digital, que permite que o usuário faça anotações e capture imagens da tela para envio e uso posterior. Esse conjunto de ferramentas visa facilitar a criação de conteúdo e atividades pelo professor e a interação dos alunos durante a aula.

A ferramenta desenvolvida para a seção de ensino dentro deste trabalho é denominada Alfinetes. Com esta funcionalidade, o usuário pode carregar um arquivo pré-definido, que contenha coordenadas tridimensionais, e estas posições serão demarcadas sobre o modelo volumétrico como alfinetes e etiquetas coloridas. O objetivo é possibilitar a identificação de estruturas pelo professor para o aprendizado dos estudantes. Também é possível esconder o nome das etiquetas, que passam a ser marcadas com letras em ordem alfabética, o que pode ser utilizado no contexto da aplicação de uma prova, por exemplo. Para o posicionamento correto das etiquetas na tela é feita a conversão de um ponto em determinada fatia do modelo em coordenada de tela, considerando deslocamento e rotação do modelo. Na Figura 23 é possível ver o carregamento de etiquetas não nomeadas.

Plano principal

A ferramenta de plano principal é composta por três elementos. O primeiro é um retângulo que apresenta determinada quantidade de fatias de um plano selecionado pelo usuário. O segundo elemento é formado por linhas coloridas horizontais e verticais sobre

Figura 23 – Etiquetas não nomeadas em pontos do modelo.



Fonte: A autoria Própria

o retângulo previamente mencionado. Por fim, o último elemento se dá por uma linha inferior com três cursores arrastáveis.

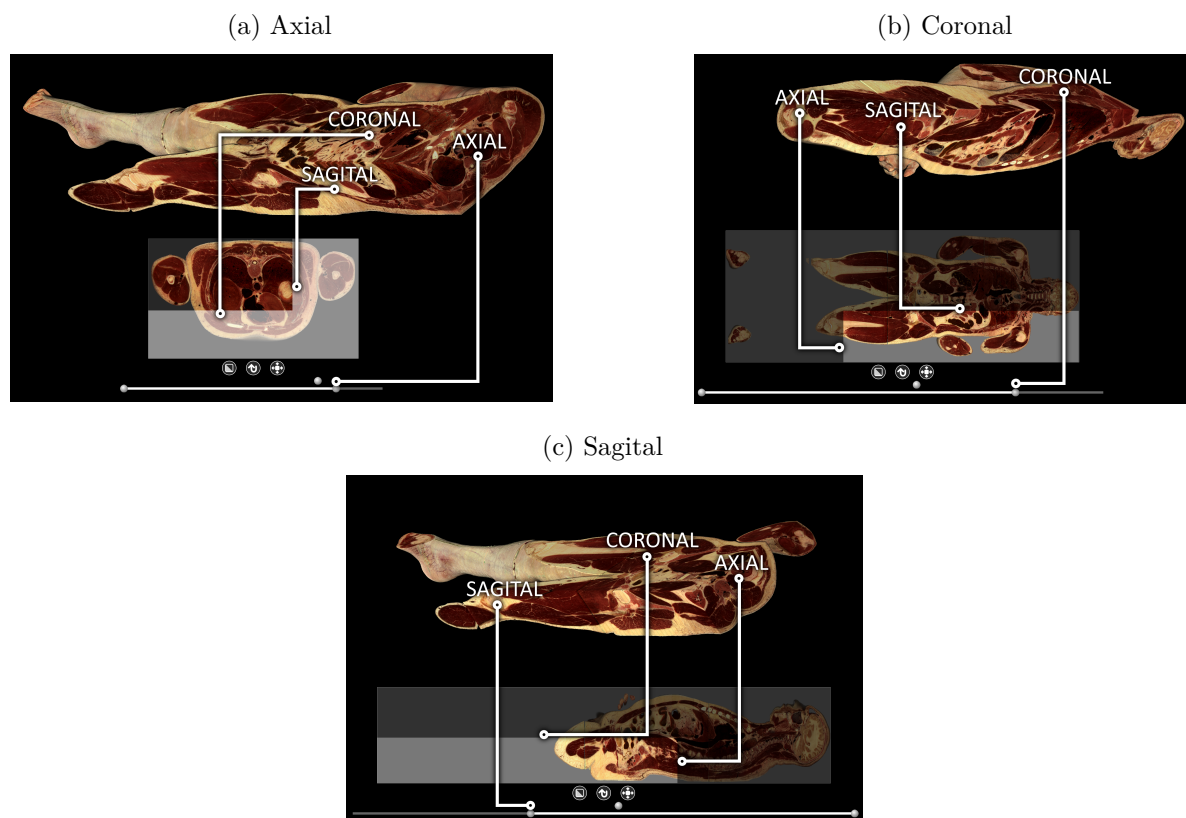
As fatias exibidas dentro do retângulo pertencem à base principal selecionada anteriormente. É exibida uma sequência de 75 fatias uma sobre a outra, de maneira similar ao modelo volumétrico, com intuito de gerar a sensação de profundidade, que ajuda na compreensão da fatia atual. A quantidade reduzida se deve ao fato que não é possível carregar todas as bases na memória de vídeo, fazendo com que estas imagens seja desenhadas diretamente da memória RAM. Para selecionar quais fatias exatas são exibidas é utilizado o cursor central da barra inferior, que indica o índice a partir do qual serão selecionadas.

Como forma de ocupar menos espaço em memória, nesta ferramenta são utilizadas as bases de imagens otimizadas obtidas pelo processo descrito na seção 3.3.1. Desta forma, cada imagem é deslocada para a direita e para baixo de acordo com seu retângulo de corte individual para que todas fiquem visualmente centralizadas, como ficariam se usadas as imagens originais.

Dado que as imagens do corpo masculino do VHP não apresentam uniformidade entre a distância de píxeis e a distância entre fatias, as bases coronal e sagital extraídas da axial tem aparência achatada. Por isso, no plano principal, estas bases sofrem transformação de escala apenas no eixo horizontal, de 3 vezes o tamanho original, fazendo com que as imagens representem corretamente os dados originais.

Foi escolhida a ferramenta de corte principal como intermediária na aplicação dos planos de corte do modelo volumétrico. Desta forma, os cortes do plano atual selecionado são feitos pela navegação de cursores localizados nas extremidades da barra inferior. Os cortes dos planos restantes são feitos pelo deslocamento de barras dentro do retângulo principal. Estas funcionalidades são apresentadas, nos três planos disponíveis, na Figura 24.

Figura 24 – Funcionamento da ferramenta de plano de corte



Fonte: Autoria Própria

Existem algumas funções criadas para dinamizar o uso da ferramenta de plano principal. A primeira delas é a movimentação horizontal do retângulo, que pode ser arrastado com dois dedos para a esquerda ou direita, como se fosse movido sobre um trilho. Também com dois dedos, o retângulo pode ser redimensionado, possibilitando a visualização com maior detalhes das fatias ou a redução para ocupar menos espaço em tela. Adicionalmente, um botão de inversão faz com que a janela da ferramenta seja transportada ao lado oposto da tela, proporcionando o uso de ambos os lados. Outro botão é responsável pela troca das cores de fundo da janela, para que o usuário possa utilizar a versão mais confortável para determinada tarefa.

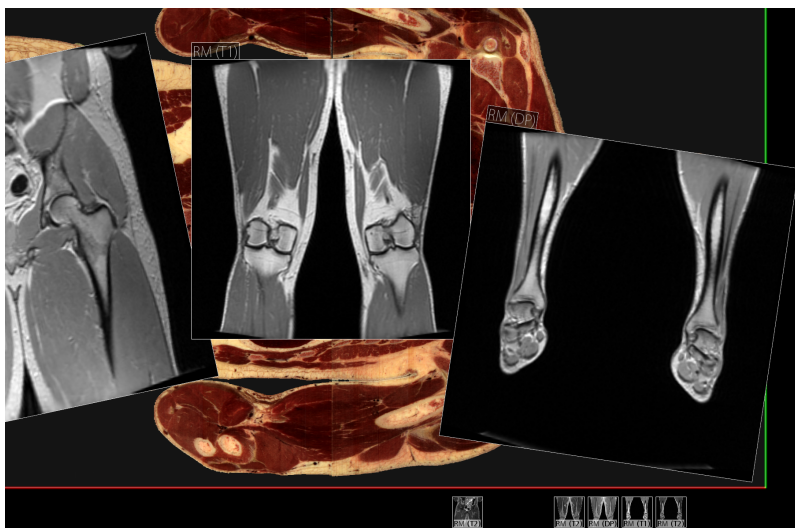
Cada plano de corte é representado com uma cor: verde representa o plano axial, vermelho o plano sagital e azul o coronal. Tais cores foram escolhidas por causa da comum

associação do padrão RGB (*Red, Green, Blue*) com os eixos XYZ (direções vetoriais) em programas de modelagem tridimensional. As cores são alteradas dinamicamente na barra e nas linhas de acordo com o plano que se deseja exibir na imagem principal.

Exames

Os exames de tomografia e ressonância do VHP são exibidos em janelas interativas e sincronizados com o corte atual da ferramenta de plano principal, gerando uma associação direta entre as diferentes formas de aquisição. Inicialmente as janelas encontram-se minimizadas na parte inferior da tela, podendo ser maximizadas com um toque. Apenas os exames que estão relacionados ao plano de corte atual são exibidos. Vários exames podem ser usados ao mesmo tempo, como mostra a Figura 25. Cada janela de exame pode ser individualmente rotacionada, movida e redimensionada, conforme desejado pelo usuário. Quando não existe uma imagem de exame que corresponda à imagem colorida selecionada, a janela se torna transparente, para não confundir o usuário.

Figura 25 – Janelas de exames coronais, três maximizadas no centro da imagem e cinco minimizadas na parte inferior.



Fonte: Autoria Própria

4 Análise e discussão dos resultados

Para analisar alguns dos resultados obtidos, uma pesquisa foi realizada. Nela, estudantes responderam a um questionário, no qual avaliaram as suas experiências com a mesa digital em ambiente de sala de aula. Os resultados da pesquisa mostraram que, apesar de aprovarem o uso da mesa para o ensino de anatomia, ela ainda não é capaz de substituir o uso de corpos reais, mas pode ser utilizada como ferramenta complementar para auxiliar no aprendizado (BROBOUSKI et al., 2020).

A Seção 4.1 discute os resultados obtidos com os processamentos aplicados às bases de imagens do VHP e os efeitos disso no software da VHT. Já a seção 4.2 trata da discussão sobre a qualidade interativa e visual do modelo de visualização volumétrica gerado. Por fim, na seção 4.3 é analisada a percepção da usabilidade do software gerado por meio de observações preliminares do uso da mesma.

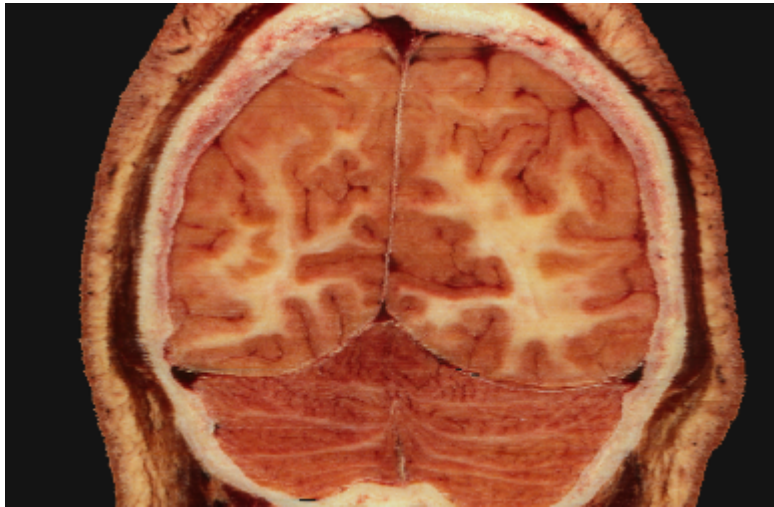
4.1 Análise dos métodos de processamento das bases.

Como este trabalho tem como foco a apresentação de imagens próximas à realidade e a integração do estudo de imagens médicas comuns, foram utilizadas duas bases, uma masculina e outra feminina, cada uma contendo imagens coloridas em UHD, além de diversas imagens de exames radiológicos em menor definição.

Algoritmos de processamento foram desenvolvidos e aplicados sobre as imagens coloridas para reduzir o custo computacional do uso das bases do VHP. Com as operações de otimização, o tamanho em memória das bases foi reduzido, em média, em 59% e, como o processamento apenas removeu áreas sem dados das imagens, não houve alteração na resolução das imagens. Esta melhoria não só possibilitou a exibição em tempo real de grande quantidade de imagens UHD, mas também acelerou significativamente o tempo de carregamento das base. Isto foi essencial para que, ao usar a VHT, o usuário não perca muito tempo observando telas de carregamento.

Ao fazer a geração de novos planos de corte a partir das imagens do plano axial, foram identificados problemas causados por pequenos deslocamentos entre cada uma das imagens originais que eliminam as curvaturas originais dos tecidos, criando imagens distorcidas. Na Figura 26 podemos ver como estes deslocamentos atrapalham a visualização das estruturas do cérebro no plano de corte coronal, onde curvas verticais tem aparência serrilhada. Apesar dos deslocamentos maiores já terem sido corrigidos nas bases utilizadas, deslocamentos menores ainda precisam ser corrigidos, mas não fazem parte do escopo deste trabalho.

Figura 26 – Exemplo de deslocamentos horizontais na reconstrução da base UHD coronal.



Fonte: Autoria Própria

A indexação das bases de exames se mostrou bastante desafiadora e, em alguns casos, não obteve o resultado esperado, gerando certas discrepâncias em relação às bases coloridas. Porém, parte destas discrepâncias se devem às diferentes formas de aquisição das bases.

Os processos aplicados às bases foram essenciais para garantir o desempenho da aplicação e a transformação das bases de dados do VHP em bases de informações, com conteúdo que pode ser usado para o estudo da anatomia humana.

4.2 Análise do Modelo de Visualização Volumétrica

O objetivo da geração de um modelo volumétrico é permitir uma visualização rápida e interativa de um corpo humano inteiro, permitindo o uso dos três planos de corte anatômicos simultaneamente. A avaliação parcial deste objetivo se deu principalmente por conversas informais com professores da PUCPR durante apresentações interativas da mesa, das quais foram anotados comentários sobre diversos itens.

O modelo de visualização volumétrico descrito na seção 3.3.3 apresentou grau satisfatório de interatividade devido às melhorias de performance implementadas, que permitiram o desenho de todas as 5.189 imagens UHD da base do corpo feminino e das 1.878 imagens UHD da base do corpo masculino. Verificou-se, por meio de simples observações, que a sensação de volume está presente, dando ao usuário a ilusão de tridimensionalidade desejada.

Com todas estas melhorias de desempenho e devido ao menor tamanho em memória das bases segmentadas de sistemas individuais, foi possível fazer a combinação de diferentes

sistemas no mesmo modelo, o que ampliou significativamente as possibilidades de interação.

A funcionalidade de visualização estereoscópica mostrou-se promissora, porém menos efetiva nos corpos completos, sendo melhor visualizada quando o modelo volumétrico é de um sistema individual. A adição de sombreamento ao modelo volumétrico foi de extrema importância para a funcionalidade da estereoscopia, porém a modalidade utilizada, que é feita por meio de anaglifo, não atinge os melhores resultados, por alterar drasticamente a coloração dos objetos.

Um fator que se mostrou incômodo na manipulação do modelo volumétrico, para os usuários observados informalmente, foi a inability de visualizar o modelo em ângulo frontal. Apesar desta condição ser, de certa forma, atendida pela inversão da ordem de desenho, a falta da real visualização frontal restringe o uso desejado pelos usuários.

Embora exista aparente aprovação do modelo de visualização volumétrica pelos usuários observados, seria necessária uma pesquisa mais aprofundada para obter informações relevantes sobre a capacidade desta ferramenta em específico.

4.3 Análise de usabilidade da mesa digital

Por meio do uso pelo próprio pesquisador, membros do grupo de estudos e professores da área médica durante apresentações interativas da mesa digital, foi possível fazer observações preliminares da usabilidade do hardware utilizado e das ferramentas desenvolvidas.

O suporte a múltiplos toques se mostrou bastante útil para a operação do software. Porém o modelo de tela multitouch escolhida, de grade infravermelho, causou alguns problemas por identificar toques não desejados de objetos que são posicionados acidentalmente sobre a mesa. No entanto, a alta responsividade e intuitividade obtida com este método se mostrou maior que os pontos negativos.

As observações do uso do dial digital dinâmico, ferramenta central para a manipulação do software descrita na Subseção 3.3.4, revelaram que a mobilidade esperada foi atingida, permitindo que o usuário caminhe ao redor da mesa sem perder controle do software. Dois problemas também foram identificados, uma dificuldade em identificar a seção da ferramenta atualmente selecionada e excessivas desativações indesejadas do dial.

A seção de perspectiva do dial é bastante intuitiva e foi usada facilmente pelos usuários observados, com exceção dos botões de alteração da distância horizontal dos slices, que precisam ser tocados várias vezes. Foi decidido que tais botões obteriam maior grau de usabilidade se fosse possível mantê-los pressionados para executar suas funcionalidades. Na seção de ensino, a ferramenta de terceiro responsável pela lousa ativa não é fácil de utilizar devido aos seus pequenos botões, bloqueio das funcionalidades da mesa e baixa

portabilidade aos toques.

Quanto à ferramenta de plano principal, descrita na Subseção [3.3.4](#), uma dificuldade na associação das linhas de corte com o modelo de visualização volumétrica foi identificada.

5 Conclusão

O uso de cadáveres reais é visto como essencial para o estudo da anatomia humana. Simuladores podem, no entanto, ajudar a reduzir os efeitos da falta de corpos nas universidades e servir como instrumentos de estudo complementares para fixação dos conhecimentos adquiridos em uma aula convencional.

Projetos como o *Visible Human Project* são de grande importância para avanços na área de estudo digital de anatomia. Porém, a imensa quantidade de dados presentes nas bases de imagens disponíveis inviabilizou, por muitos anos, o desenvolvimento de ferramentas que utilizassem integralmente todo este conteúdo.

Apesar de vários trabalhos utilizarem as bases do VHP na criação de modelos computacionais interativos, este se destaca pelo desafio de utilizar cada uma das bases diretamente e em suas totalidades, no lugar de bases derivadas ou peças individuais. Para isto, precisaram ser desenvolvidas técnicas de otimização, que podem ser aproveitadas até mesmo em trabalhos não relacionados ao estudo de anatomia.

Com o que foi aqui desenvolvido, possibilitou-se a criação da VHT, mesa de dissecação virtual desenvolvida na PUCPR. A mesa contempla modelo volumétrico do corpo inteiro baseado nas imagens do VHP e sem a criação de modelos tridimensionais tradicionais, diferenciando-se de demais ferramentas disponíveis no mercado.

Embora algumas das técnicas desenvolvidas neste trabalho possam ser aprimoradas, ele contribui de forma significativa para avanços nas áreas de aplicações de estudo de anatomia e manipulação de grandes bases de imagem. Assim, usando como base este projeto, várias novas pesquisas podem ser desenvolvidas.

5.1 Trabalhos Futuros

A associação entre imagens de exames e imagens coloridas, realizada neste trabalho, se mostrou importante para o estudo das imagens de tomografia e ressonância. Porém, como os resultados atingidos foram apenas significativos na base de dados masculina, o protocolo de indexação das imagens necessita de revisão, de forma a evitar os erros encontrados.

O modelo de visualização volumétrica desenvolvido se mostrou eficiente, no que diz respeito ao consumo de processamento computacional, em exibir dados volumétricos de bases de imagens. No entanto, ressaltam-se as distorções de perspectiva e limitações de ângulos causadas pela técnica, que poderia ser aprimorada para evitar estes problemas.

Apesar das informações obtidas informalmente ao observar estudantes e professores utilizando a mesa digital, é necessário um protocolo de pesquisa que permita quantificar a opinião dos usuários sobre a usabilidade do software, para determinar o que precisa ser modificado para aperfeiçoar o mesmo.

Referências

ACKERMAN, M. J. The visible human project. *Proceedings of the IEEE*, v. 86, n. 3, p. 504–511, March 1998. ISSN 0018-9219. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 6.

ANATOMAGE INC. *3D Anatomy Virtual Dissection Systems | Anatomage Medical Home*. Disponível em: <<https://www.anatomage.com/anatomage-medical/>>. Acesso em: 30 out. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 6.

BEYLOT, P. et al. 3d interactive topological modeling using visible human dataset. *Computer Graphics Forum*, v. 15, n. 3, p. 33–44, 1996. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1467-8659.1530033>>. Citado na página 6.

BIASUTTO, S. N.; CAUSSA, L. I.; RÍO, L. E. C. del. Teaching anatomy: Cadavers vs. computers? *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger*, v. 188, n. 2, p. 187 – 190, 2006. ISSN 0940-9602. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0940960205000993>>. Citado na página 5.

BROBOUSKI, W. J. P. *Segmentação de Imagens Coloridas de Corpos Humanos (Base VHP) em Ultra-Alta-Definição usando Classificadores SVM*. Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Informática - PPGIa, Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR, Curitiba, Brasil, 2020. Citado na página 12.

BROBOUSKI, W. J. P. et al. Evaluation of human dissection in anatomy teaching using an interactive simulator. In: INSTICC. *Proceedings of the 12th International Conference on Computer Supported Education - Volume 1: CSEDU*,. [S.l.]: SciTePress, 2020. p. 396–403. ISBN 978-989-758-417-6. Citado na página 37.

CHAGAS, J. e S. *Cadáver desconhecido: importância histórica e acadêmica para o estudo da anatomia humana*. Dissertação (Mestrado) — Escola Paulista de Medicina, Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), São Paulo, 2001. Citado na página 5.

CONTROLE NET TECNOLOGIA LTDA. *Renderização ou render o que é e como funciona*. Disponível em: <<https://www.controle.net/faq/renderizacao-ou-render-de-video-audio-e-imagens-3d>>. Acesso em: 28 out. 2020. Citado na página 8.

CORDEIRO, R. G.; MENEZES, R. F. Lack of corpses for teaching and research. *Revista Brasileira de Educação Médica*, scielo, v. 43, p. 579–587, 00 2019. ISSN 0100-5502. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 5.

CROW, F. C. Shadow algorithms for computer graphics. *SIGGRAPH Comput. Graph.*, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, v. 11, n. 2, p. 242–248, jul. 1977. ISSN 0097-8930. Disponível em: <<https://doi-org.ez433.periodicos.capes.gov.br/10.1145/965141.563901>>. Citado na página 29.

Dawson, S. L.; Kaufman, J. A. The imperative for medical simulation. *Proceedings of the IEEE*, v. 86, n. 3, p. 479–483, March 1998. ISSN 1558-2256. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 5.

- FYFE, G.; FYFE, S.; DYE, D. Use of anatomage tables in a large first year core unit. In: *Proceedings of ASCILITE - Australian Society for Computers in Learning in Tertiary Education Annual Conference 2013*. Australasian Society for Computers in Learning in Tertiary Education, 2013. p. 298–302. Disponível em: <<https://www.learntechlib.org/p/171142>>. Citado na página 6.
- GHOSH, S. K. Human cadaveric dissection: a historical account from ancient greece to the modern era. *Anatomy & Cell Biology*, v. 48, n. 3, p. 153–169, September 2015. ISSN 2093-3665. Citado na página 5.
- Jin Seo Park et al. Visible korean human: Improved serially sectioned images of the entire body. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, v. 24, n. 3, p. 352–360, 2005. Citado na página 7.
- Kazoka, Dzintra; Pilmane, Mara. 3d dissection tools in anatomage supported interactive human anatomy teaching and learning. *SHS Web Conf.*, v. 68, p. 02015, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1051/shsconf/20196802015>>. Citado na página 1.
- Machover; Myers. Interactive computer graphics. *Computer*, v. 17, n. 10, p. 145–161, Oct 1984. ISSN 1558-0814. Citado na página 8.
- MAGEE, R. Art macabre: Resurrectionists and anatomists. *ANZ Journal of Surgery*, v. 71, n. 6, p. 377–380, 2001. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1440-1622.2001.02127.x>>. Citado na página 5.
- Massey, J. W.; Yilmaz, A. E. Austinman and austinwoman: High-fidelity, anatomical voxel models developed from the vhp color images. In: *2016 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 3346–3349. ISSN 1558-4615. Citado na página 6.
- MCLACHLAN, J. C. et al. Teaching anatomy without cadavers. *Medical Education*, v. 38, n. 4, p. 418–424, 2004. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-2923.2004.01795.x>>. Citado na página 6.
- NVIDIA. *Get Started With Real-Time Ray Tracing*. Disponível em: <<https://developer.nvidia.com/rtx/raytracing>>. Acesso em: 09 ago. 2020. Citado na página 10.
- OLSEN., D. R. et al. Generation of stereoscopic interactive learning objects true to the original object. In: INSTICC. *Proceedings of the 10th International Conference on Computer Supported Education - Volume 1: CSEDU*,. [S.l.]: SciTePress, 2018. p. 259–266. ISBN 978-989-758-291-2. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 27.
- OMNISCI. *What is Volume Rendering? Definition and FAQs*. Disponível em: <<https://www.omnisci.com/technical-glossary/volume-rendering>>. Acesso em: 09 mai. 2020. Citado na página 9.
- SCHIEMANN, T. et al. Exploring the visible human using the voxel-man framework. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, v. 24, n. 3, p. 127 – 132, 2000. ISSN 0895-6111. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0895611100000136>>. Citado na página 1.
- SPITZER, V. et al. The Visible Human Male: A Technical Report. *Journal of the American Medical Informatics Association*, v. 3, n. 2, p. 118–130, 03 1996. ISSN 1067-5027. Disponível em: <<https://doi.org/10.1136/jamia.1996.96236280>>. Citado na página 6.

SPITZER, V. M.; SCHERZINGER, A. L. Virtual anatomy: An anatomist's playground. *Clinical Anatomy*, v. 19, n. 3, p. 192–203, 2006. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ca.20330>>. Citado na página 7.

TUNNEL, R.; JAGGO, J.; LUIK, M. *Computer Graphics Learning - Textures and Sampling*. Disponível em: <<https://cglearn.codelight.eu/pub/computer-graphics/textures-and-sampling>>. Acesso em: 21 out. 2020. Citado na página 9.

WASHMUTH, N. B. et al. Virtual dissection: Alternative to cadaveric dissection for a pregnant nurse anesthesia student. *Health Professions Education*, v. 6, n. 2, p. 247 – 255, 2020. ISSN 2452-3011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452301119300902>>. Citado na página 6.

ZHANG, S.-X.; HENG, P.-A.; LIU, Z.-J. Chinese visible human project. *Clinical Anatomy*, v. 19, n. 3, p. 204–215, 2006. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ca.20273>>. Citado na página 7.