

Emilly da Silva Arcanjo
Izabela Marina Ferreira da Silva
Lucas Carvalho Ramos

Anatomia Imersiva em Realidade Estendida

São Paulo, SP

2024

Emilly da Silva Arcanjo
Izabela Marina Ferreira da Silva
Lucas Carvalho Ramos

Anatomia Imersiva em Realidade Estendida

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Departamento de Engenharia de Computa-
ção e Sistemas Digitais da Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do Título de Engenheiro.

Universidade de São Paulo – USP

Escola Politécnica

Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais (PCS)

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Nakamura

Coorientador: Prof. Dr. Romero Tori

São Paulo, SP

2024

Sumário

1	INTRODUÇÃO	4
1.1	Motivação	6
1.2	Objetivos	8
1.3	Justificativa	9
2	ASPECTOS CONCEITUAIS	11
2.1	Realidade estendida (XR)	11
2.2	Imersão e Presença	12
2.3	Geração de modelos 3D por microtomografia	12
2.4	VIDA Anatomia	14
3	MÉTODO DO TRABALHO	17
3.1	Pesquisa de projetos relacionados e atual estado da tecnologia	17
3.2	Estudo das funcionalidades do Meta Quest 3	17
3.3	Definição dos requisitos	17
3.4	Implementação	17
3.4.1	Primeira Versão	17
3.4.2	Segunda Versão	17
3.5	Validação	18
3.5.1	Testes	18
3.5.2	Validação com usuário	18
4	ESPECIFICAÇÃO DE REQUISITOS	19
4.1	Requisitos Funcionais para primeira versão	19
4.2	Requisitos Funcionais para segunda versão	20
4.3	Requisitos Não Funcionais	20
5	DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	21
5.1	Tecnologias Utilizadas	21
5.1.1	Blender	21
5.1.2	MeshMixer	21
5.1.3	Unity	22
5.1.3.1	SDK Meta	22
5.1.3.2	Scripts	23
5.2	Projeto e Implementação	24
5.2.0.1	Organização dos modelos	24

5.2.0.2	Criação da aplicação e importação dos modelos	24
5.2.0.3	Interação com gestos	24
5.2.0.4	Snap	25
5.2.0.5	Mudar opacidade	25
5.2.0.6	cross section	25
5.2.0.7	Menus e scripts	25
5.3	Testes e Avaliação	26
5.3.1	Testes internos	26

REFERÊNCIAS	27
------------------------------	-----------

1 Introdução

O estudo de anatomia humana, essencial aos futuros profissionais da área da saúde, enfrenta questões bioéticas, de custo, de biossegurança e reprodutibilidade da realidade (TORI et al., 2009)(BATALHA; TORI; FEDOCE, 2020). O uso de cadáveres, ainda considerado essencial por professores e médicos experientes (GRANCHI, 2023), implica em altos custos de manutenção dos laboratórios para receber o material e manter sua conservação, além de enfrentar a questão da pouca disponibilidade de corpos, que depende de doações escassas; os possíveis riscos de contaminação dos envolvidos, quando políticas de biossegurança falham; e as limitações em reproduzir o comportamento do corpo vivo. Tais dificuldades resultam na limitação do acesso dos estudantes ao material, prejudicando sua formação, a depender das instituições e estruturas às quais têm acesso (PAPA et al., 2022).

No caso da Odontologia, há ainda o agravante do mercado ilegal de dentes envolvido no processo de obtenção do material de estudo, que, por vezes, é delegado aos estudantes. Tradicionalmente, os dentes utilizados em disciplinas que envolvem o aprendizado de sua anatomia são solicitados aos próprios estudantes como parte do material de estudo e, apesar de ser crime no Brasil desde 1997 (BRASIL, 1997), ainda existem casos de obtenção dos órgãos via compra direta com coveiros, intermediários ou mesmo outros estudantes do curso, seja por falta de acesso a Bancos de Dentes Humanos ou por conveniência aliada ao desconhecimento da lei (FELIPE et al., 2014) (REGO, 2023) (JRTV, 2023). A necessidade do material coloca os estudantes em situação de perigo de contaminação — já que dentes obtidos por comércio ilegal costumam não ser devidamente tratados e representam risco biológico (PEREIRA, 2012) (NASSIF et al., 2003) — e de ilegalidade, que pode custar-lhes de 3 a 8 anos de reclusão e pagamento de multas (BRASIL, 1997).

A importância do domínio da anatomia se faz muito clara, por exemplo, na endodontia, especialidade da odontologia que estuda as estruturas internas do dente (i.e. a polpa dentária e os canais radiculares), já que o sucesso dos tratamentos de canais performados pelos odontólogos depende integralmente do seu domínio da morfologia dental, para identificar as muitas peculiaridades e anomalias que canais radiculares podem apresentar (GUVEN, 2019). O ensino de anatomia das estruturas internas, além de enfrentar os desafios já citados, depende ainda de maneiras de apresentar aos alunos aquilo que, sem intervenções, é invisível. Dentre diversos métodos possíveis para lidar com a questão, como o uso de exames de imagens e desenhos bidimensionais e modelos 3D impressos ou esculpidos em resina, plásticos, entre outros, figura o uso de modelos tridimensionais virtuais gerados a partir de exames tomográficos (KATO et al., 2016) (O'ROURKE et al., 2020) e, mais atualmente, de soluções de realidade virtual para a

visualização de tais modelos (REYMUS; LIEBERMANN; DIEGRITZ, 2020) (DIEGRITZ et al., 2024)(RESTREPO et al., 2023).

O uso de ambientes virtuais para lidar com os desafios do ensino tradicional de anatomia humana não é uma novidade e vem sendo proposto e implementado já há algumas décadas: atlas virtuais interativos, que apresentam estruturas do corpo humano em diversos pontos de vista, como o *Voxel-Man* (n.d.) 3D Navigator desenvolvido pelo Hospital Universitário da Universidade de Hamburgo, na Alemanha e o *Visible Human Explorer* de North, Shneiderman e Plaisant (1996), por exemplo, datam de meados da década de 90. Não muito depois, em 2003, Rao et al. (2003) já haviam publicado seus resultados na construção de um atlas 3D interativo da anatomia de dentes humanos.

A realidade virtual surgiu nesse contexto como uma solução para aumentar a imersão e interatividade nos ambientes virtuais de aprendizagem. Questões como percepção de profundidade e a necessidade de um método de aprendizado engajante, apontadas por alunos de medicina como importantes qualidades da dissecação de cadáveres (AZER; EIZENBERG, 2007), podem ser exploradas com o uso de tecnologias de realidade virtual, como nas sessões de ensino de anatomia com Powerwall e CAVE (Cave Automatic Virtual Environment) (ver figura 1) descritas por Fairén et al. (2017) e avaliadas pelos estudantes com notas médias superiores a 8 (em uma escala de 0 a 10) no que diz respeito à sua contribuição na compreensão da matéria.

No caso da odontologia, a revisão sistemática performada Koolivand et al. (2024), mostra que o uso de tecnologias de realidade virtual no processo de educação odontológica, além de ser efetivo em seu papel de ensino, pode contribuir para aumentar a autoconfiança dos estudantes e criar um ambiente de ensino mais atrativo. O caráter motivador da realidade virtual no ensino também foi observado por Reymus, Liebermann e Diegritz (2020), que apontam, entre os estudantes participantes de seu estudo, uma preferência pelo uso de realidade virtual em relação a modelos 3D apresentados em vídeo: ainda que ambas as técnicas tenham se mostrado igualmente efetivas, os estudantes alegaram entender melhor o que se buscava ensinar ao utilizar a solução de realidade virtual.

Figura 1 – Exemplo de um CAVE



Fonte: Davepape via Wikimedia Commons

Seguindo o que aparenta ser a tendência da área, este projeto de formatura visa desenvolver uma aplicação em realidade estendida para auxiliar o ensino de anatomia endodôntica, buscando, além de superar as problemáticas já citadas relacionadas ao ensino de anatomia das estruturas internas, explorar ao máximo o potencial que esta tecnologia tem de criar ambientes de ensino efetivos e estimulantes. A aplicação terá como plataforma alvo o headset de realidade virtual Meta Quest 3, por conciliar tecnologia de ponta com preços mais acessíveis.

1.1 Motivação

A proposta do projeto surgiu em parceria com a Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo (FOUSP), que demonstrou interesse em uma solução de realidade virtual que permitisse a visualização de modelos tridimensionais de dentes com seus canais radiculares, a exemplo do que é feito em portais como o Toothlab ([JONGKI et al., 2018](#)) e soluções comerciais como o eHuman 3D Tooth Atlas ([EHUMAN, 2020](#)). Os principais requisitos apresentados para tal solução foram a fidedignidade dos modelos com sua contraparte real e a percepção de tridimensionalidade das estruturas apresentadas. O desenvolvimento de um banco virtual de dentes humanos, através da geração de arquivos STL com modelos 3D de dentes reais submetidos ao processo de microtomografia, é um projeto em curso na FOUSP que viabiliza a criação da aplicação desejada.

Inicialmente a ideia seria criar uma versão imersiva do projeto VIDA Anatomia (TORI, 2022), uma ferramenta de visualização de modelos 3D de estruturas anatômicas da cabeça humana, como músculos, nervos e dentes, e integrar a ela a visualização dos modelos baseados em microtomografia. Por falta de compatibilidade entre os modelos utilizados no VIDA Anatomia e aqueles fornecidos pela FOU SP, a integração entre as aplicações foi postergada para versões futuras, de modo que este projeto de formatura, apelidado pelos autores de VIDA XR, herda da ferramenta VIDA Anatomia apenas o nome e o propósito de auxiliar no ensino de anatomia humana.

Um segundo ponto motivador para a criação do projeto foi a observação de uma tendência de popularização de equipamentos que suportam não apenas aplicações de realidade virtual (VR), tecnologia que permite a imersão, navegação e interação em um ambiente 3D gerado por computador, mas toda a gama de tecnologias abarcadas pelo conceito de realidade estendida (XR). Além da já citada VR, a realidade estendida abrange os conceitos de realidade aumentada (AR), que sobrepõe imagens virtuais ao mundo real (MILGRAM et al., 1994) e realidade híbrida ou mista (HR/MR), que permite a interação de objetos virtuais com objetos e ambientes reais.

Equipamentos com suporte para aplicações XR de qualidade, como o Apple Vision Pro, headset de realidade mista da multinacional norte-americana Apple, e o Varjo XR-4, headset de realidade mista da linha mais atual da empresa finlandesa especializada em equipamentos para VR Varjo, ainda são disponibilizados em faixas de preços destinadas a um público limitado (acima dos 3 mil dólares) (APPLE, 2024) (VARJO, 2024), limitando a adoção dessas aplicações em larga escala.

Nota-se, no entanto, um movimento recente no sentido de tornar essa tecnologia mais acessível, como se observa com o lançamento do Meta Quest 3 em 2023, cuja principal característica é a possibilidade de desfrutar da realidade mista com alta qualidade e preços inferiores a smartphones de topo de linha (PETRYAEVSKAYA, 2023) (META, 2024). A estratégia de criação de linhas acessíveis desse tipo de equipamento pode significar para a realidade estendida o que foi o lançamento do Oculus Rift, em 2013, para realidade virtual, que se popularizou, inclusive em ambientes de ensino, devido ao baixo-custo do aparelho. (CHECA; BUSTILLO, 2020) (SINGH et al., 2023)

Figura 2 – Headset Apple Vision Pro



Fonte: Kyu3a via Wikimedia Commons

Figura 3 – Headset Meta Quest 3



Fonte: Kyu3a via Wikimedia Commons

O uso de tecnologias de realidade virtual e aumentada para visualização de modelos gerados por microtomografia no ensino de anatomia endodôntica, foi encontrada pelos autores, na literatura, em duas ocasiões: nas publicações de [Reymus, Liebermann e Diegritz \(2020\)](#) e [Diegritz et al. \(2024\)](#), respectivamente. O estudo de [Reymus, Liebermann e Diegritz \(2020\)](#), alegadamente o primeiro do tipo, no qual a comparação entre o uso de imagens bidimensionais de radiografias, de modelos 3D visualizados através de vídeos e de uma aplicação em realidade virtual para a visualização dos mesmos modelos, teve como resultado a clara preferência pelo uso da realidade virtual por parte dos alunos participantes, que alegaram maior entendimento das estruturas no último caso. De maneira semelhante, a avaliação de [Diegritz et al. \(2024\)](#), publicada no final julho de 2024, acerca da efetividade de uma aplicação em realidade aumentada para a visualização das estruturas anatômicas de dentes submetidos a microtomografia no ensino de anatomia dental na graduação, teve como resultado a recepção entusiasmada dos estudantes.

A motivação deste trabalho está, portanto, em não apenas desenvolver uma aplicação capaz de ajudar professores e alunos de graduação na Odontologia a superar as dificuldades do ensino de anatomia endodôntica, mas também em dar sequência à exploração daquilo que a tecnologia de XR pode acrescentar a este tipo de solução, alinhando-a às tendências futuras da educação digital, como a incorporação de objetos virtuais ao mundo real, que deve proporcionar uma experiência educacional ainda mais envolvente. Para tanto, será feito uso do Meta Quest 3 e seus recursos, como o rastreamento dos movimentos das mãos, o reconhecimento de gestos e monitoramento do usuário no ambiente.

1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma aplicação imersiva e engajante em realidade estendida para a visualização e interação com modelos 3D de dentes humanos, a

fim de auxiliar no ensino de anatomia dental na graduação, com foco na endodontia.

Figuram como objetivos específicos para alcançar o objetivo principal: a maximização de interações realizadas por meio de gestos naturais, de modo a delegar o mínimo de controle a interações por meio de elementos como botões e semelhantes, que tornam a experiência mais artificial; e o suporte ao compartilhamento do ambiente virtual entre usuários, para facilitar o uso em sala de aula.

Trata-se de uma inovação no campo do ensino de anatomia, alinhada à tendência de crescimento do XR no ensino digital. A iniciativa busca não apenas fornecer uma ferramenta educacional mais envolvente e eficiente, mas também contribuir para o campo da educação em saúde com uma metodologia de ensino renovada e adaptada às tecnologias emergentes.

1.3 Justificativa

O projeto justifica-se na medida em que propõe o desenvolvimento de uma ferramenta que visa tornar o estudo de anatomia mais seguro, menos custoso e de maneira, cada vez mais, fidedigna à experiência de um laboratório tradicional, considerada essencial aos estudantes da saúde (GRANCHI, 2023), além de apresentar uma alternativa ética ao uso de dentes humanos reais em disciplinas de odontologia, podendo vir a mitigar a questão do comércio ilegal envolvido na obtenção dos órgãos (FELIPE et al., 2014)

A opção pelo desenvolvimento de uma solução imersiva justifica-se pelo potencial que ambientes imersivos têm de aumentar a sensação de presença, uma característica-chave para aplicações de realidade virtual voltadas à educação e treinamento de habilidades, sendo apontada, inclusive, como a característica responsável pelo sucesso desse tipo de aplicação na melhoria da absorção do conteúdo por parte dos usuários (GRASSINI; LAUMANN; SKOGSTAD, 2020). Ainda que aplicações não-imersivas de realidade virtual também se provem eficazes para situações de ensino e treinamento, a imersividade oferece ao usuário uma melhor experiência de uso, impactando positivamente na sua percepção do quanto o exercício realmente auxiliou no seu processo de aprendizado e podendo resultar em uma postura mais motivada diante do estudo guiado pela aplicação. (LØNNE et al., 2023)(OMLOR et al., 2022)(GRASSINI; LAUMANN; SKOGSTAD, 2020)(CHECA; BUSTILLO, 2020)

O uso da realidade estendida justifica-se pelo potencial que a tecnologia apresenta para o futuro da educação digital (SINGH et al., 2023), de modo que o projeto assume um papel exploratório desse potencial, podendo embasar trabalhos futuros na área. Além disso, a possibilidade de utilizar realidade misturada para a criação de uma aplicação imersiva permite que haja maior foco nas partes realmente interativas do projeto, sem preocupação com o desenvolvimento de um cenário virtual, necessário em aplicações imersivas de VR,

de modo que aquilo que realmente afetará o aprendizado dos usuários receberá toda a atenção do projeto.

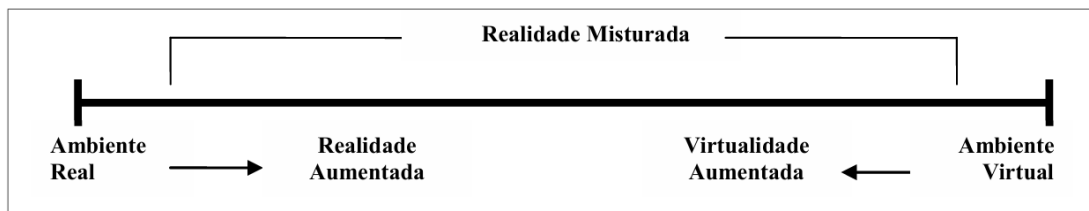
2 Aspectos Conceituais

2.1 Realidade estendida (XR)

O termo realidade estendida (XR) é usado para se referir a um conjunto de conceitos relacionados a tecnologias que combinam o mundo físico e virtual, o que abrange a realidade aumentada (AR), a realidade híbrida (HR) e a realidade virtual (VR). A AR se refere à sobreposição de elementos virtuais, como imagens, a um ambiente real. A HR, também conhecida como realidade mista, possui elementos virtuais e físicos misturados assim como a AR, mas ela proporciona uma integração maior entre eles, permitindo que haja uma interação entre ambos, já que o mundo real é mapeado para garantir a coerência da posição dos objetos virtuais. Já a VR representa um ambiente totalmente virtual, onde existe uma imersão em um cenário simulado sem contato com o mundo real (ANDERSON et al., 2021).

Uma forma de entender a relação entre os conceitos, proposta por Milgram et al. (1994) é o *continuum* da virtualidade, como visto na figura 4 adaptada por (RODELLO et al., 2010) da publicação de Milgram et al. (1994). O *continuum* é caracterizado pela representação de ambientes reais, aquilo que convencionamos como a realidade, e ambientes virtuais, como os representados em aplicações de VR, em extremidades opostas, aquilo que parte do real, i.e. tem mais características relacionadas ao mundo real do que características virtuais, é entendido como a realidade aumentada (AR), enquanto o oposto se denomina virtualidade aumentada (AV). A realidade misturada, mista ou híbrida, diz respeito a tudo aquilo que existe entre as extremidades

Figura 4 – Continuum da virtualidade.



Fonte: (RODELLO et al., 2010)

Um sistema de treinamento para saúde que utiliza a realidade estendida (XR) pode ser descrito como compacto, leve e capaz de fornecer um treinamento clínico personalizado, imersivo e realista. Isso ocorre por conta da sua capacidade de misturar elementos virtuais com reais, criando desde objetos 3D a ambientes completos, em um cenário no qual as

pessoas, ao utilizar um óculos especial, podem interagir. (BURIAN et al., 2022)

2.2 Imersão e Presença

A presença, no contexto de XR e VR, é definida pela [International Society for Presence Research \(2000\)](#) como "[...] um estado psicológico ou uma percepção subjetiva na qual, ainda que a experiência pela qual um indivíduo está passando esteja sendo gerada ou filtrada, total ou parcialmente, por um aparato tecnológico, o indivíduo deixa de reconhecer uma parte ou a totalidade da influência da tecnologia sobre aquela experiência." ([International Society for Presence Research, 2000](#))

Já a imersão é definida por [Slater \(2018\)](#) como "[...] uma propriedade objetiva de um sistema, e a alta ou baixa imersão são classificações do quanto o sistema de realidade virtual é capaz de responder a contingências sensório-motoras para percepção, incluindo respostas a ações de percepção". De modo que sistemas nos quais é possível caminhar ao redor de um objeto para vê-lo de todos os lados ou visualizar o que há embaixo dele ao abaixar-se, são classificados em níveis de imersão mais altos do que sistemas em que só é possível visualizar uma tela, por exemplo. ([SLATER, 2018](#))

Presença é, portanto, uma percepção subjetiva de estar em um ambiente que não necessariamente corresponde ao ambiente físico no qual o indivíduo se encontra, enquanto a imersão é a característica de sistemas de realidade virtual que, ao ser aumentada ou diminuída, deve afetar a sensação de presença experienciada pelo usuário.

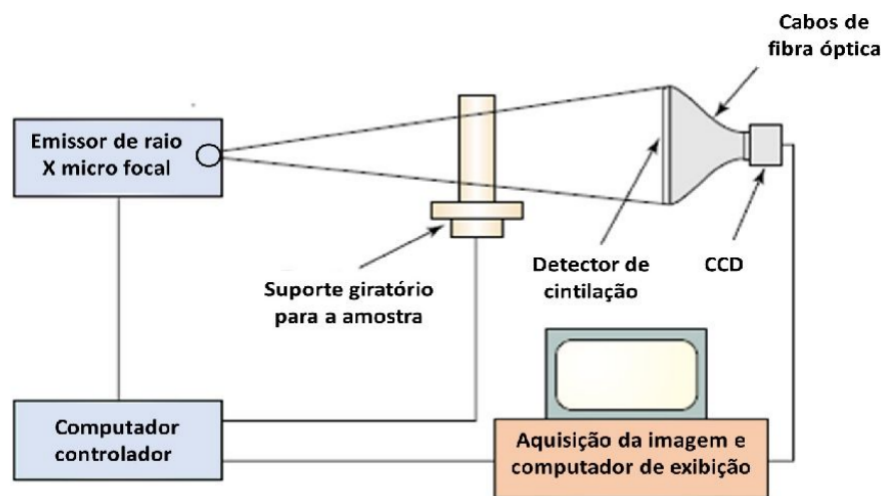
Este projeto busca implementar uma aplicação com alto grau de imersão a fim de fornecer aos usuários a sensação de estar no mesmo ambiente que seu objeto de estudo, ainda que este seja um objeto virtual.

2.3 Geração de modelos 3D por microtomografia

A microtomografia funciona de forma semelhante à tomografia computadorizada clássica, com o diferencial de gerar imagens com maior resolução, sendo capaz de representar microestruturas que poderiam passar despercebidas. O funcionamento da técnica é baseado em feixes de fótons de raios X que são lançados sobre o objeto que se deseja reconstruir e são recebidos do outro lado por um detector, que converte a informação da energia atenuada dos raios em sinais elétricos, essa informação está diretamente ligada à densidade dos materiais pelo qual os raios passaram antes de atingirem o detector. O processo é repetido diversas vezes enquanto o objeto é movido, em geral rotacionado em torno de seu próprio eixo, gerando, para cada seção pela qual os raios passam, um perfil de atenuação, por consequência, densidades. Os dados de densidade são transformados pelo computador

em informação de brilho atribuída a *pixels* gerando uma imagem bidimensional. (QUEIROZ et al., 2019)

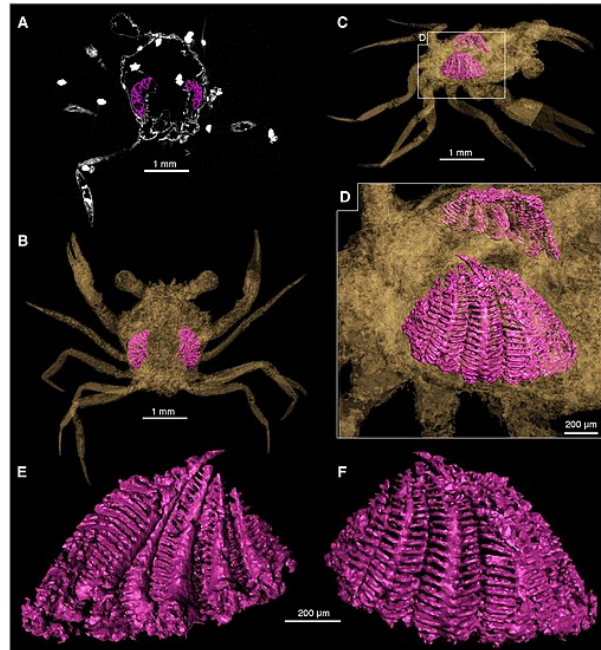
Figura 5 – Esquema de obtenção de imagens por microtomografia. "A amostra é posicionada no suporte giratório entre o emissor de raio X e o sensor de cintilação. As projeções radiográficas são obtidas pelo detector de cintilação, que é conectado a um dispositivo de carga acoplada (CCD), que transforma a luz visível em sinal digital. Durante o escaneamento, o computador controlador configura a intensidade de emissão de raios X e a rotação da amostra, possibilitando a obtenção de centenas de projeções em vários ângulos de incidência." (QUEIROZ et al., 2019)



Fonte: (QUEIROZ et al., 2019) adaptado de (HOLDSWORTH; THORNTON, 2002)

Para reconstrução 3D, as imagens geradas pelas diversas seções do objeto submetido ao processo de tomografia são "unidas", essencialmente transformando *pixels* em *voxels*, por meio de um algoritmo matemático. (QUEIROZ et al., 2019) (PALOMBINI et al., 2017)

Figura 6 – Reconstrução 3D de caranguejo fossilizado a partir de microtomografia. "(A) Seção coronal próxima à base dos pedúnculos oculares capturada por microtomografia. (B) Malha 3D extraída dos dados de microtomografia, reconstruída no VGSTUDIO MAX, editada no MeshLab e visualizada usando Autodesk Maya; vista dorsal mostrando a posição das brânquias. (C) Vista oblíqua lateral direita. (D) Ampliação de (C) mostrando as brânquias direita (embaixo) e esquerda (em cima) vistas do lado direito. (E e F) Ampliação das brânquias direitas vistas de dentro (E) e de fora (F)."(LUQUE et al., 2021)



Fonte: (LUQUE et al., 2021)

Modelos 3D gerados a partir de microtomografia podem ser transformados em arquivos no formato STL, acrônimo para estereolitografia, uma tecnologia de impressão 3D para a qual esse tipo de arquivo foi idealizado. Arquivos STL representam objetos tridimensionais a partir de malhas de triângulos que simulam sua superfície e não representam cor ou textura, nem armazenam dados de densidade dos materiais. Por armazenar apenas o estritamente necessário para reproduzir o formato tridimensional de um objeto, esse tipo de arquivo costuma ser menor do que outras representações de modelos 3D, além de ser um formato de arquivo *open-source*, sendo compatível com praticamente todos os programas de desenho assistido por computador (CAD) e tendo amplo suporte para conversão em outros formatos de arquivos de representação em três dimensões.

2.4 VIDA Anatomia

Vida Anatomia é uma ferramenta criada com o objetivo de facilitar e tornar mais dinâmico o ensino da anatomia por parte dos cursos da área de saúde, principalmente o de

Odontologia (ver figuras 7 e 8). Com foco no rosto humano, alunos e professores podem desfrutar de diversas funcionalidades implementadas, com destaque para as funcionalidades de seleção das estruturas anatômicas e quizzes elaborados por professores (TORI, 2022).

O projeto vem sendo desenvolvido há mais de quatro anos por estudantes e professores de diferentes áreas, como engenharia, design e odontologia, com cada área de estudo trazendo consigo perspectivas e conhecimentos úteis para o desenvolvimento e validação da ferramenta.

O objetivo primordial do Vida Anatomia é ser uma ferramenta interativa disponibilizada aos professores de odontologia para que enriqueçam suas práticas em sala de aula, proporcionando aos alunos uma experiência de aprendizado mais dinâmica e envolvente. Este propósito é alcançado ao possibilitar a manipulação interativa das estruturas faciais, além de incorporar elementos de gamificação para tornar o processo de aprendizado mais cativante e participativo.

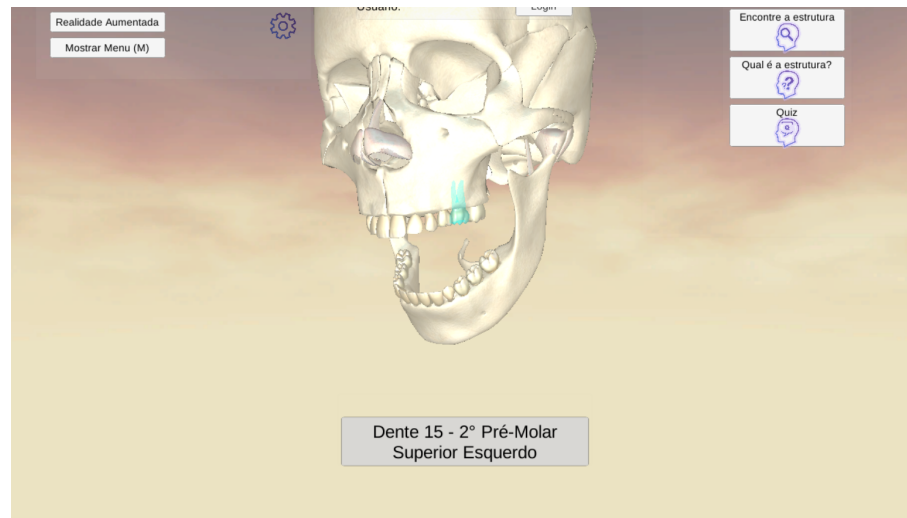
O Vida Anatomia foi desenvolvido usando a linguagem C# e um motor de jogo proprietário criado pela Unity Technologies, o Unity 3D.

Figura 7 – Tela principal da aplicação web do Vida Anatomia



Fonte: Captura de tela da aplicação web. (TORI, 2022)

Figura 8 – VIDA Anatomia com apenas estruturas ósseas, dentes e cartilagens selecionados



Fonte: Captura de tela da aplicação web. (TORI, 2022)

3 Método do trabalho

O projeto deve ser dividido nas seguintes etapas:

3.1 Pesquisa de projetos relacionados e atual estado da tecnologia

Nesta fase, é importante realizar uma revisão da literatura e das soluções de mercado existentes. Isso inclui avaliar aplicativos e plataformas educacionais que utilizem realidade virtual para ensino de anatomia e outras disciplinas relacionadas. O objetivo é entender o que já foi feito, identificar as melhores práticas, tecnologias emergentes e possíveis lacunas que o projeto pode preencher.

3.2 Estudo das funcionalidades do Meta Quest 3

Esta etapa envolve explorar as possibilidades do Meta Quest 3 para entender suas capacidades, limitações e recursos específicos de XR que podem ser aproveitados no desenvolvimento da aplicação. O conhecimento detalhado do dispositivo permitirá projetar uma experiência imersiva que aproveite ao máximo suas tecnologias de rastreamento de movimento e controle gestual.

3.3 Definição dos requisitos

Com base na pesquisa e nos estudos anteriores, essa fase se concentra em especificar claramente os requisitos funcionais e não funcionais do projeto. A definição de requisitos deve ser feita em colaboração com os stakeholders, sobretudo os professores, para garantir que a aplicação atenda às necessidades reais do ensino de odontologia.

3.4 Implementação

3.4.1 Primeira Versão

Implementação dos requisitos mínimos da aplicação, com foco na visualização e interação com os modelos fornecidos pela FOUSP.

3.4.2 Segunda Versão

Adição de funcionalidades adicionais com foco no compartilhamento de visualização dos elementos virtuais entre usuários.

3.5 Validação

3.5.1 Testes

Os testes serão essenciais para garantir a qualidade, usabilidade e eficiência da aplicação. Isso inclui testes técnicos para identificar e corrigir bugs, testes de usabilidade para garantir que a interface é intuitiva e acessível, e avaliações por parte dos professores para verificar se os objetivos de aprendizagem estão sendo atingidos.

3.5.2 Validação com usuário

A fase final é a validação do projeto com professores de odontologia, que são os principais stakeholders. Eles devem avaliar a aplicação em contextos reais de ensino, fornecendo feedback detalhado sobre a experiência na utilização da aplicação.

4 Especificação de Requisitos

Os requisitos para o projeto foram definidos em conjunto com a Professora Mary Caroline Skelton Macedo, docente de endodontia, teleodontologia e metodologia de ensino na FOU SP. A professora apresentou, em um conjunto de reuniões, ideias de funcionalidades para a aplicação que acredita serem úteis em sala de aula, como a possibilidade de movimentação do modelo apresentado em todos os graus de liberdade e a visualização de estruturas internas por meio de controle de opacidade. Durante as reuniões também foram sugeridas funcionalidades adicionais à professora, como o compartilhamento de visão entre usuários, para viabilizar o uso da aplicação em sala de aula, de modo que o professor possa apontar estruturas e características dos dentes aos alunos. Ao fim das reuniões chegou-se ao seguinte conjunto de requisitos:

4.1 Requisitos Funcionais para primeira versão

O usuário deve ser capaz de:

- RF01 - Selecionar o dente que deseja visualizar, retirando-o da base.
- RF02 - Mover a base nos seis graus de liberdade.
- RF03 - Mover o modelo do dente nos seis graus de liberdade.
- RF04 - Controlar a opacidade dos modelos de dentina, de canal e da gengiva do modelo da boca.
- RF05 - Realizar cortes em plano do modelo do dente.
- RF06 - Habilitar a visualização de um modelo do mesmo dente sendo visualizado, pós-procedimento de tratamento de canal.
- RF07 - Mover quadros de menu.
- RF08 - Minimizar menus.
- RF09 - Passthrough
- RF10 - Controlar tamanho do dente com gestos

Para uma primeira versão da aplicação, os autores decidiram incluir apenas requisitos independentes de acesso à rede, então, nessa versão deve ser possível interagir com os modelos de dentes e da base, onde eles serão posicionados na inicialização do

aplicativo, através da movimentação deles em todos os graus de liberdade ao realizar o gesto de segurá-los, como um objeto real que está sendo segurado em sua mão. Também deverá ser possível visualizar estruturas internas ao controlar a opacidade das estruturas do dente sendo visualizado através de *sliders* em um menu flutuante ou, a depender do modo de visualização selecionado, realizando cortes em plano do modelo, cuja posição de corte também será controlada por *sliders* em um menu flutuante. Deverá ser possível, ainda, habilitar a visualização e interação com um segundo modelo do dente selecionado, mas em situação de pós-procedimento de tratamento de canal.

A seleção do dente a ser visualizado ocorrerá através do gesto de tirá-lo da base em que será posicionado inicialmente. Tal ato resultará ainda no crescimento do modelo para facilitar a visualização de suas estruturas. Deverá ser possível retornar o dente à base aproximando-o suficientemente dela.

Os menus flutuantes surgirão apenas quando úteis, poderão ser minimizados para não causar poluição visual e movimentados para qualquer posição que se queira, para facilitar seu uso.

4.2 Requisitos Funcionais para segunda versão

O usuário deve ser capaz de:

- RF09 - Compartilhar sua visão do modelo com outros usuários. Neste modo, apenas o usuário compartilhador poderá interagir com os modelos.
- RF10 - Realizar avaliações gamificadas.

Para a segunda versão da aplicação serão adicionadas as funcionalidades dependentes da rede: o modo de compartilhamento da visualização dos modelos e funcionalidades referentes a gamificações.

4.3 Requisitos Não Funcionais

- RNF01 - Ser compatível com o Oculus Quest 3 da Meta.
- RNF02 - Ter interface limpa e intuitiva.

Os requisitos não funcionais definidos concordam com o objetivo de criação de uma aplicação imersiva, engajante e compatível com tecnologias emergentes e custeáveis.

5 Desenvolvimento do Trabalho

5.1 Tecnologias Utilizadas

No desenvolvimento do projeto, foram utilizadas diferentes tecnologias para alcançar os resultados desejados. O Blender e o MeshMixer desempenharam um papel importante na correção de imperfeições em modelos STL de dentes fornecidos, foram principalmente utilizados para a remodelagem de um modelo de arcada dentária e para o preenchimento do canal em alguns dos dentes. Esse processo de refinamento e ajuste garantiu maior precisão nos detalhes anatômicos.

Por outro lado, o Unity e o SDK da meta foram utilizados para gerar a aplicação interativa, sendo responsável pela comunicação com os óculos de realidade virtual (VR). Através dessa integração, foi possível proporcionar uma experiência imersiva e interativa, permitindo a visualização dos modelos dentários em um ambiente tridimensional.

5.1.1 Blender

O Blender é um software de modelagem 3D, animação e renderização amplamente utilizado por artistas, designers e desenvolvedores em diversos setores, incluindo cinema, jogos e design de produtos. Ele oferece uma variedade de ferramentas avançadas para criação de objetos tridimensionais, esculpir modelos, aplicar texturas, iluminação, e até mesmo animações. Sendo de código aberto e altamente personalizável, o Blender permite a criação de modelos detalhados e a edição de malhas 3D, além de oferecer suporte a uma ampla gama de formatos de arquivo, como STL, OBJ e FBX. Ele é uma escolha popular por sua versatilidade, desempenho e integração com outros softwares e pipelines de produção. Para o nosso contexto, o Blender foi utilizado principalmente para otimizar os modelos STL de dentes que foram disponibilizados pelas professoras de Odontologia. Os modelos originais eram muito pesados, com uma alta quantidade de vértices, o que gerava problemas de desempenho no Unity e nos óculos de realidade virtual, causando travamentos. A solução foi reduzir a quantidade de vértices, tornando os modelos mais leves e adequados para renderização sem comprometer a qualidade visual.

5.1.2 MeshMixer

O Meshmixer é uma ferramenta poderosa e versátil para edição de modelos 3D. Desenvolvido pela Autodesk, o software permite ajustar, corrigir, modificar e preparar modelos 3D para diversas finalidades. Em situações específicas, como quando recebemos um modelo digital de um dente sem o canal, o Meshmixer se tornou uma solução mais

prática e eficiente do que o Blender. A ferramenta oferece funcionalidades avançadas para criar e manipular geometrias artificiais, facilitando a geração de um objeto que ocupa o espaço do canal ausente no modelo original. Além disso, ajustes finos e otimização podem ser feitos para garantir que a forma resultante seja anatômica e adequada para o propósito clínico ou de pesquisa.

5.1.3 Unity

O Unity é uma plataforma de desenvolvimento de jogos e aplicações interativas em tempo real, usada em uma ampla gama de indústrias, desde o desenvolvimento de videogames até simulações, realidade aumentada (AR) e realidade virtual (VR). Com uma interface amigável e suporte a múltiplas plataformas, o Unity permite que desenvolvedores criem experiências interativas em 2D, 3D e VR/AR de forma eficiente. Ele oferece uma robusta biblioteca de ferramentas para criação de ambientes visuais, programação de comportamentos, física, som e integração com diversos dispositivos, incluindo dispositivos de realidade virtual. Seu motor de renderização em tempo real e sua flexibilidade tornam-no uma das plataformas mais utilizadas na criação de experiências interativas imersivas.

A interação dos elementos em cena é conduzida por dois principais componentes: o SDK Meta e os Scripts personalizados desenvolvidos em C#.

5.1.3.1 SDK Meta

O SDK da Meta para Unity fornece uma base de desenvolvimento robusta para aplicações de realidade virtual (VR) e realidade aumentada (AR) em dispositivos Meta Quest. Utilizando prefabs, o SDK simplifica a criação de experiências imersivas e interativas, oferecendo componentes otimizados que agilizam a implementação e asseguram consistência nas funcionalidades.

- **Camera Rig:** Este Building Block inclui o TrackingSpace, que define o espaço de rastreamento da câmera e possibilita captar o movimento do usuário dentro do ambiente VR.
- **Interaction:** Esse Building Block abrange os componentes que permitem a interação do usuário com o ambiente virtual. Inclui o OVRHmd, que gerencia o dispositivo de cabeça (Head Mounted Display - HMD), capturando a posição e orientação da cabeça do usuário para melhorar a imersão.
- **Hand Interactions:** Este componente permite interações manuais realistas no ambiente virtual, com LeftHand e RightHand, representando as mãos do usuário em VR.
- **Controller Interactions:** Gerencia a interação do usuário por meio de controladores físicos. Este componente permite manipulação precisa de objetos e interação

com a interface utilizando gestos e botões dos controladores, proporcionando uma experiência intuitiva.

- Passthrough: Com o `OVRPassthroughLayer`, este Building Block permite que o usuário veja o ambiente real ao seu redor através das câmeras externas do dispositivo Quest. Esse recurso é particularmente valioso para experiências de realidade aumentada (AR) e realidade misturada (MR), combinando o ambiente físico com elementos virtuais.

5.1.3.2 Scripts

Os scripts personalizados no Unity, escritos em `C#`, são associados a objetos para adicionar funcionalidades específicas, permitindo interações detalhadas e personalizáveis com os modelos 3D. Esses scripts possibilitam a criação de uma interface intuitiva para exploração e visualização detalhada dos dentes e outras estruturas.

- `ChangeMaterial.cs`: Este script altera o material aplicado aos objetos, permitindo mudanças visuais nos dentes, como textura ou cor.
- `CrossSectionPlane.cs`: Cria um plano de corte no modelo, permitindo visualizar o interior dos dentes. Isso facilita a análise das estruturas internas e é fundamental para fins educativos.
- `MaterialAlphaChange.cs`: Ajusta a opacidade dos materiais, controlando a transparência para permitir que o usuário visualize estruturas internas sem ocultar o contexto externo do modelo.
- `MovePlaneSlider.cs`: Vinculado a um controle deslizante, este script permite ao usuário mover um plano de corte em tempo real, facilitando a exploração do modelo em diferentes profundidades e ângulos.
- `MinimizeCanvas.cs`: Habilita a minimização de interfaces de usuário, mantendo o foco na interação com o modelo 3D e liberando espaço na tela.
- `SelectTeeth.cs`: Permite a seleção de dentes específicos, proporcionando um estudo detalhado e a interação com cada dente individualmente, ideal para práticas educacionais.
- `ShowTeeth.cs`: Controla a visibilidade dos dentes, permitindo que eles sejam exibidos ou ocultados conforme necessário. Isso é útil para focar em grupos específicos ou alternar entre diferentes áreas da anatomia.
- `ToggleObjectVisibility.cs`: Alterna a visibilidade dos objetos no ambiente VR, complementando o script "`ShowTeeth.cs`" ao permitir uma gestão mais ampla da visualização dos elementos na cena.

- TeethDropdown.cs: Possibilita, via dropdown, a escolha da versão pós procedimento do dente que está aumentado.

Esses scripts, em conjunto com o SDK Meta, criam uma plataforma de interação completa e intuitiva, onde o usuário pode explorar, manipular e analisar detalhadamente as estruturas em VR.

5.2 Projeto e Implementação

- Passamos bastante tempo tentando usar o simulador da meta - Passamos um tempo tentando pegar dados do firebase - Dificuldade com trabalho paralelo - git não consegue dar merge muito bem - foi necessário criar cenas diferentes e só quando já estivesse na branch master, passar para a cena main - Tentamos deixar o mínimo de controles possível no menu, sendo a maioria gestos - Pegamos um modelo de boca gratuito que não possuía o ciso e não tinha uma estrutura parecida com os modelos de boca usados pelos dentistas, que tem um suporte. Foram feitas modificações no blender, mas no final compramos outro modelo por conta do ciso, que já vinha com o formato de suporte. - A iza testou vários tipos de versionamento? Unity, git lfs, smart merge da unity, plastic scm - problema sempre ao tentar mergear mudanças em uma mesma cena

5.2.0.1 Organização dos modelos

- Ver nome dos dentes recebidos - Limpar impurezas e reduzir tamanho dos modelos de dentes (diminuir o número de vértices) para conseguir renderizar no oculos - Pesquisar um modelo de boca (problema pois o gratuito não possuía o ciso e foi necessário comprar um outro modelo) - Consertar o modelo da boca (usando o mesh mixer) - Gerar os modelos dos canais que não foram enviados

5.2.0.2 Criação da aplicação e importação dos modelos

- Importação do modelo dos dentes - Importação do modelos dos canais - Importação do modelo da boca - Encaixe do canal no dente - Encaixe do dente na boca - biblioteca da meta sdk all já adiciona todos os pacotes necessários • RF09 - Passthrough

5.2.0.3 Interação com gestos

- Adição de interação com os dentes - adicionou scripts de interação da meta? - adicionar building block, olhar o objeto que ele adiciona, criar seu próprio objeto e colocar os mesmos scripts • RF02 - Mover a base nos seis graus de liberdade. • RF03 - Mover o modelo do dente nos seis graus de liberdade. • RF10 - Controlar tamanho do dente com gestos

5.2.0.4 Snap

- RF01 - Selecionar o dente que deseja visualizar, retirando-o da base.

5.2.0.5 Mudar opacidade

- Mudar opacidade do dente, do canal e da gengiva • RF04 - Controlar a opacidade dos modelos de dentina, de canal e da gengiva do modelo da boca. - Tivemos que mudar a pipeline pra URP pra renderizar bem essa transparência

5.2.0.6 cross section

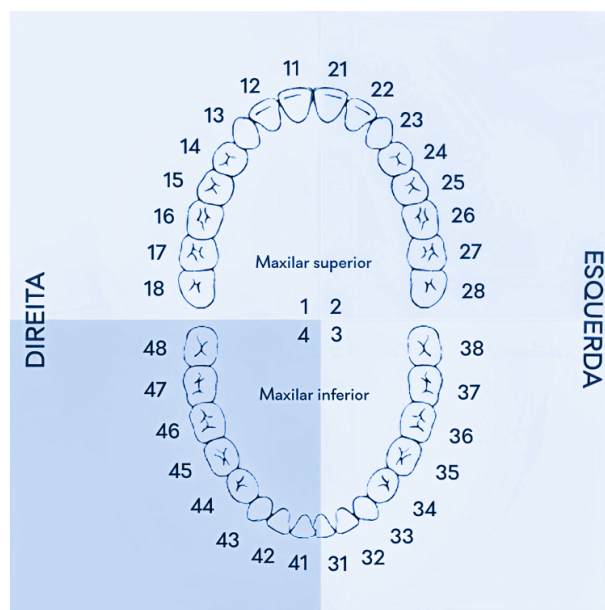
• RF05 - Realizar cortes em plano do modelo. - dificuldade porque o modelo .obj não representa volume - duas etapas - mudar o material/opacidade do dente de acordo com o movimento de um plano (como a iza consertou o bug da posição do plano?) - cortar o plano para que ele só apareça na área de intersecção entre o dente e ele, como uma seção transversal, simulando um volume

5.2.0.7 Menus e scripts

• RF06 - Habilitar a visualização de um modelo do mesmo dente sendo visualizado pós-procedimento de tratamento de canal. • RF07 - Mover quadros de menu. • RF08 - Minimizar menus. - Dificuldade para colocar interação gestual com os botões

Inicialmente, a professora Mary Macedo da faculdade de odontologia da USP disponibilizou os modelos em arquivos STL de 3 dentes diferentes: o 46, o 37 e o 36, seguindo a numeração da Federação Dentária Internacional (FDI) mostrada na figura 9. Cada um dos modelos possui a duas versões: uma de antes e outra de depois de passar por um procedimento. Além disso, também foi enviado o modelo do canal das duas versões do dente 36.

Figura 9 – Mapeamento da arcária permanente seguindo a numeração da Federação Dentária Internacional (FDI)



(CODENTAL, 2024)

Os modelos STL precisaram passar por um processo de ajuste, para remover impurezas não relacionadas ao dente e também para diminuir o nível de detalhe. O arquivo veio muito grande, então não era possível renderizar o modelo com o alto nível de detalhamento inicial no unity. O tamanho foi reduzido de X para Y, mas continuou fiel a versão real dos dentes.

O primeiro passo consistiu em criar um projeto no unity e conseguir inserir o modelo STL de um dos dentes dentro da aplicação.

5.3 Testes e Avaliação

O processo de avaliação do projeto foi estruturado em duas etapas, detalhadas neste capítulo: a primeira incluiu testes internos, conduzidos ao longo do desenvolvimento da aplicação; a segunda envolveu testes com potenciais usuários, realizados na fase de conclusão do projeto.

5.3.1 Testes internos

Referências

ANDERSON, A. et al. Framework for developing alternative reality environments to engineer large, complex systems. *Virtual Reality*, v. 25, p. 147163, 2021. ISSN 1434-9957. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10055-020-00448-4#citeas>>. Citado na página 11.

APPLE. *Apple Vision Pro*. 2024. Disponível em: <<https://www.apple.com/apple-vision-pro/>>. Citado na página 7.

AZER, S. A.; EIZENBERG, N. Do we need dissection in an integrated problem-based learning medical course? perceptions of first- and second-year students. *Surgical and Radiologic Anatomy*, v. 29, p. 173–180, 03 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00276-007-0180-x>>. Citado na página 5.

BATALHA, P.; TORI, R.; FEDOCE, R. Educação imersiva no ensino de enfermagem: Aplicação da realidade virtual no estudo da anatomia humana. In: *Anais dos Trabalhos de Conclusão de Curso. Pós-Graduação em Computação Aplicada à Educação Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação*. [s.n.], 2020. Disponível em: <https://especializacao.icmc.usp.br/documentos/tcc/paulo_batalha.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2024. Citado na página 4.

BRASIL. Lei dos transplantes de Órgãos | lei nº 9.434, de 4 de fevereiro de 1997. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 1997. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19434.htm>. Citado na página 4.

BURIAN, B. et al. Using extended reality (xr) for medical training and real-time clinical support during deep space missions. *Applied Ergonomics*, v. 106, p. 103902, 2022. ISSN 0003-6870. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003687022002253>>. Citado na página 12.

CHECA, D.; BUSTILLO, A. A review of immersive virtual reality serious games to enhance learning and training. *Multimed Tools Appl*, v. 79, p. 5501–5527, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11042-019-08348-9>>. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 9.

CODENTAL. *Numeração dos dentes: aprenda tudo sobre*. 2024. Disponível em: <<https://www.codental.com.br/blog/numeracao-dos-dentes-aprenda-tudo-sobre/>>. Acesso em: 17 nov. 2024. Citado na página 26.

DIEGRITZ, C. et al. Tooth anatomy inspector: A comprehensive assessment of an extended reality (xr) application designed for teaching and learning of root canal anatomy by students. *International Endodontic Journal*, n/a, n. n/a, jul 2024. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/iej.14124>>. Citado 2 vezes nas páginas 5 e 8.

EHUMAN. *eHuman*. 2020. Disponível em: <<https://ehuman.com/>>. Citado na página 6.

FAIRÉN, M. et al. Virtual reality to teach anatomys. In: *Eurographics Proceedings - Education Papers*. The Eurographics Association, 2017. p. 51–58. Disponível em:

<<https://diglib.eg.org/bitstream/handle/10.2312/eged20171026/051-058.pdf>>. Citado na página 5.

FELIPE, E. F. et al. Aspectos éticos da obtenção de dentes por estudantes de uma graduação em odontologia. *Revista Bioética*, v. 22, n. 1, p. 171–175, 2014. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/bioet/a/dkWrdmbtmHdKShyxJSYLLQQ/>>. Acesso em: 13 abr. 2024. Citado 2 vezes nas páginas 4 e 9.

GRANCHI, G. *A falta crônica de cadáveres que prejudica formação de médicos no Brasil*. 2023. BBC News Brasil. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/articles/ell02nvqg5zo>>. Acesso em: 22 fev. 2024. Citado 2 vezes nas páginas 4 e 9.

GRASSINI, S.; LAUMANN, K.; SKOGSTAD, M. R. The use of virtual reality alone does not promote training performance (but sense of presence does). *Frontiers Psychology*, v. 11, 07 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01743>>. Citado na página 9.

GUVEN, E. P. Root canal morphology and anatomy. In: AKARSLAN, Z.; BOURZGUI, F. (Ed.). *Human Teeth*. Rijeka: IntechOpen, 2019. cap. 9. Disponível em: <<https://doi.org/10.5772/intechopen.86096>>. Citado na página 4.

HOLDSWORTH, D. W.; THORNTON, M. M. Micro-ct in small animal and specimen imaging. *Trends in Biotechnology*, v. 20, n. 8, p. S34–S39, 2002. ISSN 0167-7799. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167779902020048>>. Citado na página 13.

International Society for Presence Research. *The Concept of Presence: Explication Statement*. 2000. Disponível em: <<https://smcsites.com/ispr/>>. Acesso em: 18 mar. 2024. Citado na página 12.

JONGKI, L. et al. *ToothLab*. 2018. Disponível em: <<http://toothlab.org/>>. Citado na página 6.

JRTV. *Apenas 71 das faculdades de Odontologia no Brasil têm bancos de dentes*. 2023. Notícias R7 - JR na TV. Disponível em: <<https://noticias.r7.com/jr-na-tv/videos/apenas-71-das-faculdades-de-odontologia-no-brasil-tem-bancos-de-dentes-28052023/>>. Acesso em: 13 abr. 2024. Citado na página 4.

KATO, A. et al. Three-dimensional imaging of internal tooth structures: Applications in dental education. *Journal of Oral Biosciences*, v. 58, jun 2016. Citado na página 4.

KOOLIVAND, H. et al. Comparison of the effectiveness of virtual reality-based education and conventional teaching methods in dental education: a systematic review. *BMC Medical Education*, v. 24, 01 2024. Citado na página 5.

LUQUE, J. et al. Crab in amber reveals an early colonization of nonmarine environments during the cretaceous. *Science Advances*, v. 7, n. 43, p. eabj5689, 2021. Disponível em: <<https://www.science.org/doi/abs/10.1126/sciadv.abj5689>>. Citado na página 14.

LØNNE, T. F. et al. The effect of immersion on sense of presence and affect when experiencing an educational scenario in virtual reality: A randomized controlled study. *Heliyon*, v. 9, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17196>>. Citado na página 9.

META. *Meta Quest 3*. 2024. Disponível em: <<https://www.meta.com/quest/quest-3/>>. Citado na página 7.

MILGRAM, P. et al. Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *Telemanipulator and Telepresence Technologies*, v. 2351, 01 1994. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 11.

NASSIF, A. C. d. S. et al. Estruturação de um banco de dentes humanos. *Pesquisa Odontológica Brasileira*, v. 17, n. 1, 2003. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/pob/a/XH6qLXJYxXr6vcxjX79g3vk/abstract/?lang=pt#>>. Acesso em: 13 abr. 2024. Citado na página 4.

NORTH, C.; SHNEIDERMAN, B.; PLAISANT, C. Visual information seeking in digital image libraries: The visible human explorer. p. 74–82, 04 1996. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228607075_Visual_Information_Seeking_in_Digital_Image_Libraries_The_Visible_Human_Explorer>. Citado na página 5.

OMLOR, A. J. et al. Comparison of immersive and non-immersive virtual reality videos as substitute for in-hospital teaching during coronavirus lockdown: a survey with graduate medical students in germany. *Medical education online*, v. 27, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/10872981.2022.2101417>>. Citado na página 9.

O'ROURKE, J. C. et al. How can we show you, if you can't see it? trialing the use of an interactive three-dimensional micro-ct model in medical education. *Anatomical Sciences Education*, John Wiley Sons Inc., v. 13, n. 2, p. 206–217, mar 2020. ISSN 1935-9772. Citado na página 4.

PALOMBINI, F. et al. Design, biônica e novos paradigmas: uso de tecnologias 3d para análise e caracterização aplicadas em anatomia vegetal. *Design Tecnologia*, v. 7, p. 46–56, 06 2017. Citado na página 13.

PAPA, V. et al. One year of anatomy teaching and learning in the outbreak: Has the covid-19 pandemic marked the end of a century-old practice? a systematic review. *Anatomical Sciences Education*, v. 15, n. 2, p. 261–280, 2022. Disponível em: <<https://anatomypubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ase.2162>>. Citado na página 4.

PEREIRA, D. Q. Banco de dentes humanos no brasil: revisão de literatura. *Revista da ABENO*, v. 12, n. 2, 2012. Disponível em: <http://revodonto.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-59542012000200007>. Acesso em: 13 abr. 2024. Citado na página 4.

PETRYAEVSKAYA, I. *How the Meta Quest 3 and eXtended Reality (XR) will impact your business*. 2023. Tech Finitive. Disponível em: <<https://www.techfinitive.com/features/how-the-meta-quest-3-and-extended-reality-xr-will-impact-your-business/>>. Acesso em: 16 mar. 2024. Citado na página 7.

QUEIROZ, P. J. B. et al. Microtomografia computadorizada: Princípios de funcionamento e utilização em amostras biológicas. *Enciclopédia Biosfera*, 2019. Citado na página 13.

RAO, A. K. et al. 3-d interactive atlas of human tooth anatomy. *International Congress Series*, v. 1256, p. 93–98, 2003. ISSN 0531-5131. CARS 2003. Computer Assisted Radiology and Surgery. Proceedings of the 17th International Congress and Exhibition.

Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0531513103004114>>. Citado na página 5.

REGO, B. *Universidade no interior da Bahia denuncia compra ilegal de dentes em cemitérios; saiba detalhes*. 2023. BNews.

Disponível em: <<https://www.bnews.com.br/noticias/denuncia/universidade-no-interior-da-bahia-denuncia-compra-ilegal-de-dentes-em-cemiterios-saiba-detalhes.html>>. Acesso em: 13 abr. 2024. Citado na página 4.

RESTREPO, I. et al. Anatomía de la cámara pulpar y sistema de conductos radiculares: Estrategias pedagógicas una revisión de literatura. *Revista Estomatología*, v. 31, p. 12694, 10 2023. Citado na página 5.

REYMUS, M.; LIEBERMANN, A.; DIEGRITZ, C. Virtual reality: an effective tool for teaching root canal anatomy to undergraduate dental students – a preliminary study. *International Endodontic Journal*, v. 53, n. 11, p. 1581–1587, 2020. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/iej.13380>>. Citado 2 vezes nas páginas 5 e 8.

RODELLO, I. et al. Realidade misturada: Conceitos, ferramentas e aplicações. *Revista Brasileira de Computação Aplicada*, v. 2, 01 2010. Citado na página 11.

SINGH, J. et al. Exploring the evolving landscape of extended reality (xr) technology. In: *2023 3rd International Conference on Smart Generation Computing, Communication and Networking (SMART GENCON)*. [s.n.], 2023. p. 1–6. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/10442251>>. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 9.

SLATER, M. Immersion and the illusion of presence in virtual reality. *British Journal of Psychology*, v. 109, p. 431–433, 2018. Disponível em: <<https://publicationslist.org/data/melslater/ref-344/bjop.12305.pdf>>. Citado na página 12.

TORI, R. *VIDAnatomia*. 2022. Disponível em: <<https://rtori.github.io/>>. Citado 3 vezes nas páginas 7, 15 e 16.

TORI, R. et al. Vida: atlas anatômico 3d interativo para treinamento a distância. In: *Workshop de Informática na Escola - WIE*. [S.l.]: Sociedade Brasileira de Computação, 2009. Citado na página 4.

VARJO. *Varjo XR-4 Series*. 2024. Disponível em: <<https://varjo.com/products/xr-4/>>. Citado na página 7.

VOXEL-MAN. *About VOXEL-MAN*. n.d. Disponível em: <<https://www.voxel-man.com/about/>>. Acesso em: 22 fev. 2024. Citado na página 5.