

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
Computação 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

Agradecimentos

Gostaríamos de expressar nossa gratidão ao Professor Dr. Ricardo Nakamura e ao Professor Dr. Romero Tori, cujas orientações foram indispensáveis para o desenvolvimento deste trabalho. Suas experiências e ideias foram fundamentais para superar os desafios enfrentados ao longo do projeto.

Agradecemos também, de forma especial, à Professora Dra. Mary Caroline Skelton Macedo, que com toda sua generosidade, paciência e *expertise* em odontologia nos ofereceu suporte essencial em todos os momentos. Seu entusiasmo contagiate e suas palavras repletas de alegria nos motivaram a buscar a melhor qualidade em nosso trabalho.

Gostaríamos ainda de expressar nosso profundo agradecimento a nossos pais, pelo apoio incondicional, paciência e incentivo em cada etapa desta jornada. Seus sacrifícios diários foram fundamentais para que pudéssemos chegar até aqui.

Agradecemos, por fim, aos amigos, com quem compartilhamos as alegrias e as dores dos anos de graduação.

A todos, nosso mais sincero agradecimento.

“It’s still magic even if you know how it’s done.”

Terry Pratchett

Resumo

Diante dos desafios enfrentados no ensino de anatomia odontológica, como a limitação de materiais biológicos, altos custos de manutenção de laboratórios e questões de biossegurança, o presente trabalho apresenta o VIDA XR, uma aplicação de realidade estendida (XR) para o *headset* Meta Quest 3, com o objetivo de oferecer uma alternativa acessível ao ensino tradicional. O desenvolvimento utilizou ferramentas como Blender e MeshMixer para modelagem e processamento de dentes e estruturas anatômicas, além do Unity e do SDK de realidade estendida da Meta para a implementação de uma experiência imersiva baseada em interações gestuais. A aplicação permite a manipulação de modelos tridimensionais detalhados de dentes humanos, gerados a partir de exames tomográficos, com funcionalidades como ajuste de opacidade de diferentes camadas, cortes para visualização de seções transversais e comparação entre versões pré e pós-procedimento odontológico. Avaliações realizadas com professores e alunos de pós-graduação da Faculdade de Odontologia da USP destacaram sua aceitação positiva como recurso didático inovador, evidenciando o impacto transformador que ferramentas de realidade estendida podem ter no ensino odontológico. Os resultados mostram que a aplicação não substitui por completo os métodos de ensino tradicional, mas representa um excelente complemento a eles e traz soluções eficazes a problemas que métodos anteriores não resolviam. Por fim, o VIDA XR demonstra potencial para modernizar o aprendizado, promovendo uma formação interativa, prática e visualmente enriquecedora, com possibilidades de ampla implementação futura.

Palavras-chave: Realidade Estendida. Ensino de Odontologia. Educação Imersiva. Meta Quest 3. Unity. Endodontia.

Abstract

This study presents VIDA XR, an extended reality (XR) application for the Meta Quest 3 headset, aimed at offering Dentistry Schools a way of facing the challenges of teaching dental anatomy, such as the limitation of biological materials, high laboratory maintenance costs, and biosafety issues, by presenting itself as an accessible alternative to traditional teaching methods. The development used tools such as Blender and MeshMixer for modeling and processing teeth and anatomical structures, as well as Unity and the Meta XR SDK for implementing an immersive experience based on gestural interactions. The application allows for the manipulation of detailed 3D models of human teeth, generated from computed tomography scans, with functionalities such as layer opacity adjustments, cross-sectional visualizations, and comparisons between pre-procedure and post-procedure versions of the teeth. Evaluations conducted with professors and postgraduate students from the University of São Paulo School of Dentistry highlighted its positive acceptance as an innovative educational tool, showcasing the transformative impact extended reality tools can have on dental education. The evaluators considered that the application can't fully replace traditional methods, but represents a valuable addition to them, solving issues that previous teaching methods couldn't. Finally, VIDA XR demonstrates potential to modernize learning, offering an interactive, practical, and visually enriching educational experience, with possibilities for a wider implementation in the future.

Keywords: Extended Reality. Dental Education. Immersive Learning. Meta Quest 3. Unity. Endodontics.

Listas de ilustrações

Figura 1 – Exemplo de um CAVE	13
Figura 2 – <i>Headset</i> Apple Vision Pro	15
Figura 3 – <i>Headset</i> Meta Quest 3	15
Figura 4 – Continuum da virtualidade	18
Figura 5 – Esquema de obtenção de imagens por microtomografia	20
Figura 6 – Reconstrução 3D de caranguejo fossilizado a partir de microtomografia	21
Figura 7 – Tela principal da aplicação web do VIDA Anatomia	22
Figura 8 – VIDA Anatomia com apenas estruturas ósseas, dentes e cartilagens selecionados	23
Figura 9 – Mapeamento da arcária permanente seguindo a numeração da Federação Dentária Internacional (FDI)	31
Figura 10 – Modelo STL do dente 46 pré-procedimento	32
Figura 11 – Modelo STL do dente 46 pós-procedimento	32
Figura 12 – Modelo STL do canal do dente 46 pré-procedimento	32
Figura 13 – Modelo STL do canal do dente 46 pós-procedimento	32
Figura 14 – Modelo STL do dente com impurezas	33
Figura 15 – Modelo STL do canal do dente 36 pré-procedimento, gerado usando o MeshMixer	33
Figura 16 – Modelo usado no laboratório da Faculdade de Odontologia da USP . .	34
Figura 17 – Modelo usado na aplicação VIDA XR	34
Figura 18 – Integração de elementos virtuais ao mundo real na aplicação VIDA XR	35
Figura 19 – Possíveis formas de interação usando as mãos e as ferramentas do SDK da Meta	38
Figura 20 – Uso da ferramenta de ajuste de opacidade do dente	40
Figura 21 – Uso da ferramenta de visualização da secção transversal do dente . .	41
Figura 22 – Menu inicial da aplicação VIDA XR	42
Figura 23 – Menu com controles dos elementos do modelo da boca	43
Figura 24 – Visualização do dente depois de ser retirado do modelo da boca na aplicação VIDA XR	44
Figura 25 – Visualização dos dentes depois que uma versão pós-procedimento é selecionada na aplicação VIDA XR	45
Figura 26 – Tempo de GPU da aplicação ao longo da seção	47
Figura 27 – Frame rate médio ao longo da seção	47
Figura 28 – Porcentagens de uso da CPU e da GPU ao longo da seção	48
Figura 29 – Níveis da CPU e da GPU ao longo da seção	48
Figura 30 – Porcentagem de bateria ao longo da seção	49

Figura 31 – Redefinição de tamanho.	67
Figura 32 – Seleção da ferramenta de decimação.	68
Figura 33 – Decimação de triângulos.	68
Figura 34 – Modo de edição.	69
Figura 35 – Seleção de impurezas.	69
Figura 36 – Exclusão.	70
Figura 37 – Exportação do modelo em formato .obj.	71

Sumário

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Motivação	13
1.2	Objetivos	15
1.3	Justificativa	16
1.4	Organização do Trabalho	17
2	ASPECTOS CONCEITUAIS	18
2.1	Realidade estendida (XR)	18
2.2	Imersão e Presença	19
2.3	Geração de modelos 3D por microtomografia	19
2.4	VIDA Anatomia	22
3	MÉTODO DO TRABALHO	24
3.1	Pesquisa de projetos relacionados e atual estado da tecnologia	24
3.2	Estudo das funcionalidades do Meta Quest 3	24
3.3	Definição dos requisitos	24
3.4	Implementação	24
3.5	Validação	25
3.5.1	Testes	25
3.5.2	Validação com usuário	25
4	ESPECIFICAÇÃO DE REQUISITOS	26
4.1	Requisitos Funcionais	26
4.2	Requisitos Não Funcionais	27
5	DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	28
5.1	Tecnologias Utilizadas	28
5.1.1	Blender	28
5.1.2	MeshMixer	29
5.1.3	Unity	29
5.1.3.1	SDK Meta XR	30
5.2	Projeto e Implementação	30
5.2.1	Organização dos modelos	31
5.2.2	Criação da aplicação	35
5.2.3	Scripts de autoria própria	36
5.2.4	Interação com gestos	37

5.2.5	Controle de opacidade	39
5.2.6	Visualização da secção transversal	40
5.2.7	Menus	42
5.3	Testes e Avaliação	45
5.3.1	Testes internos	46
5.3.1.1	Avaliação de desempenho no <i>headset</i>	46
5.3.1.1.1	Resultados	46
5.3.1.2	Testes Funcionais	49
5.3.1.2.1	Interação de agarrar (Hand Grab)	49
5.3.1.2.2	Interação com menus	50
5.3.1.2.3	Interação Snap (seleção e desseleção)	50
5.3.1.2.4	Controle de opacidade	51
5.3.1.2.5	Corte em seções	51
5.3.1.2.6	Seleção de modelo pós-procedimento	51
5.3.2	Validação na Faculdade de Odontologia da USP	52
5.3.2.1	Resultados dos Formulários	52
5.3.2.1.1	Influências externas: Percepções sobre a endodontia e experiência prévia com realidade virtual	52
5.3.2.1.2	Usabilidade e Interação com a Aplicação	53
5.3.2.1.3	Utilidade Educacional	54
5.3.2.1.4	Imersão	54
5.3.2.1.5	Aspectos Gráficos e Menus	55
5.3.2.1.6	Comentários e Sugestões	55
5.3.2.2	Observações Presenciais	56
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
6.1	Conclusões do Projeto de Formatura	57
6.2	Contribuições	57
6.3	Trabalhos Futuros	58
6.3.1	Modelo da Boca	58
6.3.2	Dentes Modificados	59
6.3.3	Mudança de Ângulo do Plano de Corte	59
6.3.4	Aperfeiçoamento de Textura	59
6.3.5	Representação de Múltiplos Procedimentos em um Mesmo Dente	59
6.3.6	Conexão com Internet	59
6.3.7	Ambiente Compartilhado	60
	REFERÊNCIAS	61

APÊNDICES	66
APÊNDICE A – PROCESSO DE AJUSTE DOS MODELOS STL NO BLENDER	67
APÊNDICE B – FORMULÁRIO DE VALIDAÇÃO	72

1 Introdução

O estudo de anatomia humana, essencial aos futuros profissionais da área da saúde, enfrenta questões bioéticas, de custo, de biossegurança e reproduzibilidade 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 FOUSP, 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 (vide figura 2), *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 (vide figura 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, 2024b](#)). 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 à 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; o desenvolvimento de alternativas para visualização detalhada de estruturas internas do dente; e a garantia de que a aplicação seja intuitiva e simples de ser utilizada, permitindo que usuários de diferentes níveis de experiência possam interagir com facilidade e facilitando sua adoção por alunos e professores em sala de aula.

Trata-se de uma inovação no campo do ensino de anatomia, alinhada à tendência de crescimento da 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.

1.4 Organização do Trabalho

O trabalho foi dividido em capítulos de modo a facilitar sua compreensão.

- Capítulo 1 - Introdução

Apresenta a ideia geral do trabalho, seus objetivos, motivações, justificativas e a estrutura em que está organizado.

- Capítulo 2 - Aspectos Conceituais

Apresenta definição de conceitos que serão essenciais ao entendimento do projeto através da leitura apenas da presente monografia.

- Capítulo 3 - Metodologia

Descreve as etapas adotadas para o desenvolvimento e organização do projeto.

- Capítulo 4 - Especificação de requisitos

Apresenta os requisitos funcionais e não funcionais levantados no planejamento do projeto e que deverão ser apresentados nos resultados.

- Capítulo 5 - Desenvolvimento

Relata o processo de desenvolvimento da aplicação, as tecnologias utilizadas e os desafios envolvidos. Apresenta ainda os processos de testes e validações e seus resultados.

- Capítulo 6 - Considerações Finais

Conclui o trabalho apresentando resultados finais e discutindo limitações e possíveis futuras melhorias.

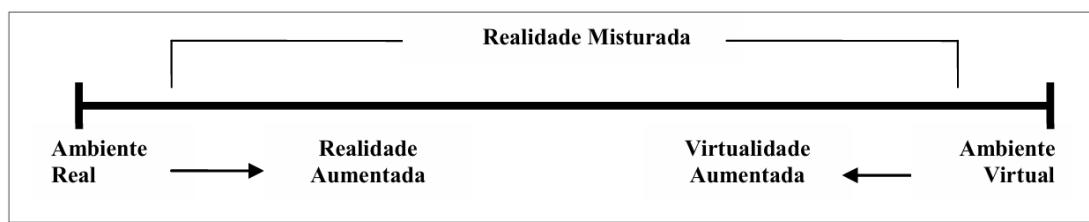
2 Aspectos Conceituais

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, que convencionamos como a realidade, e de ambientes virtuais, como aqueles representados em aplicações de VR, situados em extremidades opostas. Aquilo que parte do real, ou seja, apresenta mais características relacionadas ao mundo real do que ao virtual, é entendido como realidade aumentada (AR), enquanto o oposto, que enfatiza características virtuais, é denominado virtualidade aumentada (AV). Já a realidade misturada, também chamada de 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.

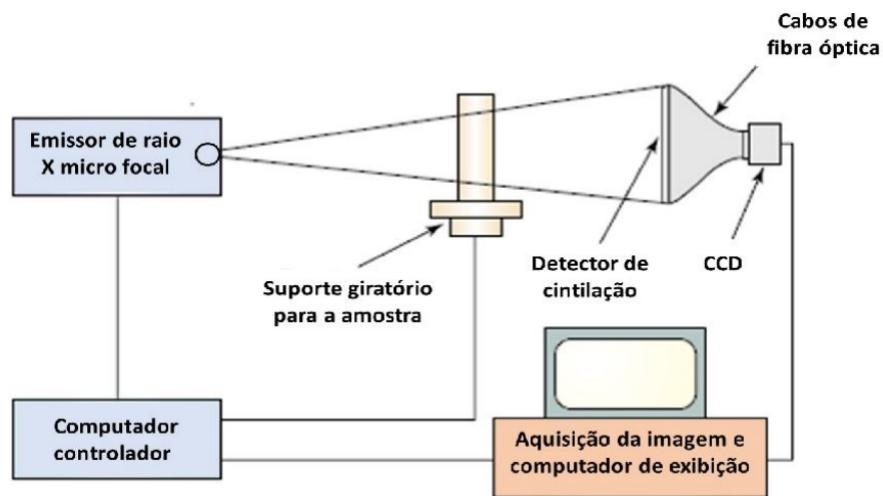
Este projeto busca implementar uma aplicação com alto grau de imersão a fim de fornecer aos usuários a sensação de estar no mesmo ambiente que seu objeto de estudo, ainda que este seja um objeto virtual.

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 fôtons 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 pelos quais 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). A figura 5 ilustra o processo:

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, 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)

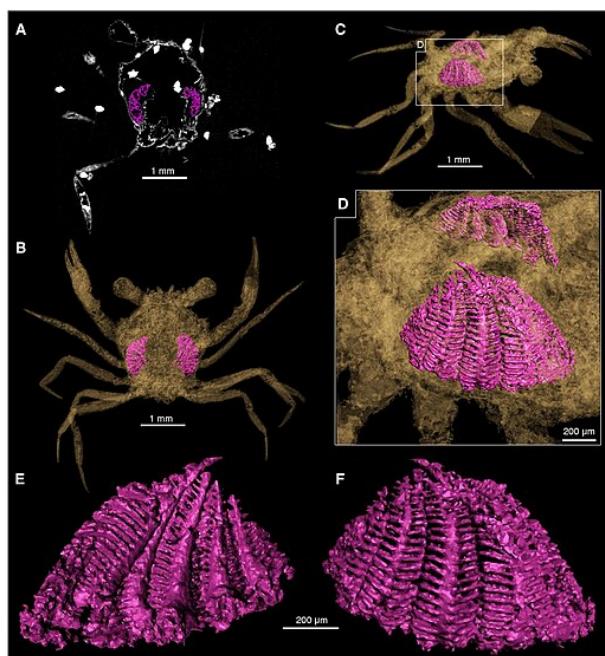


Fonte: (QUEIROZ et al., 2019) adaptado de (HOLDSWORTH; THORNTON, 2002).

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). A figura 6 mostra a reconstrução de um modelo 3D obtido através de microtomografia:

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.

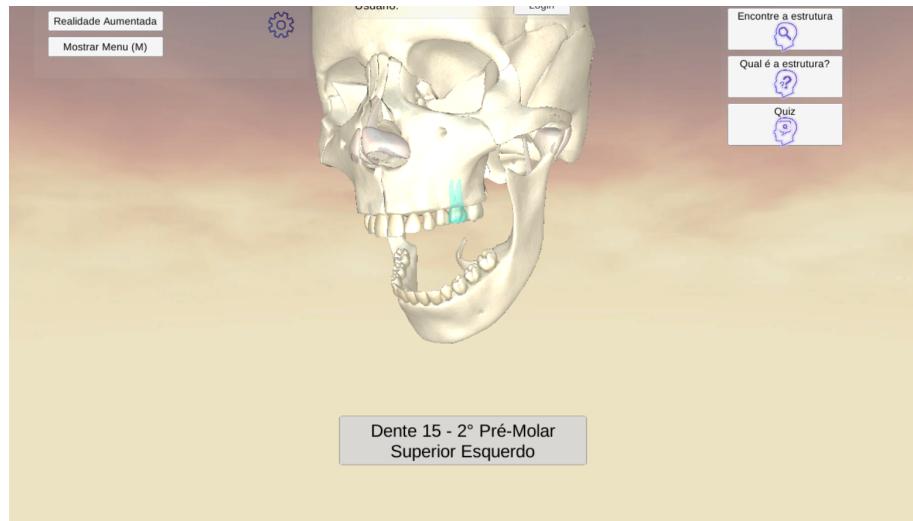
O VIDA Anatomia foi desenvolvido usando a linguagem C# e um motor de jogo proprietário criado pela Unity Technologies, o Unity 3D.

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 foi 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

1. **Visualização dos modelos STL no óculos:** Implementação dos requisitos mínimos da aplicação, com foco na visualização e interação básica com os modelos fornecidos pela FOUSP.
2. **Visualização das estruturas internas:** Implementação das funcionalidades de visualização interna: controle da opacidade e corte em seções.
3. **Mecanismo de seleção dos dentes:** Implementação do mecanismo de seleção dos dentes, retirando-os da boca, e dos efeitos da seleção e da sua anulação.

4. **Ajustes e correção de *bugs* de integração:** Realização de ajustes na experiência e correção de *bugs* encontrados durante testes preliminares.

As etapas de implementação não são necessariamente sequenciais e podem ter se sobreposto, em caso de disponibilidade dos desenvolvedores ou em casos em que alguma funcionalidade demandou mais tempo de desenvolvimento do que o previsto.

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 testes de performance da aplicação no *headset*.

3.5.2 Validação com usuário

A fase final é a validação do projeto com professores e alunos 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 FOUSP. 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 dos modelos apresentados em todos os graus de liberdade e a visualização de estruturas internas por meio de controle de opacidade. Outros pontos importantes foram levantados pelos autores e orientadores, mais voltados à experiência de uso, como possibilidade de mover e minimizar menus. Ao fim das reuniões chegou-se ao seguinte conjunto de requisitos:

4.1 Requisitos Funcionais

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 duas versões de um mesmo dente, simultaneamente: uma antes e outra após a realização de um procedimento odontológico.
- RF07 - Mover quadros de menu.
- RF08 - Minimizar menus.
- RF09 - Permitir a visualização do ambiente físico ao redor, integrando elementos virtuais ao mundo real.
- RF10 - Controlar o tamanho dos dentes por meio de gestos naturais.

Para essa versão da aplicação, os autores decidiram incluir apenas requisitos independentes de acesso à rede, então, 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 através do uso 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 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.

Pontos que foram levantados durante as reuniões e que precisariam de acesso à rede, como compartilhamento de ambiente entre usuários e gamificações usando bancos de dados em nuvem, foram considerados complexos dentro do tempo delimitado para entrega do projeto, mas seriam requisitos interessantes para possíveis futuras iterações da aplicação.

5 Desenvolvimento do Trabalho

5.1 Tecnologias Utilizadas

No desenvolvimento do projeto, foram utilizadas diferentes tecnologias para alcançar os resultados desejados. Dentre elas, programas para criação e edição de modelos 3D, *game engines* e pacotes de *software* específicos para desenvolvimento em realidade estendida.

O Blender e o MeshMixer desempenharam um papel importante na correção de imperfeições nos modelos STL de dentes fornecidos e na redução dos arquivos, mantendo a fidelidade das representações, através da diminuição do número triângulos nas malhas. Esses programas foram utilizados ainda para a remodelagem de um modelo de arcada dentária e para a obtenção de modelos de canais que não foram fornecidos. Esse processo de refinamento e ajuste garantiu uma melhor visualização dos detalhes anatômicos importantes e a possibilidade do uso dos modelos no Meta Quest 3 sem dificuldades de renderização.

Para o desenvolvimento de uma aplicação para Meta Quest 3 foi utilizado a *game engine* Unity (2022.3.29) equipada com o pacote de desenvolvimento da Meta para realidade estendida (Meta XR All-In-One SDK v69.0), que fornece uma série de funcionalidades essenciais para integração com o *headset*, além de uma vasta biblioteca com *scripts* que funcionam como interfaces para acessar os recursos oferecidos pelo *headset* de forma otimizada.

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 e convertê-los para o formato de arquivo aceito pela *game engine* utilizada. 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, além disso, foi necessário converter os arquivos do formato .stl para o formato .obj, para sua utilização dentro do Unity. O Blender também foi utilizado para a limpeza dos modelos, através da remoção de artefatos indesejados gerados no processamento das imagens de microtomografia, além de pequenos ajustes, como inversão de normais nas faces, quando necessário.

5.1.2 MeshMixer

O Meshmixer é uma ferramenta poderosa e versátil para edição de modelos tridimensionais, especialmente para modelos utilizados em impressão 3D. Desenvolvido pela Autodesk, o *software* permite ajustar, corrigir, modificar e preparar modelos 3D para diversas finalidades.

Em situações específicas, como no caso dos modelos digitais de dentes sem o modelo do canal correspondente, o Meshmixer se tornou uma solução mais prática e eficiente do que o Blender. A ferramenta oferece funcionalidades avançadas para criar e manipular objetos virtuais, como a seleção precisa dos triângulos nas malhas, facilitando a geração de um objeto que é uma réplica das estruturas internas do modelo original. Além disso, ajustes finos e otimização podem ser feitos para garantir que a forma resultante seja adequada para o propósito da aplicação.

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 em 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. A comunidade construída em torno da plataforma também é um fator chave para seu sucesso, já que os fóruns, sempre bastante ativos, permitem que os desenvolvedores se ajudem a superar os desafios encontrados. É ainda uma das poucas *game engines* com suporte ao kit de desenvolvimento para o Meta Quest, ao lado da Unreal Engine. A plataforma foi escolhida, também, por ter sido utilizada em projetos anteriores do Interlab, que inspiraram este projeto, como o VIDA Anatomia ([TORI, 2022](#)).

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

5.1.3.1 SDK Meta XR

O *software development kit* de realidade estendida da Meta para Unity (Meta XR All-In-One SDK) fornece uma base de desenvolvimento robusta para aplicações de realidade virtual (VR) e realidade aumentada (AR) em dispositivos Meta Quest. Utilizando prefabs (objetos pré-configurados que podem ser adicionados aos projetos Unity) e *script* próprios, o SDK simplifica a criação de experiências imersivas e interativas, oferecendo componentes otimizados que agilizam a implementação e asseguram consistência nas funcionalidades.

Dentre as funcionalidades oferecidas pelo SDK destacam-se:

- Camera Rig: Este prefab define o espaço de rastreamento da câmera, seu ponto de origem, permite a configuração das imagens exibidas no *headset*, além de captar o movimento do usuário dentro do ambiente VR e permitir a configuração do SDK como um todo. É o principal objeto do pacote de funcionalidades fornecido pela Meta.
- Interaction: Este conjunto de *script* e objetos 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 os objetos *LeftHand* e *RightHand*, representando as mãos do usuário em VR. Inclui a função de rastreamento do movimento das mãos.
- Controller Interactions: Gerencia a interação do usuário por meio dos controles físicos. Este componente permite manipulação precisa de objetos e interação com a interface utilizando a movimentação e botões dos controles.
- Passthrough: Com o *OVRPassthroughLayer*, este prefab 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.

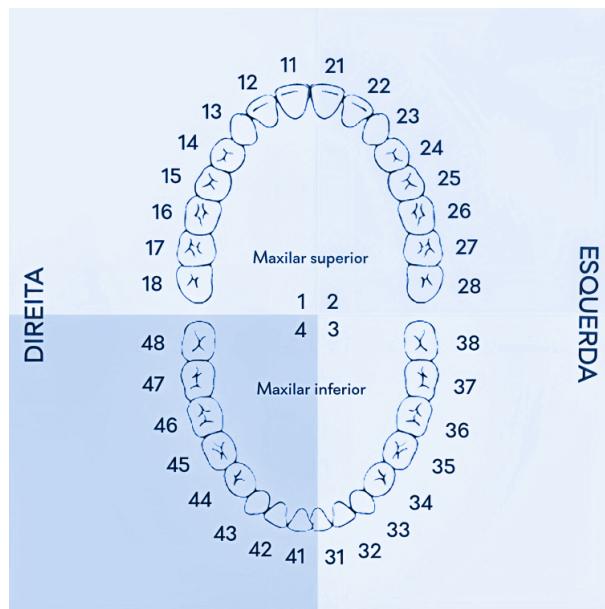
5.2 Projeto e Implementação

O capítulo de projeto e implementação descreve o processo de desenvolvimento da aplicação VIDA XR. A seguir, são detalhadas as etapas realizadas, as principais decisões tomadas e os desafios enfrentados durante o desenvolvimento.

5.2.1 Organização dos modelos

Inicialmente, a Professora Doutora Mary Caroline Macedo, da Faculdade de Odontologia da USP, forneceu modelos STL de três dentes: 46 (primeiro molar inferior direito), 37 (segundo molar inferior esquerdo) e 36 (primeiro molar inferior esquerdo), seguindo a numeração da Federação Dentária Internacional (FDI), mostrada na figura 9.

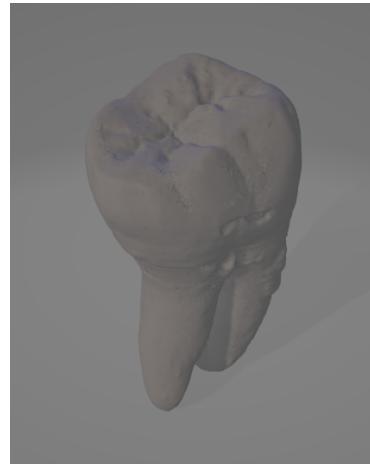
Figura 9 – Mapeamento da arcária permanente seguindo a numeração da Federação Dentária Internacional (FDI)



Fonte: ([CODENTAL, 2024](#)).

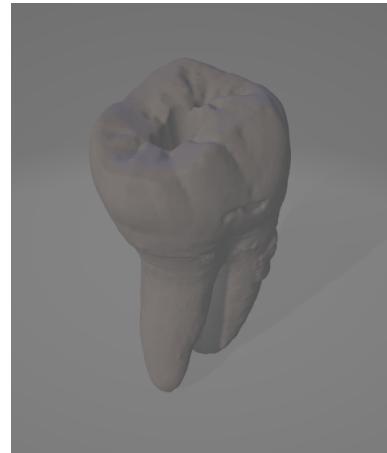
Para cada dente foram enviadas duas versões: uma antes e outra após a realização de um procedimento odontológico chamado acesso endodôntico com preparação do canal. Nas figuras 10 e 11, é possível ver as duas versões do dente 46, por exemplo. Também foram fornecidos os modelos STL dos canais das duas versões do dente 46, mostrados nas figuras 12 e 13.

Figura 10 – Modelo STL do dente 46 pré-procedimento



Fonte: Autores.

Figura 11 – Modelo STL do dente 46 pós-procedimento



Fonte: Autores.

Figura 12 – Modelo STL do canal do dente 46 pré-procedimento



Fonte: Autores.

Figura 13 – Modelo STL do canal do dente 46 pós-procedimento



Fonte: Autores.

Esses modelos originalmente tinham um nível de detalhamento muito grande, além de algumas impurezas como as mostradas na figura 14, fazendo com que o óculos Meta Quest 3 não conseguisse renderizá-los. Assim, foi necessário realizar alguns ajustes para tornar viável o seu uso na aplicação. A ferramenta Blender foi utilizada para remover as impurezas, reduzir o número de vértices dos modelos originais, ainda preservando a fidelidade anatômica e converter o formato de arquivo para ser compatível com o Unity, como descrito no [Apêndice A](#),

Figura 14 – Modelo STL do dente com impurezas



Fonte: Autores.

Para conseguir proporcionar a mesma experiência de uso das funcionalidades da aplicação desenvolvida com todos os dentes fornecidos, foi necessário gerar os modelos 3D dos canais dos dentes 36 e 37. Isso foi feito usando o programa MeshMixer, tomando como base os espaços vazios internos do modelo de cada dente para gerar um objeto semelhante ao seu canal. Por conta disso, o canal desses dentes é apenas semelhante, e não idêntico, à versão real, como ocorre com o dente 46. Comparando as figuras 12 e 15 é possível observar a diferença entre o nível de detalhamento.

Figura 15 – Modelo STL do canal do dente 36 pré-procedimento, gerado usando o MeshMixer



Fonte: Autores.

Ademais, buscando aproximar a experiência digital a de um laboratório de ensino, foi necessário obter o modelo de uma boca com a arcada dentária completa de um adulto,

para ser usada como uma base para o posicionamento dos dentes. Na figura 16, é possível ver um modelo usado na Faculdade de Odontologia, que foi utilizado como inspiração.

Figura 16 – Modelo usado no laboratório da Faculdade de Odontologia da USP



Fonte: Autores.

Durante as pesquisas, apenas uma versão gratuita foi encontrada ([NIKISHIN, 2022](#)), mas esta apresentava limitações, como a ausência dos dentes do siso e a falta de uma estrutura de suporte semelhante a troquéis usados em odontologia. Embora um tempo tenha sido gasto tentando melhorá-la com ferramentas de modelagem como o Blender, no fim, optou-se pela compra de um modelo mais completo ([LASHKO, 2015](#)), que atendeu melhor aos requisitos do projeto, mostrado na figura 17.

Figura 17 – Modelo usado na aplicação VIDA XR



Fonte: Autores.

Do modelo gratuito anterior, utilizou-se apenas o material da gengiva, que foi atribuído ao novo modelo, com algumas modificações para que se assemelhasse a uma gengiva artificial, sem brilho ou características excessivamente realistas.

5.2.2 Criação da aplicação

O desenvolvimento da aplicação teve início com a criação de um projeto no Unity e a instalação do pacote Meta XR All-in-One SDK, que fornece um conjunto abrangente de ferramentas para o desenvolvimento de aplicações de realidade estendida no *headset* Meta Quest 3. Entre essas ferramentas estão os *building blocks*, uma biblioteca de funcionalidades pré-configuradas que podem ser facilmente integradas ao projeto, permitindo a implementação de recursos avançados sem a necessidade de desenvolvê-los do zero.

Os primeiros *building blocks* integrados ao projeto foram o Camera Rig e o Passthrough. O Camera Rig estabeleceu a estrutura básica para rastreamento e interações com o ambiente virtual, enquanto o Passthrough permitiu a visualização do ambiente físico real do usuário, integrando elementos virtuais ao mundo real, como mostrado na figura 18. Essa funcionalidade contribuiu para aproximar a experiência de um ambiente de laboratório de ensino, já que a ideia é utilizar o próprio ambiente de um laboratório ou uma sala de aula reais como paisagem, criando um cenário mais imersivo e dinâmico.

Figura 18 – Integração de elementos virtuais ao mundo real na aplicação VIDA XR



Fonte: Autores.

Com essa base inicial configurada, os modelos ajustados de dentes, canais e boca

foram importados para o Unity e posicionados adequadamente. Os canais foram encaixados dentro dos dentes correspondentes, e os dentes organizados na estrutura da boca, garantindo alinhamento e fidelidade anatômica para as interações futuras.

Como apenas três modelos de dentes reais estavam disponíveis, foram mantidos como *placeholders*, no modelo da boca, os dentes falsos que eram parte do seu conjunto, com exceção das posições em que os modelos gerados por microtomografia ocupavam. Os materiais usados nos dentes realistas são diferentes dos atribuídos aos dentes falsos, que são completamente brancos, de forma que é fácil diferenciá-los, como é possível ver na figura 17. A ideia é que a medida que novos modelos sejam disponibilizados eles substituam os *placeholders* que ocupam suas posições.

5.2.3 Scripts de autoria própria

Além das funcionalidades disponibilizadas pelo SDK, foi preciso criar *scripts* próprios utilizando C# e bibliotecas voltadas para aplicações em Unity, a fim de associar aos objetos os comportamentos desejados na aplicação:

- **Controle de Minimização de Canvas**

`CanvasMinimizationControl.cs` gerencia a minimização de elementos gráficos, alternando entre estados de visualização detalhada e compacta. Este controle é essencial para otimizar o espaço de trabalho e facilitar o foco em elementos principais.

- **Exibição de Instruções**

`GuidelinesExhibitionControl.cs` gerencia a exibição de instruções de interação, permitindo alternância dinâmica entre visibilidade de canvas. O *script* garante que as instruções acompanhem os movimentos do canvas principal.

- **Controle de Transparência de Material**

`MaterialAlphaChangeControl.cs` ajusta a opacidade de materiais utilizando *sliders*. Este controle é importante para destacar diferentes camadas anatômicas de forma interativa.

- **Controle de Material para Dentes**

`MaterialControl.cs` combina múltiplos materiais e modos de visualização, como transparências e cortes seccionais, permitindo uma análise detalhada das estruturas dentárias.

- **Controle de Procedimentos Pós-Intervenção**

`PostProcedureDropdownControl.cs` gerencia as opções pós-intervenção odontológica, exibindo dentes e ajustando propriedades conforme o procedimento selecionado.

- **Controle de Saída do Jogo**

`QuitGameControl.cs` implementa a funcionalidade de encerrar a aplicação.

- **Controle de Crescimento do Dente**

`ToothGrowthControl.cs` controla a escala dos dentes quando selecionados ou desselecionados.

Esses *scripts*, em conjunto com os fornecidos pelo SDK da Meta, criam a experiência completa da aplicação.

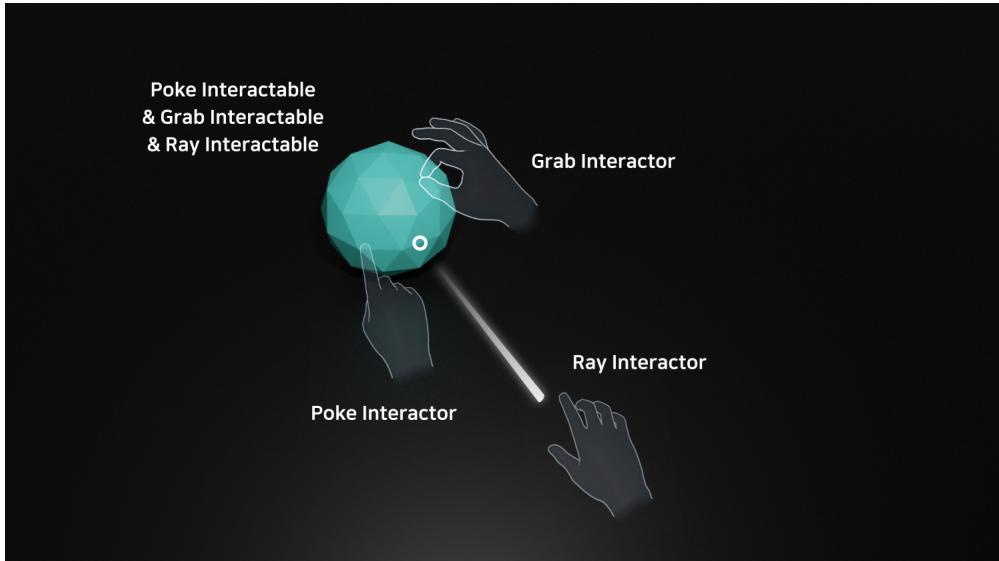
5.2.4 Interação com gestos

Para oferecer uma experiência imersiva, foi priorizada a interação natural com os objetos, por meio de gestos. Para tal foram utilizadas algumas ferramentas pré-prontas do Meta SDK. O primeiro passo consistiu em adicionar o *building block hand tracking* do Meta SDK, que habilita o rastreamento das mãos, permitindo que estas possam ser usadas para interagir com os elementos da aplicação que roda no óculos.

Todos os menus da aplicação permitem três tipos de interação com os seus elementos, como mostrado na figura 19. Todas foram implementadas usando ferramentas do SDK da Meta que precisaram ser configuradas para se adequarem as necessidades do projeto:

- HandGrabInteraction: Permite agarrar os objetos com as mãos.
- PokeInteraction: Permite interagir com botões ou superfícies pequenas ao tocar diretamente com mãos.
- RayInteraction: Permite interagir com objetos ou interfaces a distância, projetando um raio a partir das mãos que indica o alvo e ao fechar as mãos usando um movimento de pinça, seleciona o objeto.

Figura 19 – Possíveis formas de interação usando as mãos e as ferramentas do SDK da Meta



Fonte: ([PARK, 2024](#)).

Todos os outros objetos utilizam apenas a interação do tipo HandGrab dentre as três mencionadas acima, ou seja, podem ser agarrados com as mãos, movidos e girados em todos os graus de liberdade.

Aos modelos de dentes realistas também foi acrescentado um segundo tipo de interação disponível nos *scripts* de HandGrab: a mudança da escala do objeto quando segurado com as duas mãos (aproximando-as o objeto diminui, afastando-as ele aumenta). Para todos os dentes os limites de escala foram configurados entre 1 e 10 vezes o tamanho do objeto, sendo 1 o tamanho do dente quando associado ao modelo da boca.

Por fim, a interação entre o dente e a boca, onde o primeiro encaixa em uma posição específica da segunda, ao ocorrer aproximação, foi desenvolvida utilizando uma ferramenta de interação chamada *Snap*, que também faz parte do SDK da Meta e precisou ser bem configurada para atender às necessidades do projeto. As posições dos objetos aos quais os *scripts* dessa interação estão associados, tanto os objetos que serão movidos, quanto os que representam a posição a ser ocupada, precisam estar bem alinhadas para que a interação seja reconhecida e que a posição ocupada seja exatamente a desejada, de maneira que o dente não pareça torto na boca ou simplesmente ocupe uma outra posição qualquer. Diversas tentativas de configuração desse *script* foram feitas antes de chegar a um resultado satisfatório e sem *bugs*. Dentre todas, foi a interação mais complexa para configurar.

A interação de *Snap* foi utilizada como ferramenta de seleção e desseleção dos dentes: apenas um dente por vez pode ser manipulado na aplicação (note que modelos que representam o mesmo dente podem ser manipulados ao mesmo tempo), então para

definir qual dente estará sendo manipulado é necessário retirá-lo da boca, ou seja, desfazer a interação *Snap*. A esse evento, de retirar o dente, estão associadas diversas ações: o menu de manipulação de dentes é ativado e aparece em cena; deixa de ser possível retirar os demais dentes da boca; o *script* de controle do material do dente, que permite as funcionalidades de mudança de opacidade e corte em seções, é ativado para aquele dente e os botões e *sliders* do menu passam a ser associados a ele; o dente é marcado para crescer uma vez que o usuário o solte. No caminho oposto, ao aproximar o dente da posição que ele deveria ocupar na boca a interação *Snap* é ativada e ações revertendo aquelas disparadas na seleção se iniciam: o menu do dente é reiniciado e desativado; passa a ser possível interagir com qualquer um dos três modelos disponíveis na boca; o controle de material é desassociado de qualquer dente; e o dente desselecionado volta ao tamanho original.

Aos processos de seleção e desseleção dos dentes, descritos acima, estão associados quatro *scripts* próprios: **MaterialControl**, que é inicializado ou encerrado sempre que um dente é selecionado ou devolvido à boca, respectivamente; **ToothGrowthControl** que inicia o processo de crescimento do dente quando ele é selecionado (o dente selecionado é instantaneamente ampliado em 5 vezes, para melhor visualização de detalhes) e garante que ele estará do tamanho correto (escala 1) quando retornado à boca; **PostProcedureDropdownControl**, que controla o *dropdown* de seleção de modelos pós-tratamento, presente no menu de controle do dente selecionado e é inicializado e encerrado a cada seleção e desseleção; e o **CanvasMinimizationControl** associado ao menu do dente, que garante que após a desseleção, o menu volta ao seu estado padrão (não-minimizado).

5.2.5 Controle de opacidade

Uma funcionalidade essencial foi o ajuste da opacidade de diferentes camadas, como dentina, canal e gengiva, cujo uso pode ser observado na figura 20. Para alcançar uma renderização de transparência adequada, foi necessário migrar o projeto para a Universal Render Pipeline (URP), que melhor suporta efeitos visuais avançados.

Figura 20 – Uso da ferramenta de ajuste de opacidade do dente



Fonte: Autores.

O controle da opacidade é feito com o uso de um componente presente no menu chamado *slider*, existindo um para cada camada citada acima. O valor do *slider* é usado para definir o valor do parâmetro que define a opacidade do material do objeto, deixando mais transparente quanto menor for e mais opaco quanto maior for. Este controle, associando o valor do *slider* à opacidade dos materiais, é feito pelos *scripts* `MaterialControl`, no caso de dentes selecionados e `MaterialAlphaChangeControl`, no caso da gengiva e dentes associados à boca.

Para que essa funcionalidade fosse possível foi necessário gerar materiais a partir de *shaders* personalizados, que conferiam a possibilidade de mudança do valor da transparência do material, utilizando a ferramenta Shader Graph do Unity. Os *shaders* gerados para tal foram o `TransparencyShader`, que pode gerar um material com qualquer cor dentro da escala RGB e permite o controle da sua opacidade através da mudança do componente de transparência (A, no código RBGA) da cor base, utilizado para gerar o material utilizado nos canais; e o `TransparencyShader2nd` que funciona de forma semelhante, mas permite também a atribuição de texturas e outros mapas de superfície aos materiais, tendo sido usado para objetos que necessitavam materiais mais complexos, como os dentes e a gengiva do modelo da boca.

5.2.6 Visualização da secção transversal

A funcionalidade de secção transversal permite realizar cortes nas estruturas dentais, visualizando sua seção transversal e possibilitando a exploração do interior dos objetos de forma interativa, como mostrado na figura 21. Essa foi uma das ferramentas mais difíceis de desenvolver, pelo desafio técnico de representar preenchimento de volume em modelos

de representação de superfície, como é o caso de arquivos STL e Wavefront .obj (formato utilizado pelo Unity).

Figura 21 – Uso da ferramenta de visualização da secção transversal do dente



Fonte: ([ACQUAVIVA, 2024](#)).

A solução encontrada envolveu alterar materiais e opacidades com base no movimento de um plano de corte, simulando uma intersecção volumétrica entre o plano e o dente. Isso foi feito, novamente, com a criação de *shaders* personalizados. A configuração foi feita de forma a controlar dinamicamente a opacidade e a renderização dos materiais conforme a movimentação do plano. Os *shaders* criados com esse princípio foram **CSToothShader**, **CSCanalShader** e **CSTransparentShader**. Foram necessários, também, *shaders* personalizados para os planos: **CSToothPlaneShader** e **CSCanalPlaneShader**.

Para simular o efeito de corte, dois objetos idênticos foram sobrepostos: um com material transparente e outro opaco. Com a movimentação do plano, controlada por um *slider*, um dos objetos (o opaco) some enquanto o outro (transparente) aparece. A associação do valor do *slider* à posição do plano é responsabilidade do *script MaterialControl*, que também controla a alternação, sem perda de consistência, entre controle de opacidade e visão em cortes.

Já para simular o preenchimento do volume dos objetos, foi utilizada a técnica de edição do *stencil buffer*, que controla a renderização dos *pixels* "enxergados pela câmera". A solução encontrada foi marcar os *pixels* da parte interna dos modelos e renderizar sobre eles os *pixels* do plano que estivessem nas mesmas posições, de forma a definir com precisão o formato da seção transversal dos canais e dentes. Para isso foi necessário gerar os arquivos

em ShaderLab (linguagem própria do Unity para descrição de *shaders*, baseada em HLSL) dos *shaders*, criados no Shader Graph, responsáveis pelos materiais dos dentes, canais e planos e editá-los para incluir as lógicas de manipulação do *stencil buffer*.

5.2.7 Menus

A aplicação inicia com a exibição de um menu inicial, como mostrado na figura 22, que oferece duas opções ao usuário: "Começar", para iniciar o uso das ferramentas, ou "Sair", para encerrar a aplicação.

Figura 22 – Menu inicial da aplicação VIDA XR

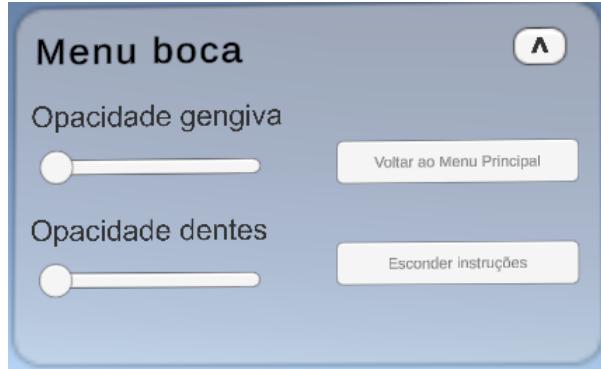


Fonte: Autores.

Ao selecionar "Começar", a cena principal é carregada, apresentando a boca com os dentes encaixados, o menu da boca e uma tela com instruções, conforme ilustrado na figura 18. O menu da boca oferece as seguintes funcionalidades, que podem ser visualizadas na figura 23:

- *Sliders*: um controla a opacidade da gengiva e o outro a opacidade dos dentes encaixados na base.
- Botão "Voltar ao Menu Principal": permite retornar ao menu inicial para sair ou reiniciar a aplicação.
- Botão "Esconder Instruções": oculta a tela de instruções para liberar o campo de visão.
- Botão de minimizar: reduz o menu da boca para ocupar menos espaço e exibir menos informações.

Figura 23 – Menu com controles dos elementos do modelo da boca



Fonte: Autores.

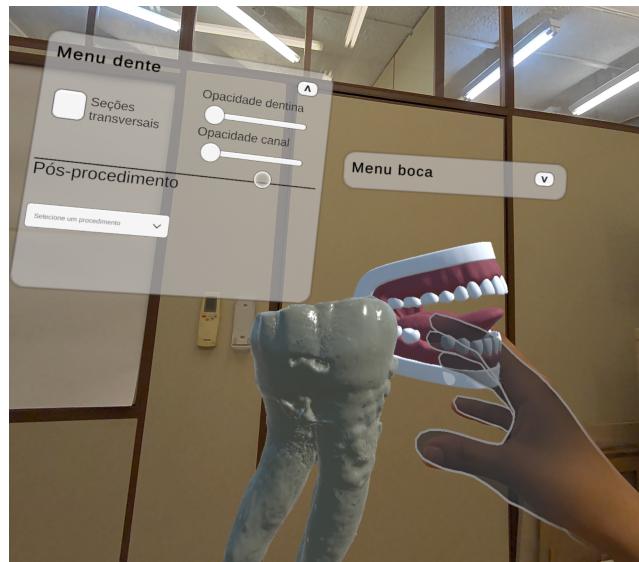
Todas as funcionalidades do menu da boca foram implementadas por meio de *scripts* desenvolvidos pelos autores, com exceção do botão "Voltar ao Menu Principal", que utiliza um *script* proprietário da Meta para carregar a cena inicial. Os *scripts* implementados incluem:

- `CanvasMinimizationControl.cs`: controla a minimização do menu da boca.
- `GuidelinesExhibitionControl.cs`: gerencia a exibição ou ocultação das instruções, de modo que elas sempre apareçam na mesma posição em relação ao menu da boca.
- `MaterialAlphaChangeControl.cs`: ajusta a opacidade dos elementos controlados pelos *sliders*.

Quando um dente é retirado da boca, ele aumenta de tamanho para facilitar a visualização, e o menu do dente é exibido, como mostrado na figura 24. Inicialmente, apenas a versão pré-procedimento do dente está disponível, sendo controlada pela parte superior desse menu, que oferece:

- Dois *sliders*: controlam a opacidade do canal e da dentina.
- Um *checkbox*: ativa a ferramenta de seções transversais para explorar o interior dos modelos.

Figura 24 – Visualização do dente depois de ser retirado do modelo da boca na aplicação VIDA XR



Fonte: Autores.

Na parte inferior do menu, o usuário encontra uma caixa de seleção que habilita a visualização de versões pós-procedimento do mesmo dente. Quando uma versão pós-procedimento é selecionada, o modelo do respectivo dente aparece na mesma escala do dente de referência (pré-procedimento) e a parte inferior do menu passa a apresentar as mesmas ferramentas disponíveis para o dente original, garantindo uma experiência consistente de interação, como mostrado na figura 25.

Figura 25 – Visualização dos dentes depois que uma versão pós-procedimento é selecionada na aplicação VIDA XR



Fonte: Autores.

Todas as funcionalidades do menu do dente foram implementadas exclusivamente com *scripts* desenvolvidos pelos autores:

- `CanvasMinimizationControl`: controla a minimização do menu do dente.
- `MaterialControl`: ajusta a opacidade dos elementos, define a posição do plano de corte para as seções transversais e controla a ativação dessa funcionalidade por meio do *checkbox*.
- `PostProcedureDropdownControl`: gerencia a seleção das versões pós-procedimento do dente.

5.3 Testes e Avaliação

O processo de avaliação do projeto foi estruturado em duas etapas, detalhadas neste capítulo: a primeira, de testes internos, incluiu a avaliação de desempenho da versão final do aplicativo em um Meta Quest 3 e testes funcionais, 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

5.3.1.1 Avaliação de desempenho no *headset*

Para a avaliação de desempenho do aplicativo, fez-se a gravação das seguintes métricas de performance, utilizando as ferramentas OVRMetrics Tool ([META, 2024d](#)) e Performance Analyzer ([META, 2024e](#)) do programa Meta Quest Developer Hub, em uma seção de 30 minutos de uso contínuo da aplicação, desde sua etapa de inicialização:

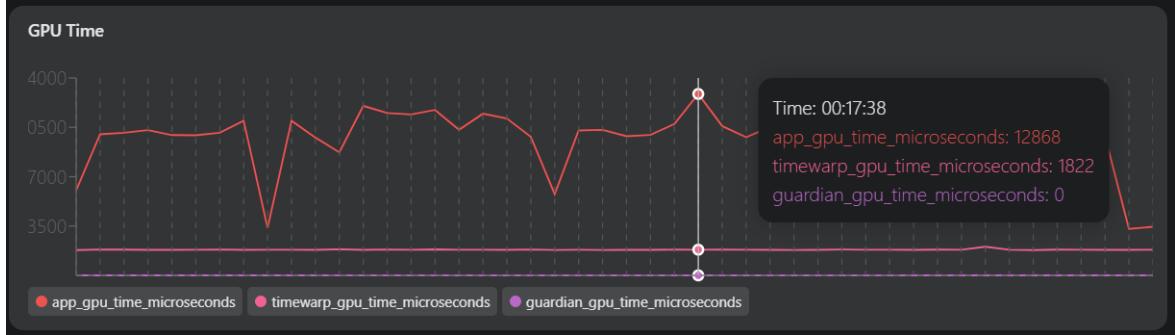
- Tempo de GPU: Quantidade de tempo, em microssegundos, que o aplicativo gasta renderizando um único *frame*. O valor esperado é de no máximo 13,88 ms para FPS 72. Valores maiores do que esse para FPS menores do que 72 indicam gargalo de performance na GPU. Se o valor estiver menor, mas o FPS também não atingir a frequência de 72, é sinal de gargalo na CPU. O que se espera no teste é que o valor se mantenha sempre próximo do padrão, sem queda na frequência de quadros. ([META, 2024c](#))
- FPS médio: Taxa de renderização de *frames* por segundo. O esperado é que se mantenha, na maior do tempo em 72 *frames* por segundo. ([META, 2024f](#))
- Porcentagem de uso da CPU: Porcentagem de uso da CPU com pior performance. O esperado é que os valores não ultrapassem 50% de uso com frequência. ([META, 2024d](#))
- Nível da CPU: Valor que varia de 0 a 5, onde 0 é o nível de máxima eficiência energética e mínimo uso da CPU e 5 de máximo uso da CPU, de bateria e máximo aquecimento do dispositivo. O esperado é que a aplicação mantenha-se no nível 2 ou menor a maior parte do tempo. ([META, 2022](#)) ([META, 2024a](#))
- Porcentagem de uso da GPU: Como exige-se mais da GPU nesse tipo aplicação, o esperado é que os valores não ultrapassem 80% de uso com frequência e que picos de 100% de uso sejam raros. ([META, 2024d](#))
- Nível da GPU: Valor que varia de 0 a 5, onde 0 é o nível de máxima eficiência energética e mínimo uso da GPU e 5 de máximo uso da GPU, de bateria e máximo aquecimento do dispositivo. O esperado é que a aplicação mantenha-se no nível 2 ou menor a maior parte do tempo. ([META, 2022](#)) ([META, 2024a](#))

5.3.1.1.1 Resultados

Para o tempo de GPU obtiveram-se excelentes resultados: os valores registrados estavam sempre abaixo do máximo esperado (13880 microssegundos), mesmo em seu maior pico (12868 microssegundos aos 17 minutos de uso), vide figura 26, com o FPS médio da

aplicação sempre muito próximo dos 72 FPS, como visto na figura 27, indicando que não houve gargalos na GPU ou na CPU.

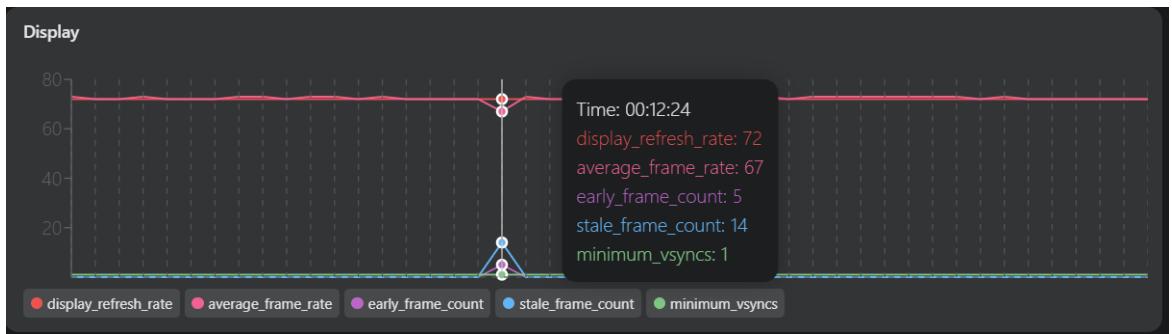
Figura 26 – Tempo de GPU da aplicação ao longo da seção



Fonte: Captura de tela do Performance Analyzer.

Da mesma forma, o *frame rate* médio observado ao longo da seção de uso apresentou ótimos resultados: mantendo-se sempre muito próximo do valor esperado (72 FPS), com apenas uma queda pontual para 67 FPS aos 12 minutos de uso, com rápida recuperação, vide figura 27, de modo que a aplicação se adequa bem ao padrão de qualidade requerido pela Meta (META, 2024f).

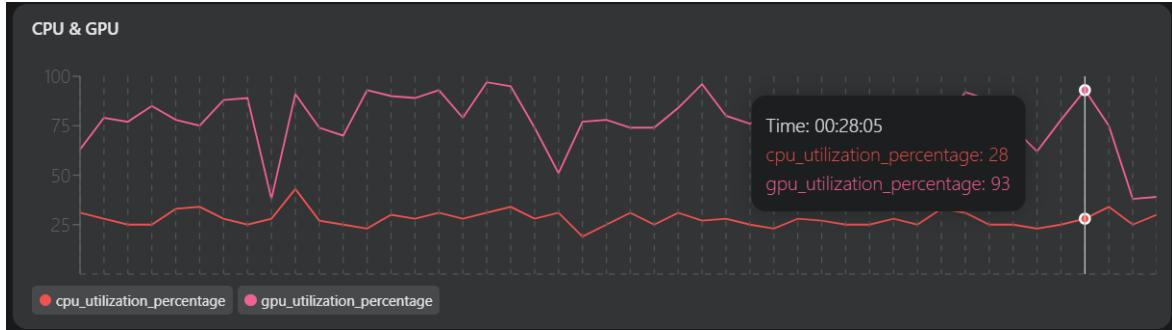
Figura 27 – Frame rate médio ao longo da seção



Fonte: Captura de tela do Performance Analyzer.

No caso das porcentagens de uso de CPU e GPU os resultados foram satisfatórios: com uso da CPU sempre abaixo do esperado e o da GPU flutuando em torno dos 80%, com alguns momentos de pouco uso, alguns picos na faixa dos 90% e nenhum momento de 100% de utilização, como visto na figura 28. Dada a excelente performance nos demais parâmetros, o resultado indica que provavelmente ainda é possível melhorar o uso da GPU sem comprometer a experiência do usuário. É importante notar que são resultados dentro do esperado e que não comprometem a qualidade da aplicação.

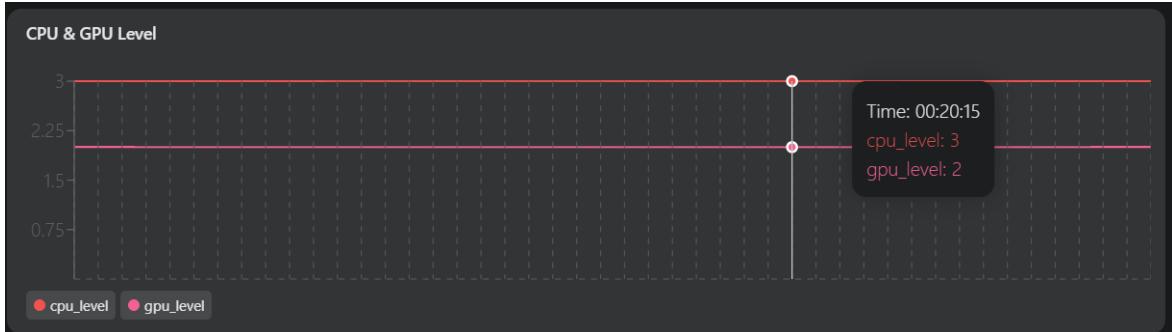
Figura 28 – Porcentagens de uso da CPU e da GPU ao longo da seção



Fonte: Captura de tela do Performance Analyzer.

Os níveis de CPU e GPU revelam resultados interessantes quando comparados às porcentagens de uso: o nível de CPU é mantido no 3, acima do necessário, quando sua utilização média não chega nem a 50% da capacidade, enquanto a GPU é mantida sempre no nível 2, vide figura 29. Este resultado indica que, com uma melhor configuração dos níveis de uso, especialmente de CPU, seria possível ter uma aplicação mais energeticamente eficiente.

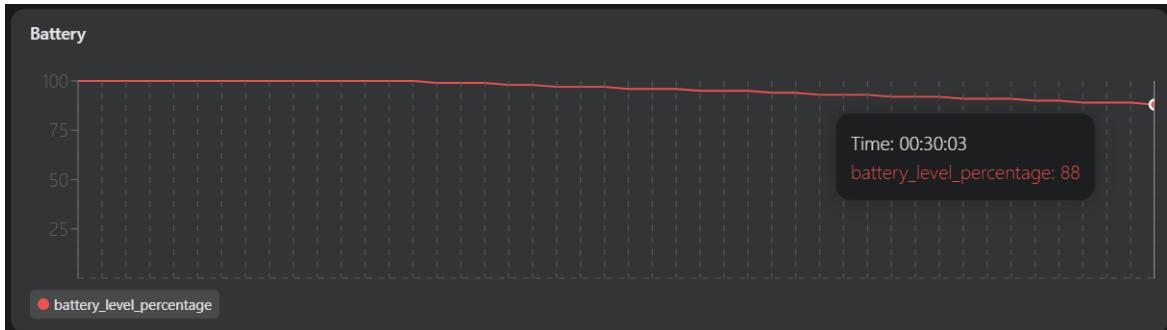
Figura 29 – Níveis da CPU e da GPU ao longo da seção



Fonte: Captura de tela do Performance Analyzer.

Atrelado a esse resultado, uma visualização interessante é a de uso da bateria ao longo da seção. Em 30 minutos de uso, a bateria reduziu apenas 12% no total, mantendo-se no 100% nos 10 primeiros minutos, como visto na figura 30. É um ótimo resultado, especialmente para uma aplicação cujas funcionalidades todas podem ser exploradas em um tempo de uso bem menor e para um dispositivo cuja autonomia média é de apenas 2,2 horas (META, 2024b). Dados os valores de nível de CPU e GPU é possível que este seja um ponto que possa ter um desempenho ainda melhor em iterações futuras.

Figura 30 – Porcentagem de bateria ao longo da seção



Fonte: Captura de tela do Performance Analyzer.

No geral, os resultados obtidos na avaliação de desempenho foram excelentes e excederam as expectativas dos autores, mostrando que a aplicação está bem otimizada, mas ainda pode ser submetida a uma investigação de possíveis melhorias no seu uso dos processadores, para uma eficiência energética ainda maior.

Um ponto interessante, ainda, é o tamanho que o aplicativo ocupa na memória do dispositivo: atualmente apenas 88 MB, cerca de 0,07% da memória do modelo mais básico do Meta Quest 3 (com 128 GB).

5.3.1.2 Testes Funcionais

A fim de garantir o correto funcionamento das funcionalidades implementadas, ao longo de todo processo, realizaram-se testes de uso da aplicação a cada nova funcionalidade inserida, testando-se não apenas o seu fluxo, mas o de todas as funcionalidades anteriores, para garantir que a inserção de uma nova funcionalidade não comprometeu o funcionamento das outras, uma vez finalizada o desenvolvimento da aplicação, todos os testes aqui registrados foram repetidos e obtiveram sucesso:

5.3.1.2.1 Interação de agarrar (Hand Grab)

- Agarrar dente em diferentes partes, movê-lo, girá-lo no espaço e verificar que ao soltar ele fica na posição em que foi deixado. (Repetido para os três modelos)
- Agarrar boca em diferentes partes, movê-la, girá-la no espaço e verificar que ao soltar ela fica na posição em que foi deixada.
- Segurar menus a partir das laterais, movê-los, girá-los no espaço e verificar que ao soltar ficam na posição em que foram deixados. (Repetido para todos os menus)
- Aumentar e diminuir os modelos de dentes utilizando as duas mãos.

5.3.1.2.2 Interação com menus

Os testes foram repetidos para todos botões e *sliders* de todos os menus.

- Mudar valor de *sliders* "clicando" neles com o dedo indicador.
- Mudar valor de *sliders* utilizando raio de interação a distância.
- Mudar valor de *toggle* "clicando" nele com o dedo indicador.
- Mudar valor de *toggle* utilizando raio de interação a distância.
- Clicar em um botão com o dedo indicador e ver sua cor mudar indicando o clique.
- Clicar em um botão utilizando raio de interação a distância e ver sua cor mudar indicando o clique.
- Trocar valor no *dropdown* "clicando" com o dedo indicador.
- Trocar valor no *dropdown* utilizando raio de interação a distância.
- Minimizar menu e movê-lo minimizado;
- Abrir menu novamente e atestar que os estados dos seus componentes foram mantidos como estavam anteriormente.

5.3.1.2.3 Interação Snap (seleção e desseleção)

Os testes foram repetidos em todos os dentes.

- Retirar dente da sua posição na boca e observar que seu tamanho aumenta e que o menu do dente aparece na cena e todas as suas funcionalidades comportam-se corretamente (testes de opacidade do dente, corte em seção e *dropdown* de seleção de modelos pós-procedimento).
- Levar dente próximo a sua posição na boca, soltá-lo e verificar que ele ocupa a posição correta, com seu tamanho original, estando preso à boca ao movê-la e somem todos os objetos relacionados a sua seleção (menu e modelos pós-procedimento).
- Retirar novamente o dente da boca e observar que os valores do menu aparecem em seus valores padrão, independente de como foram deixados na última seleção.

5.3.1.2.4 Controle de opacidade

- Interagir com *sliders* de controle de opacidade no menu do dente e observar as mudanças na opacidade tanto da parte externa do dente, como do modelo do canal. (Repetido em todos os dentes, pré e pós-procedimento.)
- Interagir com *sliders* de controle de opacidade no menu da boca e observar as mudanças na opacidade tanto da gengiva, quanto dos dentes.

5.3.1.2.5 Corte em seções

Os testes foram repetidos em todos os dentes, pré e pós-procedimento.

- Ativar corte em seção através do *toggle* apropriado no menu do dente e verificar que os *sliders* de opacidade somem e dão lugar ao *slider* de controle do corte (como indicado pelo texto identificador).
- Interagir com o *slider* de controle do corte e observar que o corte em seção "caminha" de cima para baixo de acordo com a posição do *slider*, preenchendo todo o volume do dente quando o valor é máximo e sumindo completamente quando chega ao mínimo. As regiões cortadas do dente, que não o canal, devem dar a impressão de estarem "preenchidas" de todos os pontos de vista.
- Desativar corte em seção através do *toggle* apropriado no menu do dente e verificar que o *slider* de controle do corte some e dá lugar aos *sliders* de controle de opacidade (como indicado pelo texto identificador), que devem estar funcionais (repetem-se os teste de opacidade para o dente).

5.3.1.2.6 Seleção de modelo pós-procedimento

Os testes foram repetidos em todos os dentes.

- Selecionar um procedimento no *dropdown*, com o *toggle* de corte em seção desativado, observar que o modelo correspondente aparece ao lado do dente sem tratamento e aparecem no menu os *sliders* de controle de opacidade do novo modelo que devem estar funcionais.
- Selecionar um procedimento no *dropdown*, com o *toggle* de corte em seção ativado, observar que o modelo correspondente aparece ao lado do dente sem tratamento e aparece no menu o *slider* de controle de corte do novo modelo que deve estar funcional.

- Habilitar e desabilitar modelos pós-procedimento com modelo pré-procedimento correspondente em diferentes tamanhos e validar que sempre que habilitado, o modelo pós-procedimento surge, ao lado, com o mesmo tamanho do modelo pré-procedimento.
- Repetem-se os testes de *Hand Grab*, controle de opacidade e corte em seções para os dentes pós-tratamento.

Após os testes de todos os fluxos individualmente, testaram-se os fluxos de forma cruzada, modificando configurações de um e retestando as funcionalidades de outro (e.g. testar corte em seções após modificar tamanho do dente, mudar opacidade dos dentes na boca e testar o controle de opacidade de um dente selecionado).

O teste exaustivo das funcionalidades e suas interações permitiu a identificação e correção de diversos *bugs* antes da versão final do aplicativo.

5.3.2 Validação na Faculdade de Odontologia da USP

Como parte do processo de validação do projeto, foi conduzida uma avaliação com quinze professores e alunos de pós-graduação, todos com experiência de docência, na Faculdade de Odontologia da USP, utilizando um formulário desenvolvido a partir do modelo TAM (*Technology Acceptance Model*) criado por [Davis, Bagozzi e Warshaw \(1989\)](#), buscando compreender a facilidade de uso e a utilidade percebida na aplicação, de acordo com os objetivos do projeto e levando em conta possíveis influências externas nessa percepção. Foram incluídas também perguntas pertinentes à percepção de imersividade da experiência, por ser um fator essencial para o sucesso do projeto. O arquivo de validação do formulário utilizado na pesquisa encontra-se no [Apêndice B](#).

Para compreender melhor a experiência dos participantes com a aplicação, foram coletados dados por meio de formulários estruturados e observações presenciais. A seguir, apresentamos os principais resultados obtidos a partir dos formulários respondidos pelos participantes.

5.3.2.1 Resultados dos Formulários

As principais percepções dos participantes da validação sobre a aplicação VIDA XR podem ser resumidos da seguinte forma:

5.3.2.1.1 Influências externas: Percepções sobre a endodontia e experiência prévia com realidade virtual

- **Dificuldade no Ensino da Endodontia:** Para maior parte dos professores e alunos (10 dentre 15), a endodontia é considerada uma área difícil de ensinar e aprender

devido à dificuldade de visualização das estruturas internas. Quatro concordaram parcialmente com a informação e apenas um dos participantes foi indiferente à afirmação.

- **Facilidade para Aprender Novas Tecnologias:** Treze dos quinze participantes consideraram que tinham facilidade em aprender novas tecnologias, em maior ou menor grau (sete concordaram plenamente com a afirmação e seis concordaram parcialmente), apenas dois não concordaram nem discordaram da afirmação.
- **Familiaridade com Realidade Virtual:** A maior parte dos participantes nunca utilizou ou possui pouca familiaridade com quaisquer óculos de realidade virtual. Apenas duas pessoas, dentre os avaliados, relataram alguma familiaridade com óculos de realidade virtual, as treze demais relataram nunca terem utilizado ou não sentir familiaridade.

5.3.2.1.2 Usabilidade e Interação com a Aplicação

- **Facilidade de Uso:** A maior parte dos participantes considerou a aplicação fácil de utilizar (quatorze concordaram plenamente e apenas um concordou parcialmente com a afirmação "a aplicação é fácil de utilizar"), e aprender a usar as ferramentas também foi considerado simples (treze consideraram ter sido fácil aprender as ferramentas, um concordou parcialmente e um foi indiferente).
- **Suficiência das Instruções:** Todos os participantes relataram que as instruções fornecidas foram suficientes para compreender as funcionalidades da aplicação.
- **Manipulação Intuitiva:** A manipulação dos objetos virtuais foi classificada como simples e intuitiva pela maioria dos participantes (apenas um foi indiferente à afirmação) e maioria sentiu que a aplicação respondeu bem aos seus comandos (treze concordaram plenamente que a aplicação respondeu bem aos comandos e dois concordaram parcialmente).
- **Imersão e Experiência de Uso:** Todos os participantes descreveram a experiência de uso como agradável, destacando a sensação de que os objetos virtuais realmente existiam, o que reflete o alto nível de imersão proporcionado pela aplicação.
- **Facilidade de Adoção em Sala de Aula:** A maioria dos participantes acredita que a adoção em sala de aula não exigiria muito tempo de aprendizado de uso das ferramentas por alunos e professores: onze participantes concordaram plenamente com a afirmação, três concordaram parcialmente e apenas um não concordou nem discordou.

5.3.2.1.3 Utilidade Educacional

- **Facilitação do Ensino:** Para todos os participantes, a aplicação facilitaria o trabalho e o aprendizado, além de torná-los mais interessantes, permitindo uma boa percepção tridimensional, uma compreensão aprofundada das relações espaciais das estruturas odontológicas e facilitando a compreensão de conceitos odontológicos de difícil visualização.
- **Diferenciais Apontados:** O uso de modelos reais reconstruídos a partir de exames de imagem foi considerado um diferencial valioso por todos.
- **Similaridade com Estruturas Reais:** A maioria dos participantes afirmou que as estruturas representadas são suficientemente semelhantes às suas contrapartes reais para o ensino de anatomia, apenas quatro participantes concordaram apenas parcialmente com a similaridade das estruturas.
- **Complementação e Substituição:**
 - A maior parte dos participantes acredita que a aplicação complementa bem as ferramentas tradicionais de ensino: apenas um participante concordou apenas parcialmente com a afirmação.
 - Embora a maioria não veja a aplicação substituindo o uso de dentes reais, uma maior parte acredita que ela poderia substituir o uso de imagens bidimensionais. Importante notar, no entanto, que foi apontado em uma caixa de comentários que a eliminação do uso de imagens 2D em sala de aula era impossível, pois os futuros dentistas devem ser capazes de interpretar exames de imagem.
 - Houve divisão entre os participantes sobre a possibilidade de substituir modelos de resina. Uma observação feita em uma caixa de comentários foi a de que os modelos em resina ofereciam também a experiência tática, essencial aos alunos, que ainda falta à aplicação.
 - Onze dos quinze participantes consideraram que a aplicação poderia substituir o uso de modelos virtuais não interativos, como vídeos e aplicações em sites com modelos 3D.
- **Adoção da ferramenta:** Todos os participantes declararam que gostariam de adotar a aplicação em suas aulas de endodontia e anatomia odontológica.

5.3.2.1.4 Imersão

- **Interação com os Modelos:** A possibilidade de interação direta com os objetos virtuais foi tida como parte interessante da aplicação e considerada valiosa para o aprendizado do assunto por todos os participantes.

- **Percepção dos Objetos Virtuais:** A maioria dos participantes alegou sentir que os objetos realmente existiam durante o uso da aplicação (somente um concordou apenas parcialmente com a afirmação) e concordou que as interações pareciam naturais (somente dois concordaram apenas parcialmente com essa afirmação).

5.3.2.1.5 Aspectos Gráficos e Menus

- **Qualidade Gráfica:** Todos os participantes consideraram a qualidade gráfica dos objetos virtuais satisfatória.
- **Menus Flutuantes:** Alguns participantes indicaram que os menus flutuantes com botões e *sliders* poderiam prejudicar a experiência, sendo considerados visualmente poluídos por uma parcela menor dos usuários.

5.3.2.1.6 Comentários e Sugestões

Os participantes forneceram várias sugestões e comentários positivos:

- **Sugestões de Melhorias:**
 - Identificação de outras estruturas do dente como esmalte, dentina e cimento.
 - Implementação de cortes em ângulos personalizados, como da raiz para a coroa.
 - Visualização de cortes da vista apical.
 - Possibilidade de sobreposição exata de diferentes modelos do mesmo dente, com tratamentos distintos, para visualização das diferenças com o controle de opacidade.
 - Adicionar modelos com outros procedimentos realizados, como obturação.
 - Adicionar mais anatomicas, cortes transversal e coronais.
- **Comentários**
 - “Adorei a experiência.”
 - “É como se um sonho de anos se tornasse realidade.”
 - “Uma experiência incrível e imersiva.”
 - “Excelente dispositivo com possibilidades de uso interativas e atrativas.”
 - “Meninos, vocês são incríveis, por favor, não parem de estudar!! Obrigada por tanto comprometimento.”
 - “Será uma ótima oportunidade para melhorar a qualidade no ensino da odontologia. Parabéns pela iniciativa.”
 - “A possibilidade de visualização de um dente íntegro e outro com procedimento realizado enriquece muito as possibilidades de uso para o aprendizado.”

5.3.2.2 Observações Presenciais

As observações presenciais revelaram aspectos complementares sobre a usabilidade e os desafios enfrentados:

- **Funcionalidades pouco utilizadas:** Nenhum participante utilizou a opção de esconder menus, o que pode sugerir a necessidade de implementar um *timeout* automático para escondê-lo.
- **Dificuldades iniciais:** Alguns participantes aparentaram dificuldades para manipular objetos e entender que poderiam usar ambas as mãos para interações.
- **Interações específicas:**
 - O movimento de pinça para controlar *sliders* não foi intuitivo para a maioria, que preferiu movimentos de clique.
 - Um dos participantes tentou manipular simultaneamente os objetos com uma mão e os *sliders* com outra, destacando a capacidade multitarefa da aplicação.
- **Sugestões e elogios:** Houve grande interesse nas principais funcionalidades de controle de opacidade e seções transversais. Uma proposta inovadora foi a possibilidade de adentrar o dente e visualizar suas estruturas de um ponto de vista interno.

De maneira geral, os resultados dos formulários reforçam o potencial do VIDA XR como uma ferramenta inovadora no ensino de anatomia odontológica e endodontia, enquanto apontam melhorias que podem ser implementadas para aprimorar ainda mais a experiência do usuário. A aplicação foi muito bem recebida, destacando-se como um complemento valioso ao ensino odontológico tradicional. A validação mostra como a aplicação atingiu seu objetivo tanto provando-se como uma possível proveitosa ferramenta de ensino de endodontia e anatomia odontológica, como uma ferramenta realmente imersiva e engajante.

6 Considerações Finais

6.1 Conclusões do Projeto de Formatura

O projeto VIDA XR evidenciou o impacto transformador que a realidade aumentada pode ter no ensino da Odontologia, promovendo um aprendizado mais interativo, prático e visualmente enriquecedor. A aplicação proporciona aos professores uma abordagem simplificada e inovadora para o ensino de endodontia, permitindo visualizar com clareza as estruturas internas de diferentes formas. Isso oferece aos estudantes a oportunidade de, já nos primeiros anos de graduação, aprenderem de forma mais eficiente e dinâmica, superando as limitações enfrentadas por gerações anteriores. Em uma era cada vez mais tecnológica, ferramentas como essa têm potencial para se tornarem protagonistas nas salas de aula do futuro.

Os resultados obtidos nas avaliações realizadas com alunos, professores e monitores destacaram uma aceitação positiva quanto à funcionalidade e utilidade do VIDA XR, reforçando sua viabilidade como recurso didático. A aplicação não substitui por completo os métodos de ensino tradicional, mas representa um excelente complemento a eles e traz soluções eficazes a problemas que métodos anteriores não resolviam, como a visualização ampliada e tridimensional de estruturas internas dos dentes. Os resultados dos testes de performance, por sua vez, demonstram que, mesmo sendo um estudo de viabilidade, a aplicação é bem otimizada e ainda tem muito espaço para adição de modelos e funcionalidades sem comprometer a experiência do usuário.

O desenvolvimento deste projeto também representou um aprendizado significativo sobre a aplicação de tecnologias na área da saúde, ressaltando a importância da colaboração interdisciplinar entre desenvolvedores, especialistas em odontologia e educadores. Espera-se que este trabalho contribua para o avanço da integração entre tecnologia e ensino, servindo como inspiração para futuras inovações que ampliem as possibilidades de aprendizado não apenas na odontologia, mas também em outros campos da saúde.

6.2 Contribuições

O projeto exigiu uma abordagem autodidata e um tanto criativa na resolução de desafios encontrados devido a diversas falhas na documentação de funcionalidades do SDK Meta XR para Unity, por ser uma tecnologia ainda relativamente nova e em constante atualização. A equipe precisou desenvolver soluções do zero, criando *scripts* próprios que, em conjunto com os *building blocks* fornecidos pelo SDK da Meta, permitiram alcançar

os objetivos do projeto. Essa abordagem envolveu não apenas o desenvolvimento técnico, mas também a adaptação de funcionalidades às necessidades específicas da aplicação.

Do ponto de vista de inovação para a Odontologia, a principal contribuição do projeto está na possibilidade de ensinar e aprender endodontia de maneira significativamente mais visual e interativa. A manipulação de dentes gerados por microtomografia, que se aproximam de forma satisfatoriamente fidedigna à realidade, oferece uma experiência única para estudantes e profissionais da área. Além disso, funcionalidades como o controle de opacidade e, principalmente, a visão em corte, que demandou um entendimento mais aprofundado acerca dos *shaders*, possibilitaram o desenvolvimento de uma aplicação mais robusta.

Essas funcionalidades proporcionam aos usuários a capacidade de explorar a anatomia dentária de forma detalhada, permitindo que eles visualizem estruturas internas de maneira clara e comprehensível. Essa abordagem não apenas melhora a compreensão da endodontia, mas também representa uma solução inovadora, considerando a escassez de ferramentas disponíveis que ofereçam um nível similar de realismo e interatividade para a área odontológica.

6.3 Trabalhos Futuros

Como se trata de um Trabalho de Conclusão de Curso, o tempo disponível para o desenvolvimento de funcionalidades naturalmente foi limitado. Ainda assim, foi possível entregar as principais funcionalidades idealizadas para este projeto, atendendo aos objetivos centrais propostos. Algumas funcionalidades pensadas inicialmente como possíveis complementos não puderam ser implementadas, enquanto outras surgiram ao longo do processo, especialmente por meio de sugestões recebidas durante validações iniciais com alunos e professores da Faculdade de Odontologia da USP (FOUUSP).

Além da limitação de tempo, um dos desafios enfrentados foi a restrita disponibilidade de modelos de dentes reais, o que dificultou a exploração de novas possibilidades e o desenvolvimento de funcionalidades adicionais. A seguir, serão apresentadas as propostas idealizadas ou sugeridas ao longo do desenvolvimento, que podem ser exploradas como continuação deste projeto.

6.3.1 Modelo da Boca

Uma das principais propostas para continuidade do projeto é a inclusão de modelos digitais que representem todos os dentes de uma mesma boca, juntamente com uma visualização completa da arcada dentária, utilizando não apenas os dentes, mas gengiva e outras estruturas de uma mesma pessoa. Essa funcionalidade poderia ser viabilizada

por meio de tecnologias avançadas de escaneamento digital, permitindo capturar toda a cavidade oral de um paciente.

6.3.2 Dentes Modificados

Outra sugestão é a incorporação de modelos de dentes que apresentem modificações, como obturações, próteses ou outros procedimentos odontológicos. Essa funcionalidade permitiria comparar visualmente as condições do dente antes e depois dos tratamentos, oferecendo uma ferramenta valiosa para análise da evolução clínica e comunicação com alunos e profissionais.

6.3.3 Mudança de Ângulo do Plano de Corte

A possibilidade de alterar o ângulo do plano de corte para a visualização seccionada dos dentes é outra proposta relevante. Essa funcionalidade ofereceria maior flexibilidade para explorar diferentes perspectivas das estruturas dentárias, contribuindo para uma análise detalhada e adaptável às necessidades de estudo ou diagnóstico.

6.3.4 Aperfeiçoamento de Textura

O aperfeiçoamento das texturas nos modelos digitais é uma melhoria que enriqueceria a experiência visual ao representar detalhes como irregularidades nas superfícies e tonalidades características de um dente humano. Com texturas mais realistas, o sistema poderia oferecer simulações mais realistas, atendendo tanto a propósitos educacionais quanto clínicos.

6.3.5 Representação de Múltiplos Procedimentos em um Mesmo Dente

Refere-se à possibilidade de representar o mesmo dente em diferentes etapas de um tratamento odontológico ou em distintos tratamentos realizados. Essa funcionalidade possibilitaria o acompanhamento visual da evolução do dente ao longo dos procedimentos, oferecendo uma análise detalhada e enriquecendo o entendimento dos resultados obtidos.

6.3.6 Conexão com Internet

Uma proposta para trabalhos futuros é a implementação de uma funcionalidade que permita a conexão do sistema à internet para, por exemplo, acessar e realizar avaliações criadas por professores, armazenadas em bancos de dados. Essa funcionalidade possibilitaria que os docentes desenvolvessem avaliações personalizadas, adaptadas às necessidades específicas de ensino e aprendizagem. Os alunos, por sua vez, poderiam acessar essas avaliações diretamente no ambiente virtual.

6.3.7 Ambiente Compartilhado

Outra sugestão de melhoria para trabalhos futuros é o desenvolvimento de um ambiente compartilhado que permita o acesso simultâneo de alunos e professores ao mesmo espaço virtual. Essa funcionalidade abriria possibilidades para interações em tempo real, como acompanhamento direto de atividades, discussões colaborativas e análises conjuntas de modelos e conteúdos. Um ambiente compartilhado facilitaria o aprendizado ativo e a troca de informações, contribuindo para um ensino mais dinâmico e participativo.

Referências

- ACQUAVIVA, L. *Vida XR academic project uses extended reality to aid teaching of endodontic anatomy*. 2024. Disponível em: <<https://site.fo.usp.br/noticias/projeto-academico-vida-xr-usa-realidade-estendida-para-auxiliar-o-ensino-de-anatomia-endodontica>>. Acesso em: 24 nov. 2024. Citado na página 41.
- 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 18.
- APPLE. *Apple Vision Pro*. 2024. Disponível em: <<https://www.apple.com/apple-vision-pro/>>. Citado na página 14.
- 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 12.
- BATALHA, P.; TORI, R.; FODOCE, 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 11.
- 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/l9434.htm>. Citado na página 11.
- 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 18.
- 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 14 e 16.
- 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 31.
- DAVIS, F.; BAGOZZI, R.; WARSHAW, P. User acceptance of computer technology: A comparison of two theoretical models. *Management Science*, v. 35, p. 982–1003, 08 1989. Citado na página 52.
- 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 11 e 15.
- EHUMAN. *eHuman*. 2020. Disponível em: <<https://ehuman.com/>>. Citado na página 13.
- 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 12.
- 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 11 e 16.
- 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/cl02nvqg5zo>>. Acesso em: 22 fev. 2024. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 16.
- 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 16.
- 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 11.
- 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 20.
- 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 19.
- JONGKI, L. et al. *ToothLab*. 2018. Disponível em: <<http://toothlab.org/>>. Citado na página 13.
- 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/apena-s-71-das-faculdades-de-odontologia-no-brasil-tem-bancos-de-dentes-28052023/>>. Acesso em: 13 abr. 2024. Citado na página 11.
- 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 11.
- 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 12.

- LASHKO, A. *Teeth and Tongue Set Low-poly 3D model*. 2015. Alexlashko at cgtrader. Disponível em: <<https://www.cgtrader.com/3d-models/character/anatomy/teeth-and-tongue-set-c0aa65582380f733f3358679406980a1>>. Citado na página 34.
- 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 21.
- 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 16.
- META. *Power Management*. 2022. Meta Horizon. Disponível em: <<https://developers.meta.com/horizon/documentation/native/android/mobile-power-overview/>>. Citado na página 46.
- META. *CPU and GPU levels*. 2024. Meta Horizon. Disponível em: <<https://developers.meta.com/horizon/documentation/unity/os-cpu-gpu-levels>>. Citado na página 46.
- META. *Meta Quest 3*. 2024. Disponível em: <<https://www.meta.com/quest/quest-3/>>. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 48.
- META. *OVR Metrics Tool - Best Practices for Non-Engineers*. 2024. Meta Horizon. Disponível em: <<https://developers.meta.com/horizon/documentation/unity/ts-oovr-best-practices>>. Citado na página 46.
- META. *OVR Metrics Tool Stats Definition Guide*. 2024. Meta Horizon. Disponível em: <<https://developers.meta.com/horizon/documentation/unity/ts-oovrstats>>. Citado na página 46.
- META. *Performance Analyzer and Metrics*. 2024. Meta Horizon. Disponível em: <<https://developers.meta.com/horizon/documentation/native/android/ts-odh-logs-metrics/>>. Citado na página 46.
- META. *VRC.Quest.Performance.1*. 2024. Meta Horizon. Disponível em: <<https://developers.meta.com/horizon/resources/vrc-quest-performance-1>>. Citado 2 vezes nas páginas 46 e 47.
- 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 14 e 18.
- 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 11.
- NIKISHIN, S. *Human mouth detailed*. 2022. Mince at Sketchfab. Disponível em: <<https://sketchfab.com/3d-models/human-mouth-detailed-522eda0ec0e3413a914b1b298a791320>>. Citado na página 34.

- NORTH, C.; SHNEIDERMAN, B.; PLAISANT, C. Visual information seeking in digital image libraries: The visible human explorer. In: *Proceedings of the First ACM International Conference on Digital Libraries (DL '96)*. ACM, 1996. p. 74–82. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228607075_Visual_Information_Seeking_in_Digital_Image_Libraries_The_Visible_Human_Explorer>. Citado na página 12.
- 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 16.
- 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 11.
- 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 20.
- 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 11.
- PARK, D. *How To Create Spatial Interactions with Meta XR Interaction SDK*. 2024. Disponível em: <<https://mixedrealitynow.com/getting-started-with-meta-xr-interaction-sdk-quest-3-how-to-crucial-interactions>>. Acesso em: 24 nov. 2024. Citado na página 38.
- PEREIRA, D. Q. Banco de dentes humanos no brasil: revisão de literatura. *Revista da ABENO*, v. 12, n. 2, 2012. Disponível em: <http://revodontobvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-59542012000200007>. Acesso em: 13 abr. 2024. Citado na página 11.
- 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 14.
- QUEIROZ, P. J. B. et al. Microtomografia computadorizada: Princípios de funcionamento e utilização em amostras biológicas. *Enciclopédia Biosfera*, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.
- 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 12.
- 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/not>

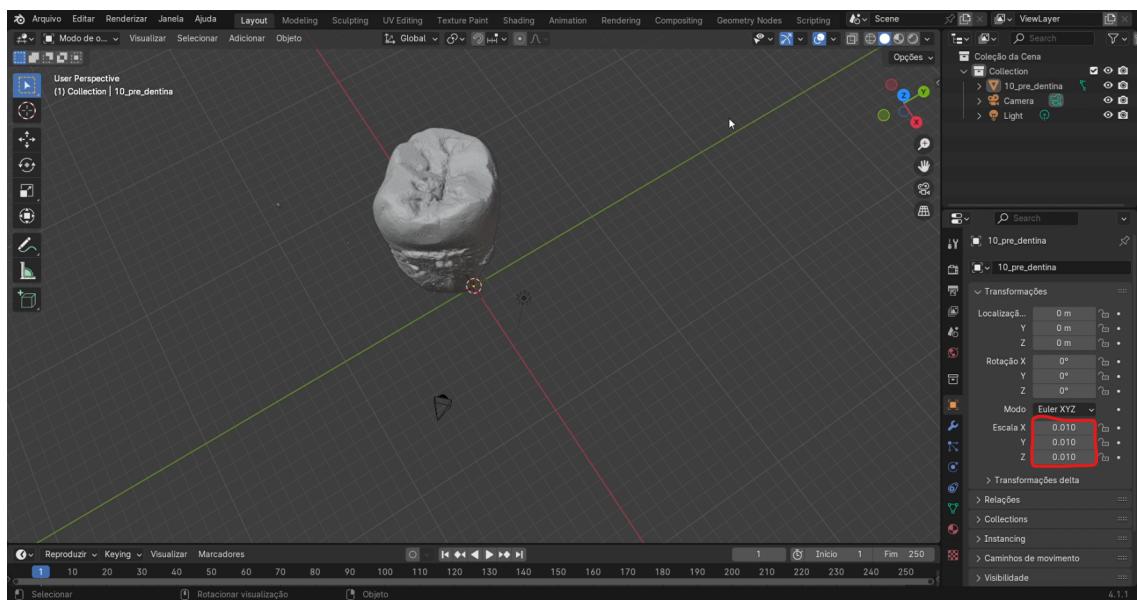
- icias/denuncia/universidade-no-interior-da-bahia-denuncia-compra-ilegal-de-dentes-e-m-cemiterios-saiba-detalhes.html>. Acesso em: 13 abr. 2024. Citado na página 11.
- RESTREPO, I. et al. Anatomía de la cámara pulpar y sistema de conductos radiculares: Estrategias pedagógicas una revisión de literatura. *Revista Estomatología*, v. 31, p. 12694, 10 2023. Citado na página 11.
- 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 3 vezes nas páginas 11, 12 e 15.
- RODELLO, I. et al. Realidade misturada: Conceitos, ferramentas e aplicações. *Revista Brasileira de Computação Aplicada*, v. 2, 01 2010. Citado na página 18.
- 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 14 e 16.
- 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 19.
- TORI, R. VIDAnatomia. 2022. Disponível em: <<https://ratori.github.io/>>. Citado 4 vezes nas páginas 13, 22, 23 e 29.
- 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 11.
- VARJO. Varjo XR-4 Series. 2024. Disponível em: <<https://varjo.com/products/xr-4/>>. Citado na página 14.
- VOXEL-MAN. About VOXEL-MAN. n.d. Disponível em: <<https://www.voxel-man.com/about/>>. Acesso em: 22 fev. 2024. Citado na página 12.

Apêndices

APÊNDICE A – Processo de ajuste dos modelos STL no Blender

Primeiro importamos no Blender o arquivo STL do modelo do dente recebido e reduzimos sua escala em 100 vezes para que fosse possível visualizá-lo.

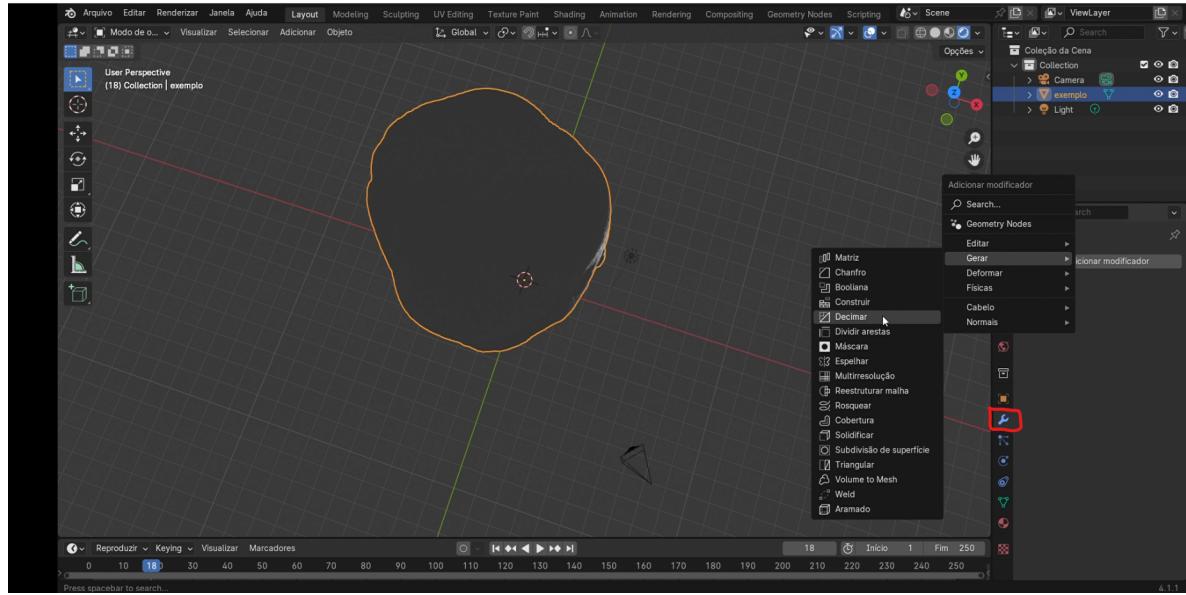
Figura 31 – Redefinição de tamanho.



Fonte: Autores.

Para diminuir a quantidade de triângulos na malha foi utilizada a ferramenta de decimação, que reduz a quantidade de vértices mantendo a forma da malha o mais fiel possível da versão original. A ferramenta pode ser encontrada em **Modifiers > Adicionar Modificador > Gerar > Decimar**:

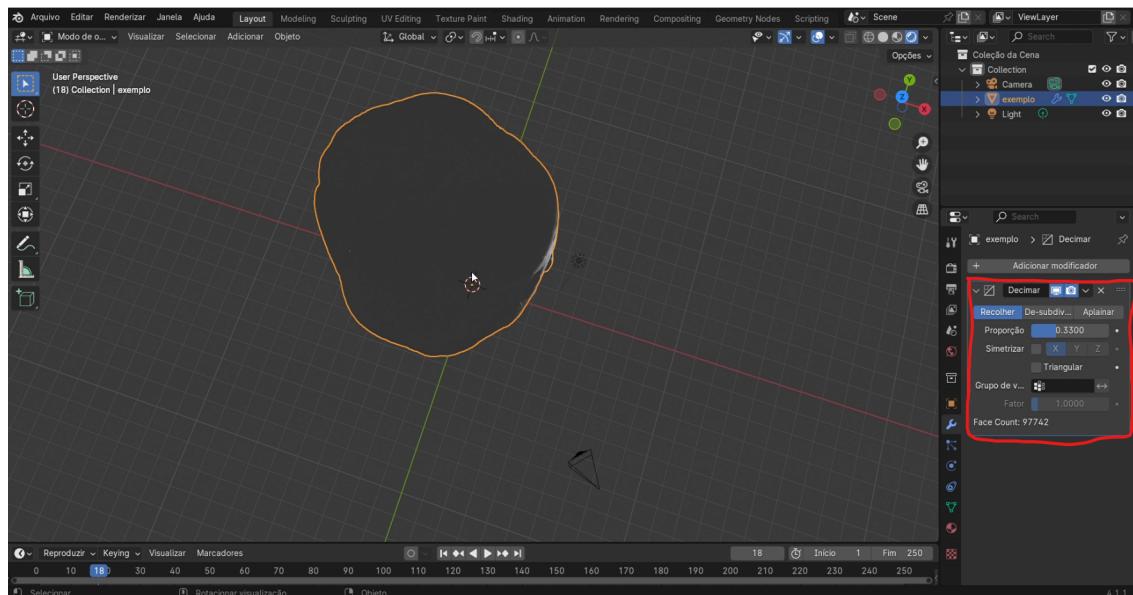
Figura 32 – Seleção da ferramenta de decimação.



Fonte: Autores.

Para o propósito da aplicação a proporção configurada na ferramenta foi de 0.02, de modo a reduzir arquivos de aproximadamente 250 MB a arquivos com cerca de 5 MB. A proporção da imagem 33 é apenas ilustrativa.

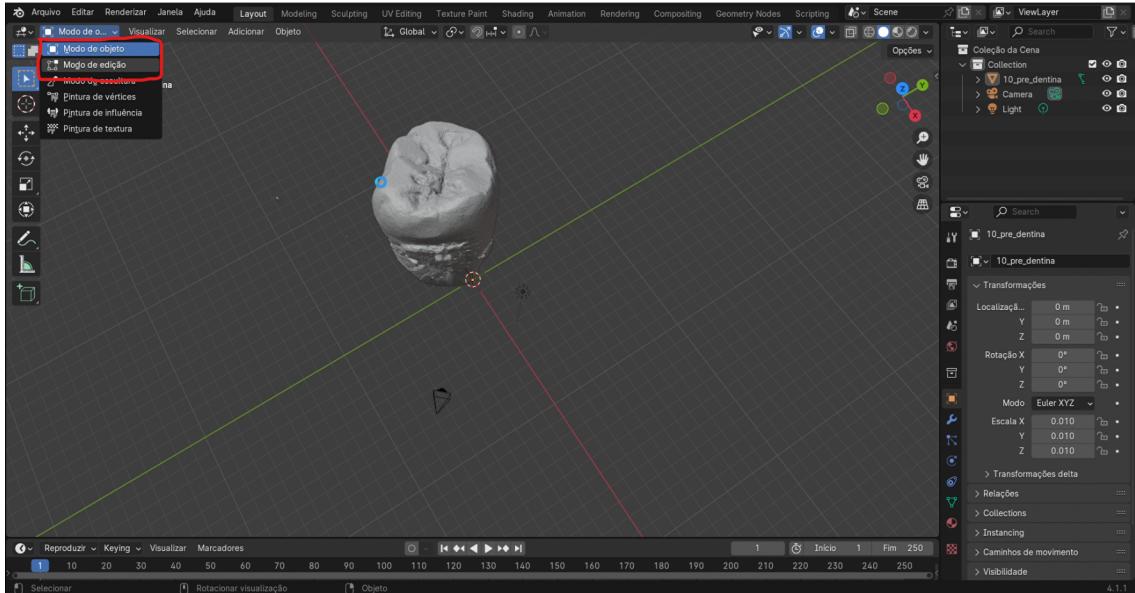
Figura 33 – Decimação de triângulos.



Fonte: Autores.

Para fazer a limpeza de impurezas, trocamos o Blender para o modo de edição:

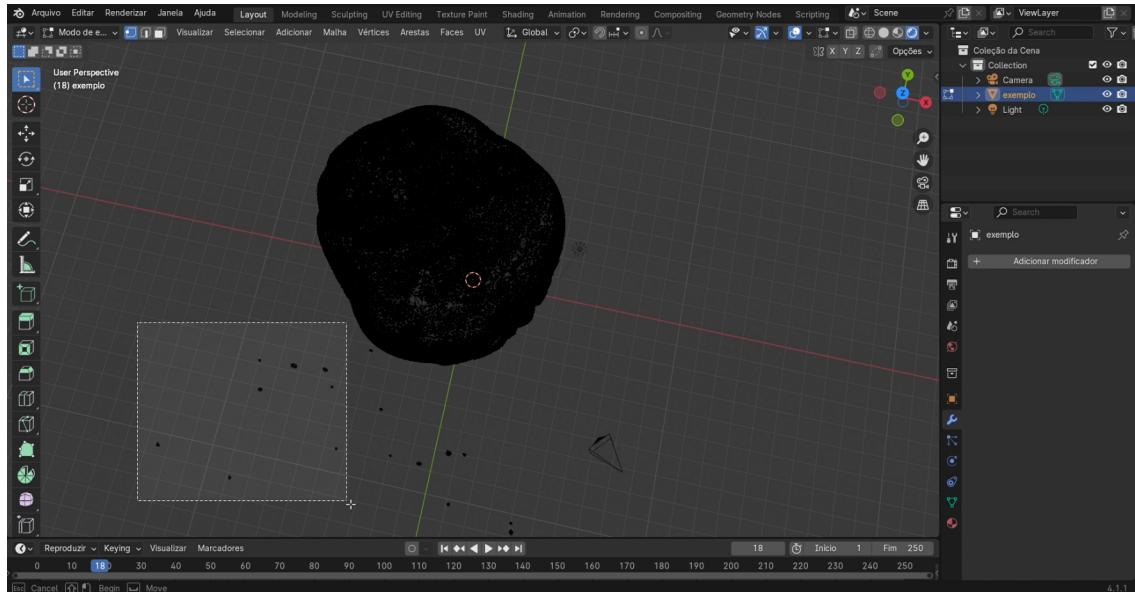
Figura 34 – Modo de edição.



Fonte: Autores.

Selecionamos o máximo de vértices possível com o botão esquerdo do mouse e utilizamos o atalho **ctrl + L** para adicionar à seleção todos os vértices ligados aos já selecionados.

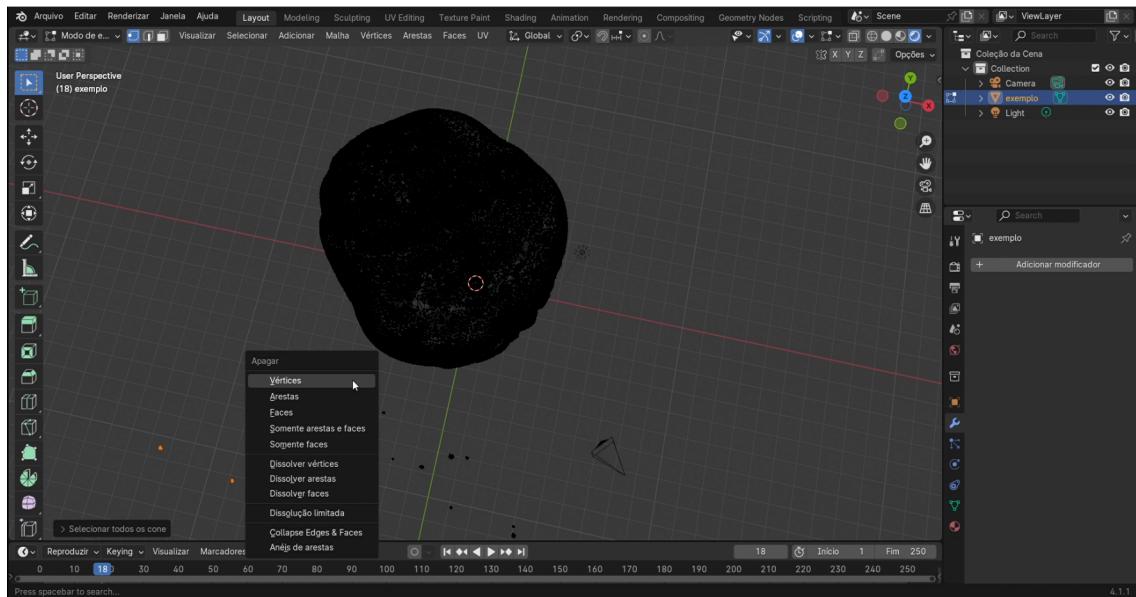
Figura 35 – Seleção de impurezas.



Fonte: Autores.

Após a seleção, clicando com o botão direito do mouse sobre a tela, selecionamos a opção de "Apagar vértices":

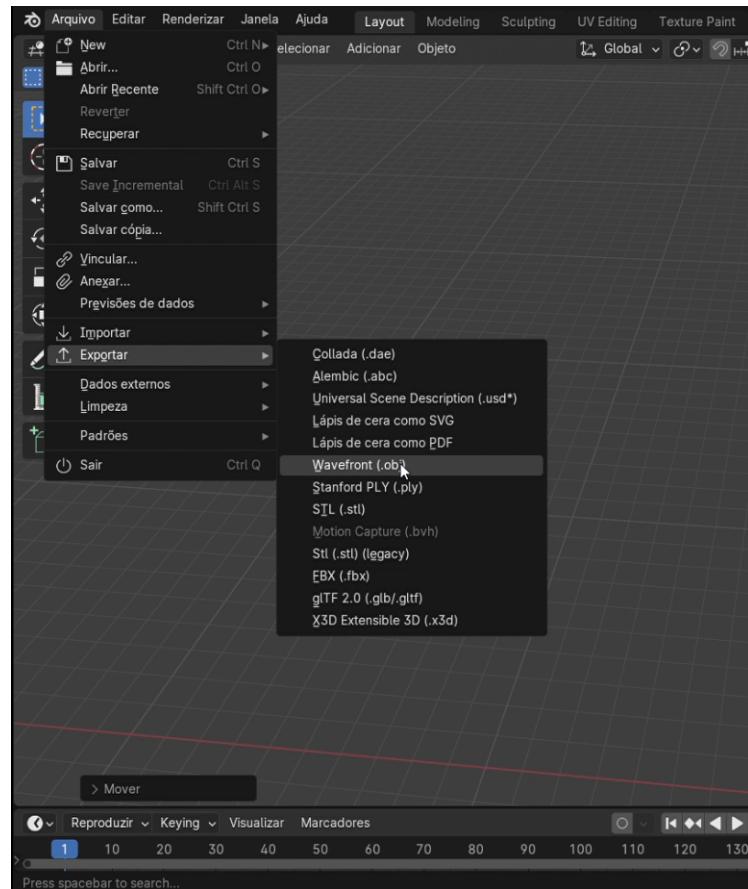
Figura 36 – Exclusão.



Fonte: Autores.

O processo foi repetido até que o modelo ficasse livre de partículas indesejadas. Após isso bastou exportar o modelo no formato .obj, requerido pelo Unity:

Figura 37 – Exportação do modelo em formato .obj.



Fonte: Autores.

APÊNDICE B – Formulário de validação

A seguir, apresentamos o formulário utilizado na pesquisa de validação do projeto com os professores de odontologia.

Vida XR - Avaliação - Professores

15 respostas

Nome completo

15 respostas

Celso Luiz Caldeira

Laila Gonzales Freire

Mary Caroline Skelton Macedo

Iandara de Lima Scardini

Carlos Alberto Kenji Shimokawa

Carla Renata Sipert

Thalya Fernanda Horsth Maltarollo

Stephanie Isabel Diaz Zamalloa

Giovanna Vicenzotti

Carla Regina do Carmo Della Libera

Luara Maria Cerioni Gonçales

Samara Daher Teixeira Castro

Daniela Mita

Sávio José Cardoso

Shirley Maklane Gomes Soares

E-mail

15 respostas

celcalde@usp.br

lgfreire@usp.br

mary@usp.br

iandara.scardini@gmail.com

carlos.shimokawa@usp.br

sipert@usp.br

thalyamaltarollo@gmail.com

sidiazaamalloa@usp.br

giovanna.vicenzotti77@usp.br

crcarmo@usp.br

lu_cerioni@usp.br

samaradaher@usp.br

daniela.mita@alumni.usp.br

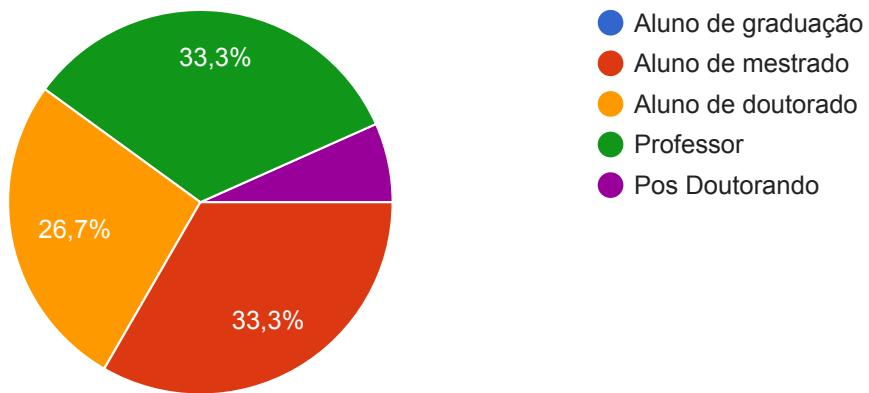
saviobezerra@usp.br

shirley.maklane@usp.br

Ocupação

Copiar

15 respostas



Para alunos: você possui alguma experiência lecionando? Qual? (Ex: monitoria)

11 respostas

Sim. Professora em curso de especialização

Graduação

Monitoria e professora de uma faculdade particular

monitoria, professor especialização e atualização

Monitorias, PAE, palestras

PAE na disciplina de endodontia, prof assistente em curso de especialização de endodontia

Aluna de PAE

sim. monitorias durante a graduação e agora no PAE (programa de aprendizado ao ensino)

Sim, dei uma aula em uma especialização e monitoria na graduação.

Sim, professor universitário

Sim. Monitoria na graduação, cruso de atualização e especialização

Área de estudo (Se você for aluno da graduação, pode preencher com seu curso)

15 respostas

Endodontia

Endodontia

odontologia endodontia

Sou professora de Anatomia e Endodontia

Odontologia

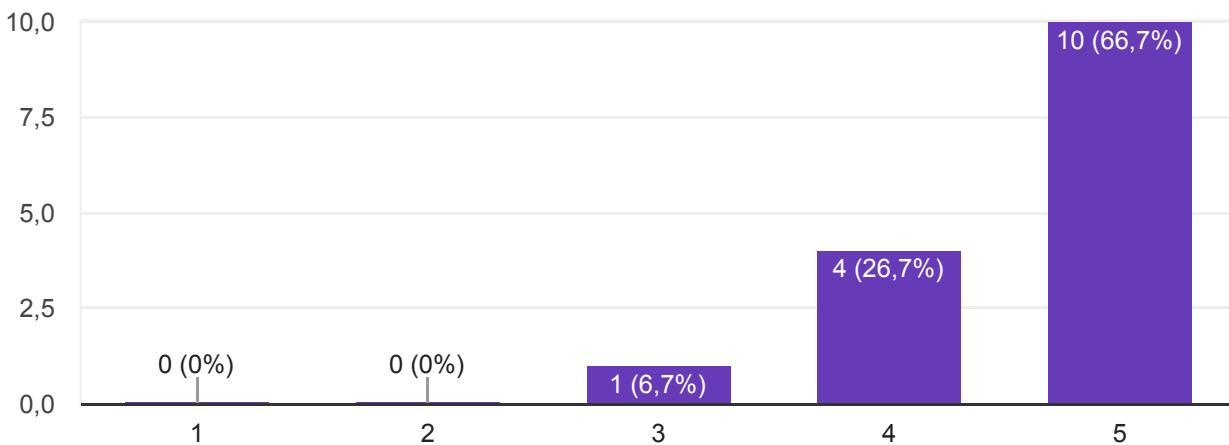
Odontologia - Endodontia - Biologia Celular

Endodontia (odontologia)

Odontologia - Dentistica

Considero a endodontia uma área difícil de ensinar/aprender, por conta da dificuldade de visualização das estruturas internas.

15 respostas



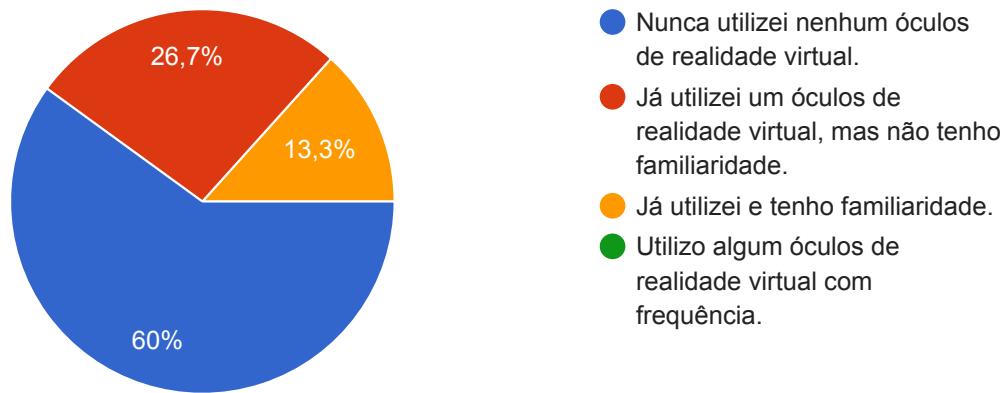
Copiar

Fatores externos

Você tem alguma experiência com aplicações em óculos de realidade virtual?

 Copiar

15 respostas



- Nunca utilizei nenhum óculos de realidade virtual.
- Já utilizei um óculos de realidade virtual, mas não tenho familiaridade.
- Já utilizei e tenho familiaridade.
- Utilizo algum óculos de realidade virtual com frequência.

Se a resposta ao item anterior for diferente de "nunca utilizei", você saberia informar o modelo do óculos de realidade virtual utilizado?

3 respostas

Apple

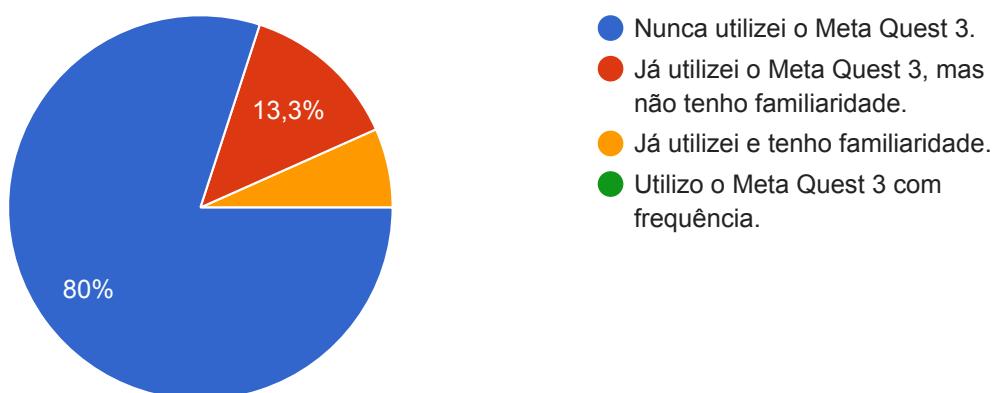
Não.

não sei, só utilizei em uma atividade

Você tem alguma experiência com o Meta Quest 3?

 Copiar

15 respostas

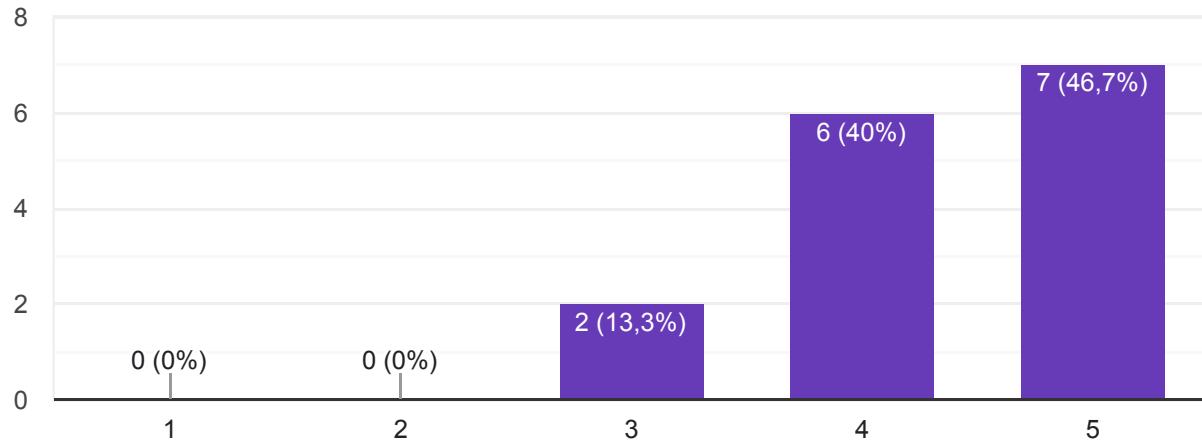


- Nunca utilizei o Meta Quest 3.
- Já utilizei o Meta Quest 3, mas não tenho familiaridade.
- Já utilizei e tenho familiaridade.
- Utilizo o Meta Quest 3 com frequência.

Considero que tenho facilidade para aprender a utilizar novas tecnologias.

 Copiar

15 respostas

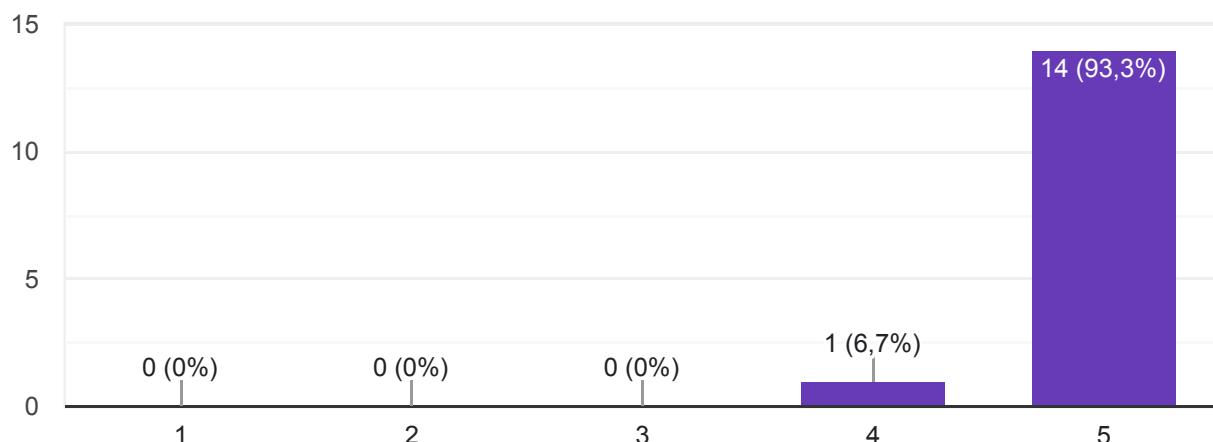


Facilidade de uso

A aplicação é fácil de utilizar.

 Copiar

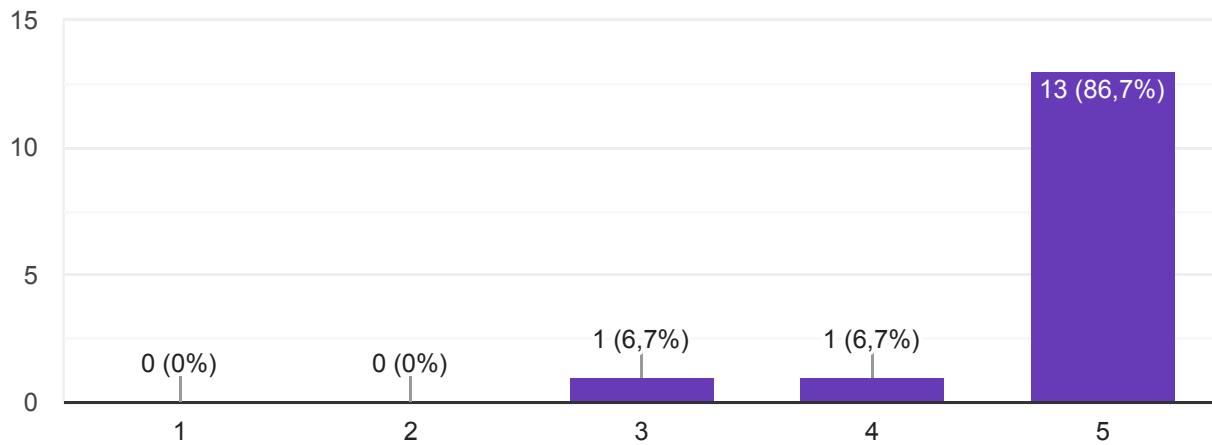
15 respostas



Aprender a usar as ferramentas foi fácil para mim.

 Copiar

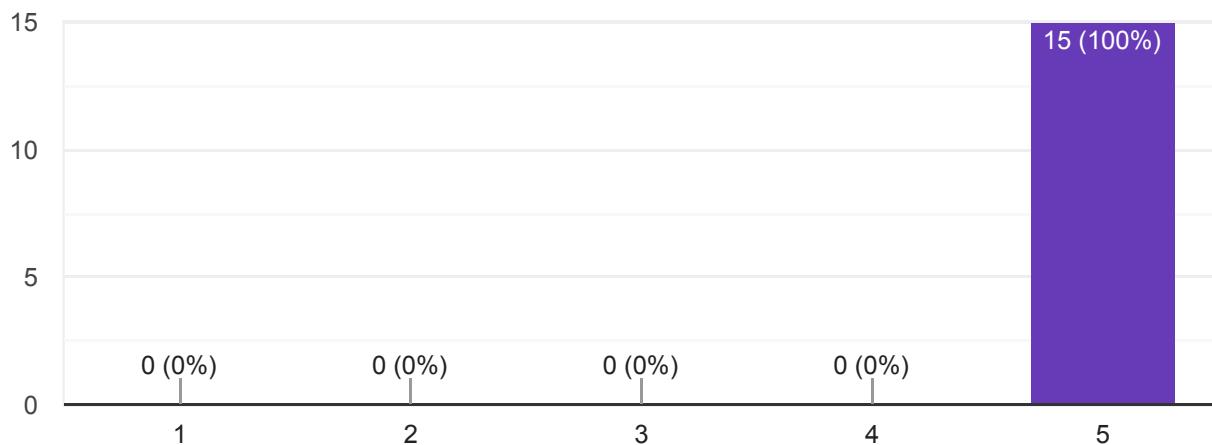
15 respostas



As instruções foram o suficiente para conseguir utilizar todas as ferramentas plenamente.

 Copiar

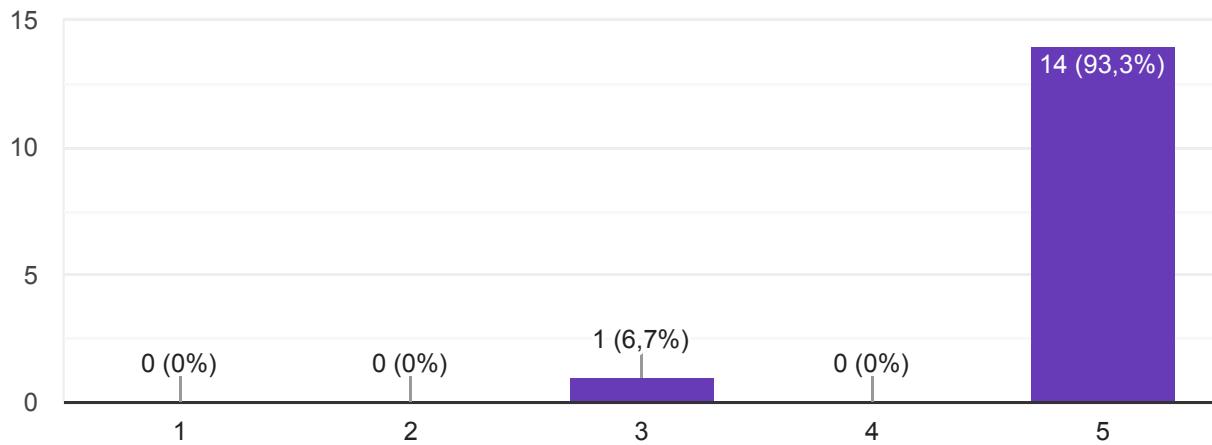
15 respostas



A manipulação dos objetos virtuais foi simples e intuitiva.

 Copiar

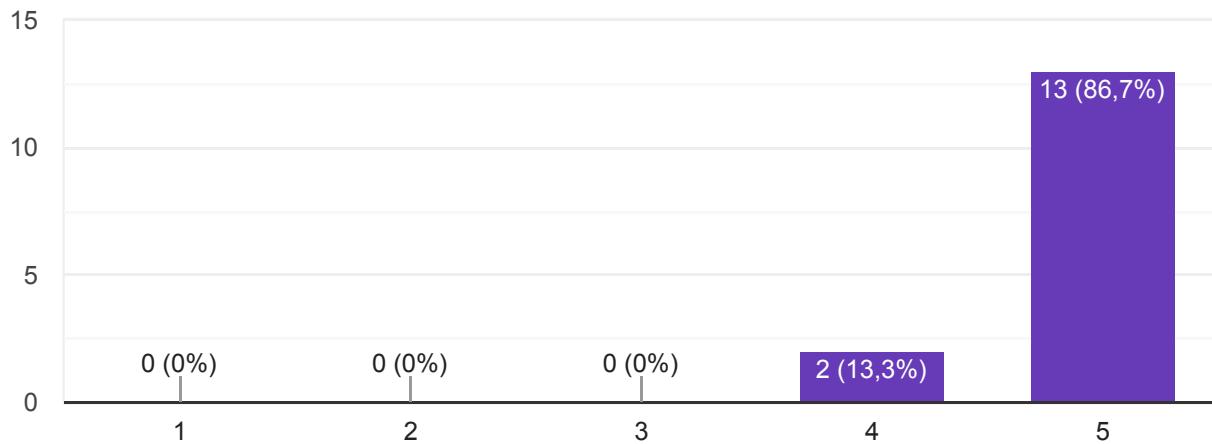
15 respostas



A aplicação respondeu bem aos meus comandos.

 Copiar

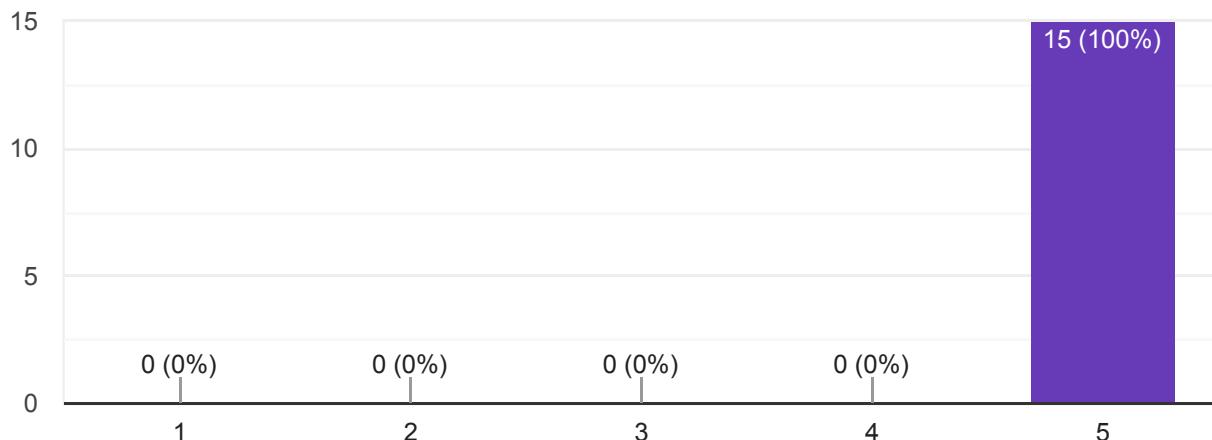
15 respostas



A experiência de uso da aplicação é agradável.

 Copiar

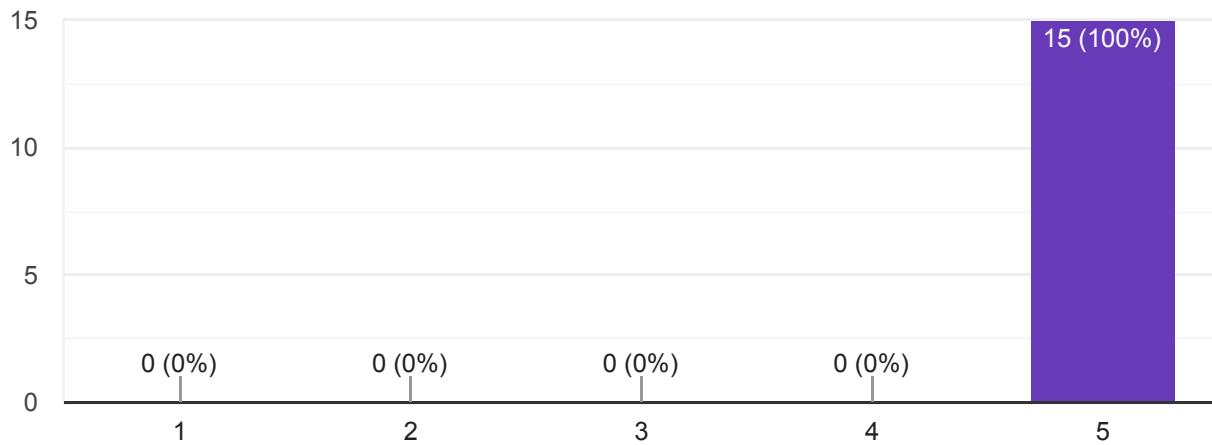
15 respostas



Acredito que a aplicação facilitaria meu trabalho ou meus estudos.

 Copiar

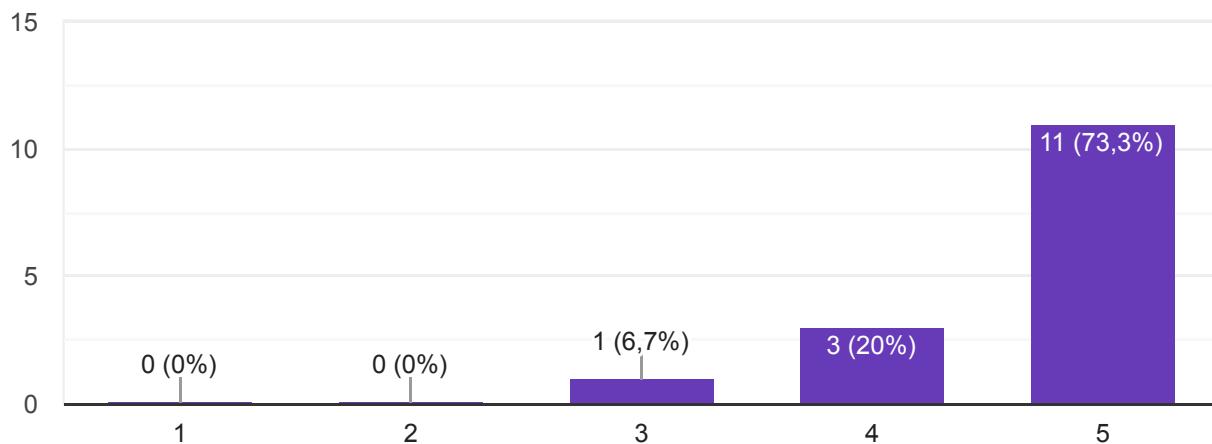
15 respostas



Acredito que a adoção dessa aplicação em sala de aula não exigiria muito tempo para o aprendizado do uso da ferramenta entre alunos e professores.

 Copiar

15 respostas



Possui alguma observação sobre a facilidade de uso da ferramenta? (Observações sobre qualquer uma das afirmações da seção também podem ser feitas nesse campo)

5 respostas

Se for possível sobrepor os tratamentos seria interessante trabalhar também com a opacidade dos modelos.

De inicio, aplicaríamos unitariamente com a projeção p os alunos, mas mais tarde acredito q seja muito util eles terem os oculos em mãos p a utilização e estudo individual

talvez um pouco mais de sensibilidade ao apertar nas opções

apenas aumentar a quantidade de cortes, mas acredito que seja apenas questão tempo, certamente já estão providenciando atualizações

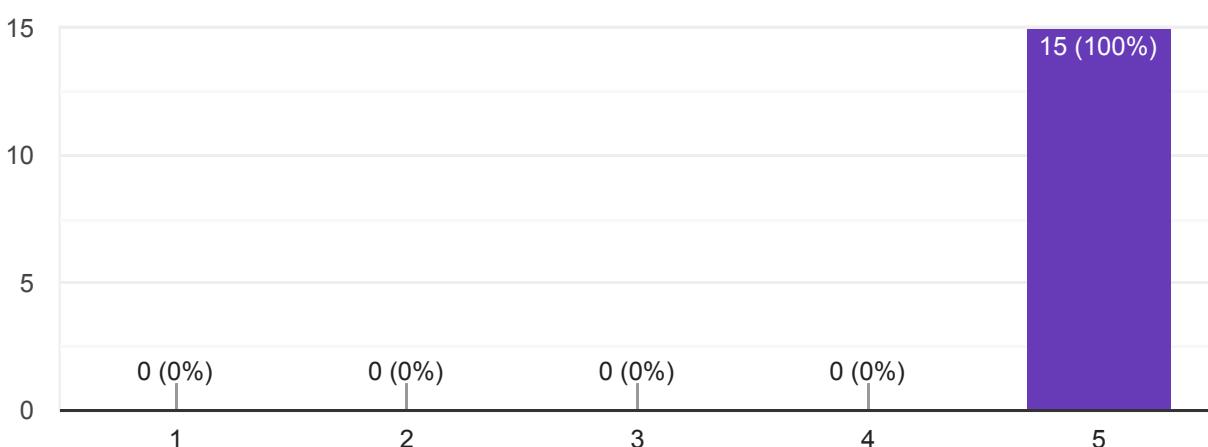
Ferramenta extremamente intuitiva, de fácil utilização e que seria uma ótima alternativa para ser utilizada como método de ensino na graduação e cursos de pós graduação

Utilidade

Acredito que a aplicação tornaria meu trabalho ou meus estudos mais interessantes.

15 respostas

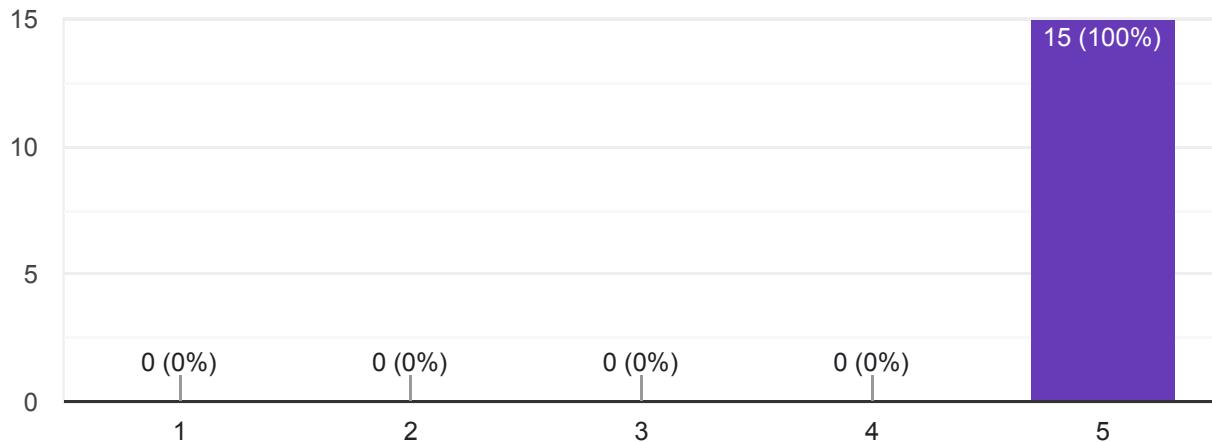
 Copiar



Acredito que a aplicação permite uma boa percepção da tridimensionalidade das estruturas representadas.

 Copiar

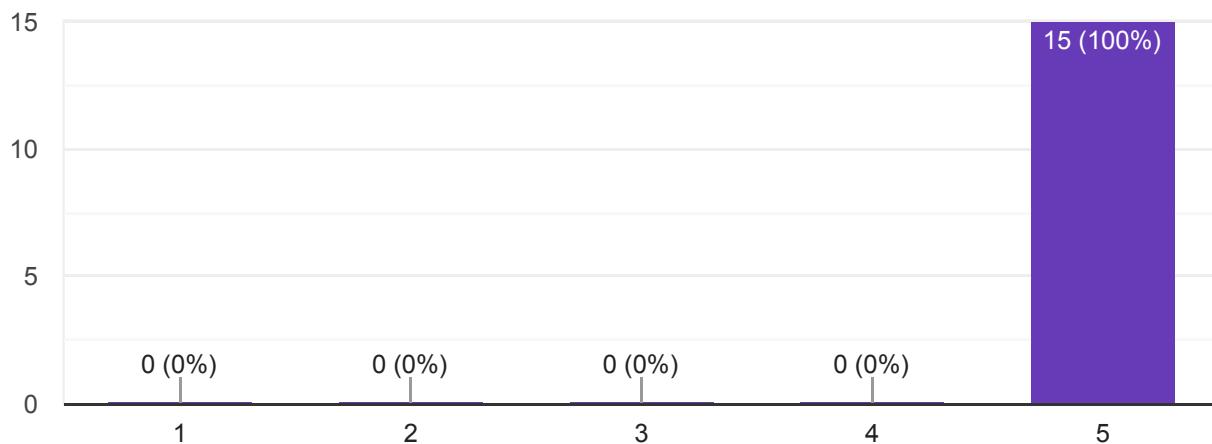
15 respostas



Acredito que a aplicação permite uma boa percepção das relações espaciais entre as estruturas representadas.

 Copiar

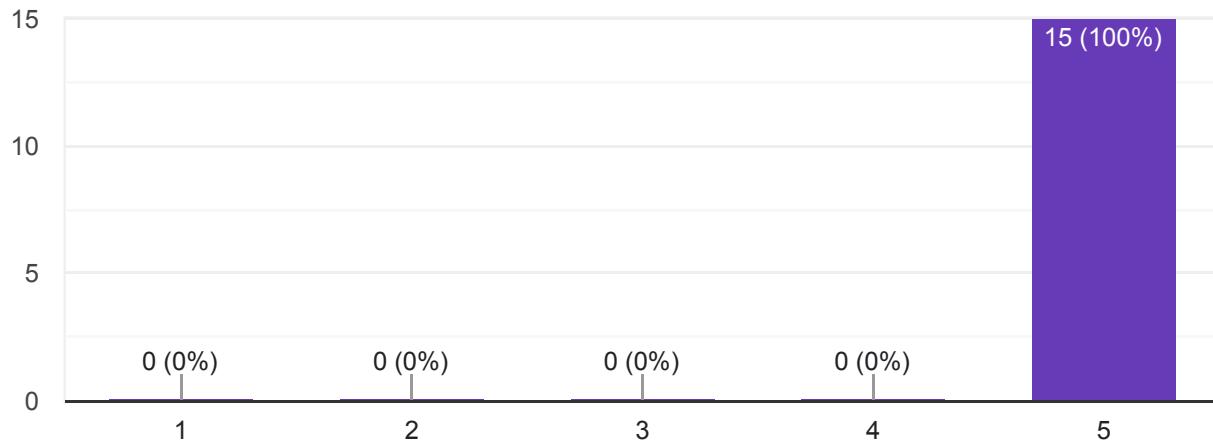
15 respostas



Acredito que usar modelos de dentes reais reconstruídos a partir de exames de imagem, em vez de objetos totalmente digitais, é um diferencial valioso dessa aplicação.

 Copiar

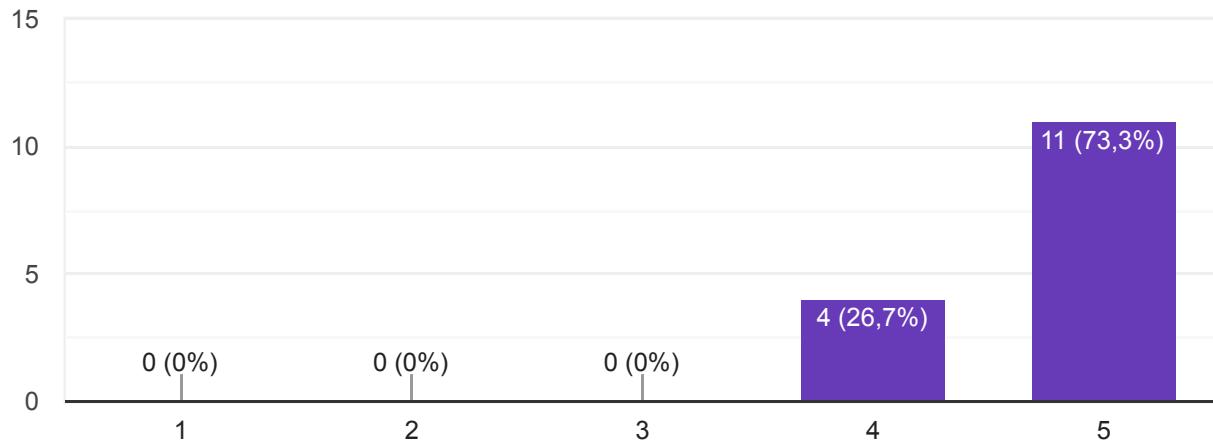
15 respostas



As estruturas representadas são semelhantes o suficiente às suas contrapartes reais para o ensino da sua anatomia.

 Copiar

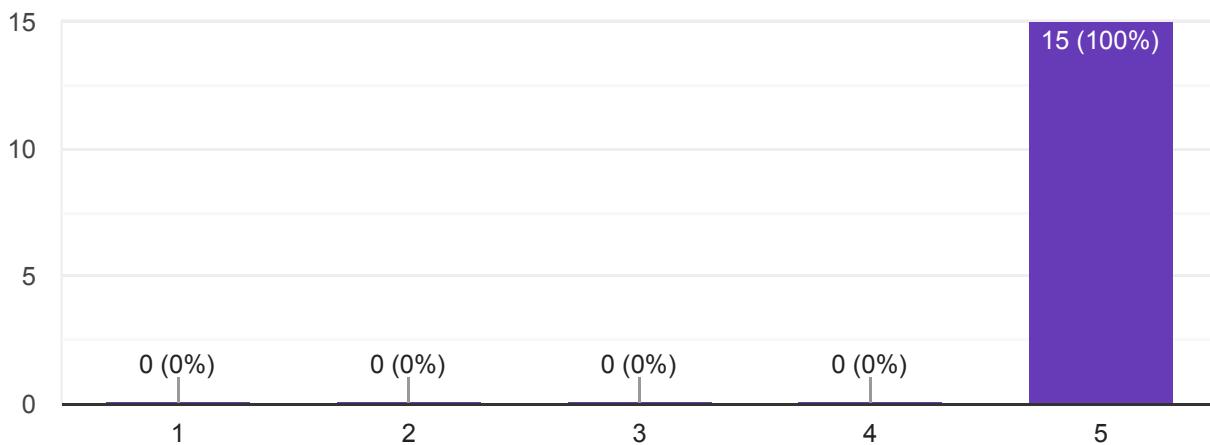
15 respostas



Acredito que todas as funcionalidades apresentadas são úteis para o ensino/explicação de conceitos de anatomia odontológica e endodontia.

 Copiar

15 respostas



Caso tenha considerado que nem todas as funcionalidades são úteis, comente sobre.

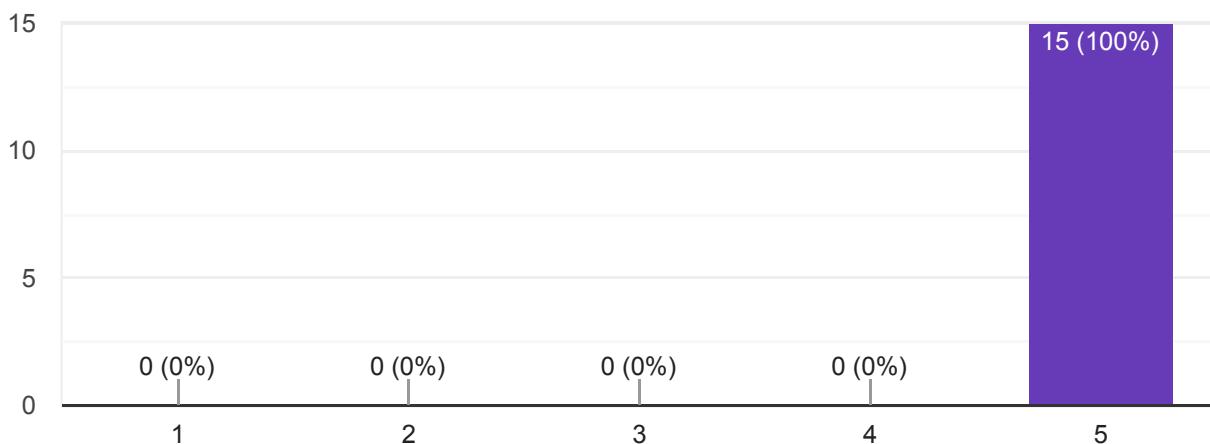
1 resposta

Sugestão: visualizar os cortes da vista apical.

Acredito que a aplicação facilitaria a explicação e o entendimento de conceitos de anatomia odontológica difíceis de visualizar.

 Copiar

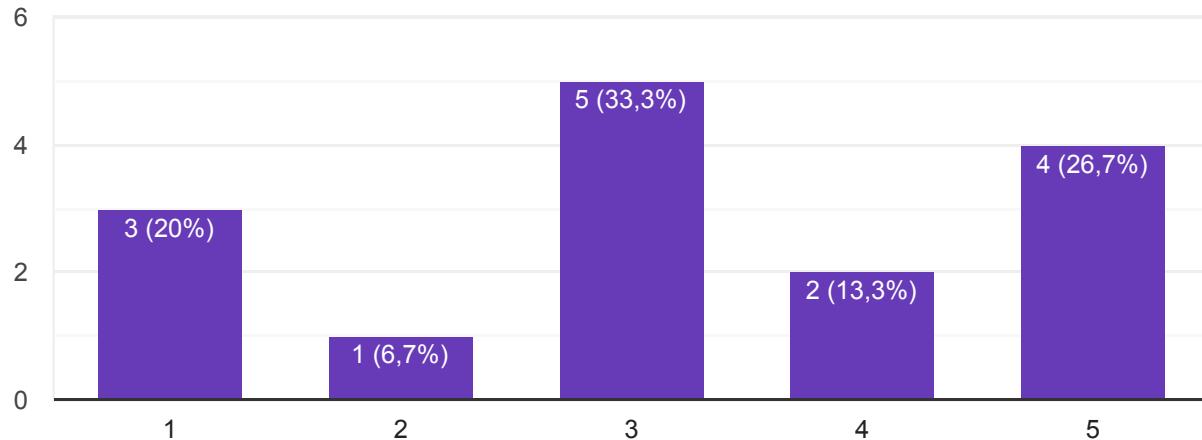
15 respostas



Acredito que a aplicação poderia substituir o uso de dentes reais para o ensino de anatomia odontológica e endodontia.

 Copiar

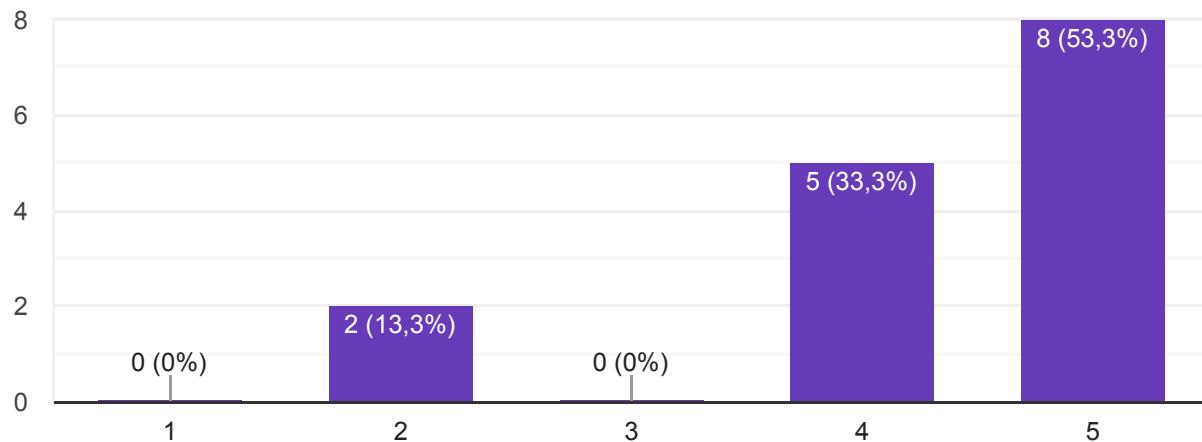
15 respostas



Acredito que a aplicação poderia substituir o uso de imagens em duas dimensões para o ensino de anatomia odontológica e endodontia.

 Copiar

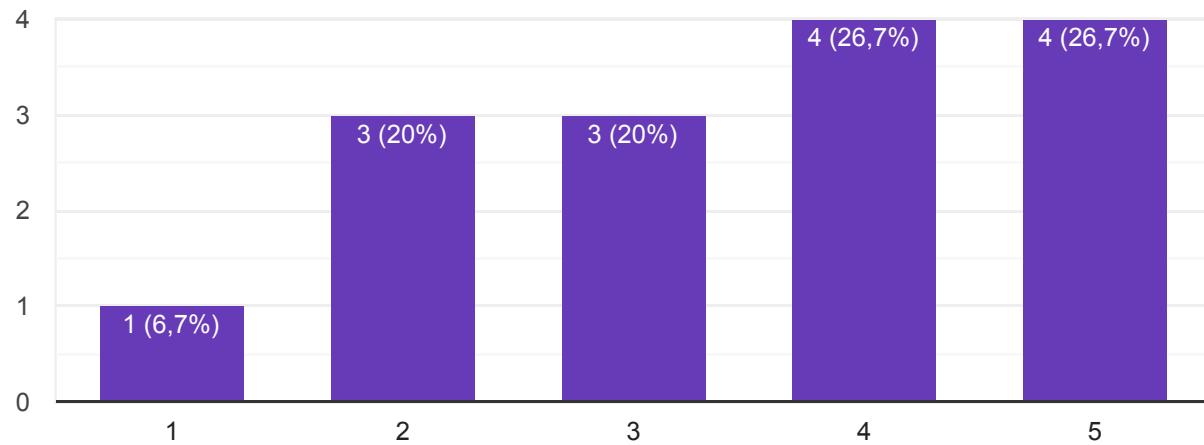
15 respostas



Acredito que a aplicação poderia substituir o uso de modelos de dentes em resina para o ensino de anatomia odontológica e endodontia.

 Copiar

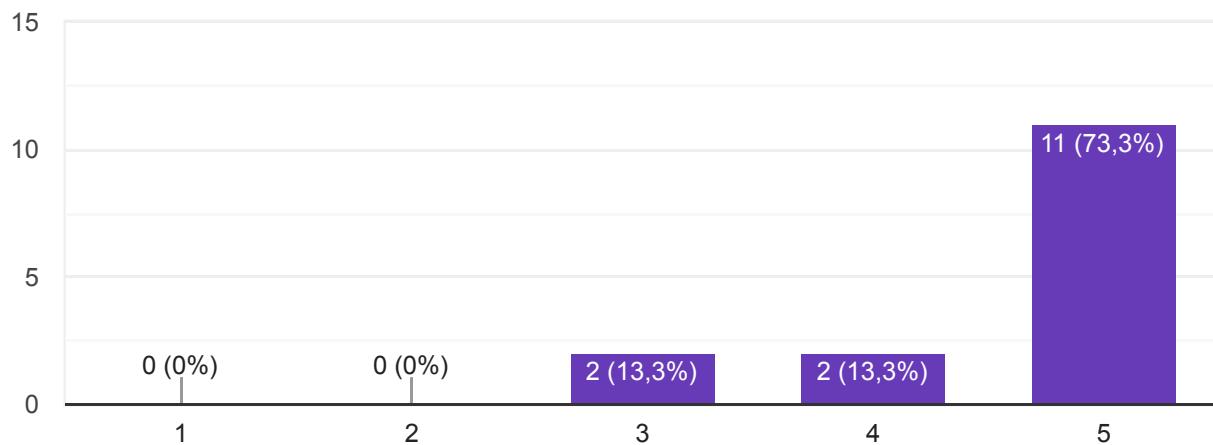
15 respostas



Acredito que a aplicação poderia substituir a utilização de modelos 3D não imersivos (aplicativos, sites, vídeos etc.) no ensino de anatomia odontológica e endodontia.

 Copiar

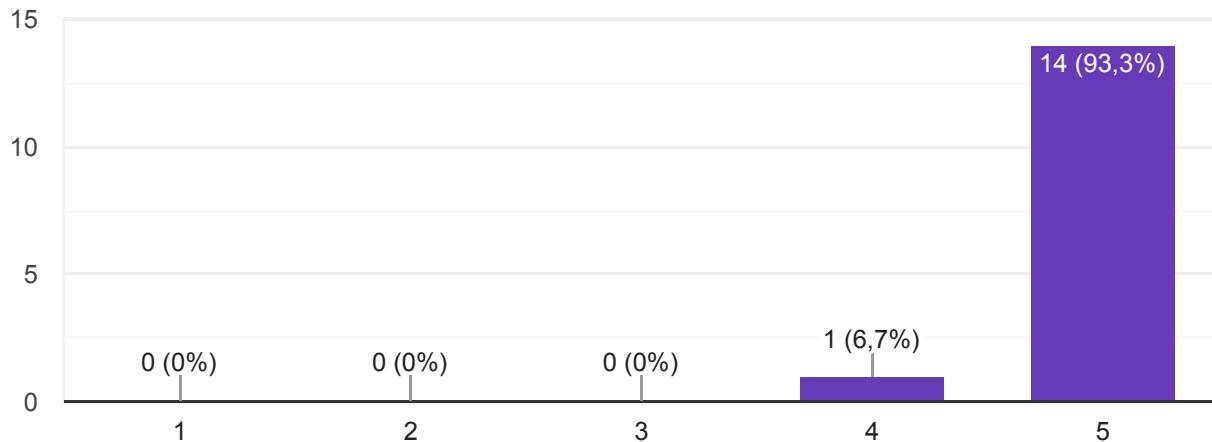
15 respostas



Acredito que a aplicação complementa bem as ferramentas tradicionais para ensino de anatomia odontológica e endodontia.

 Copiar

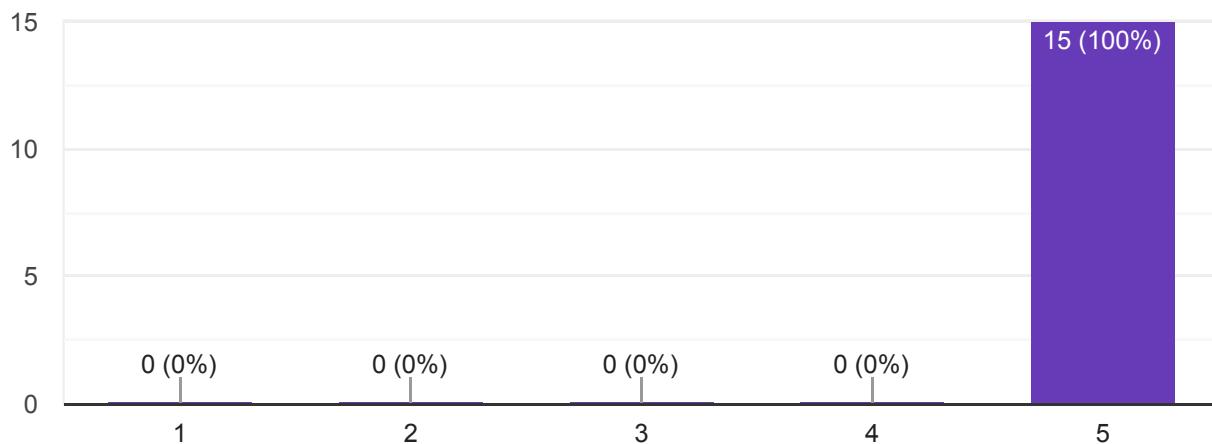
15 respostas



Eu gostaria de integrar o uso da aplicação às minhas aulas de anatomia odontológica ou endodontia.

 Copiar

15 respostas



Possui alguma observação sobre a utilidade da ferramenta? (Observações sobre qualquer uma das afirmações da seção também podem ser feitas nesse campo)

3 respostas

Acredito q seja complementar, mas com um acréscimo estupendo de compreensão das estruturas e tridimensionalidade. Só de promover imagens de objects reais já acresce absurdamente!

A questão dos dentes de resina nós não poderemos abandonar, pq neles os alunos ainda terão q desenvolver os procedimentos. MAS, na medida em q avançarmos nos conhecimentos e agregando o háptico, em breve poderemos abandonar os dentes de resina.

Se possível, colocar a função de corte de baixo para cima (raíz para a coroa)

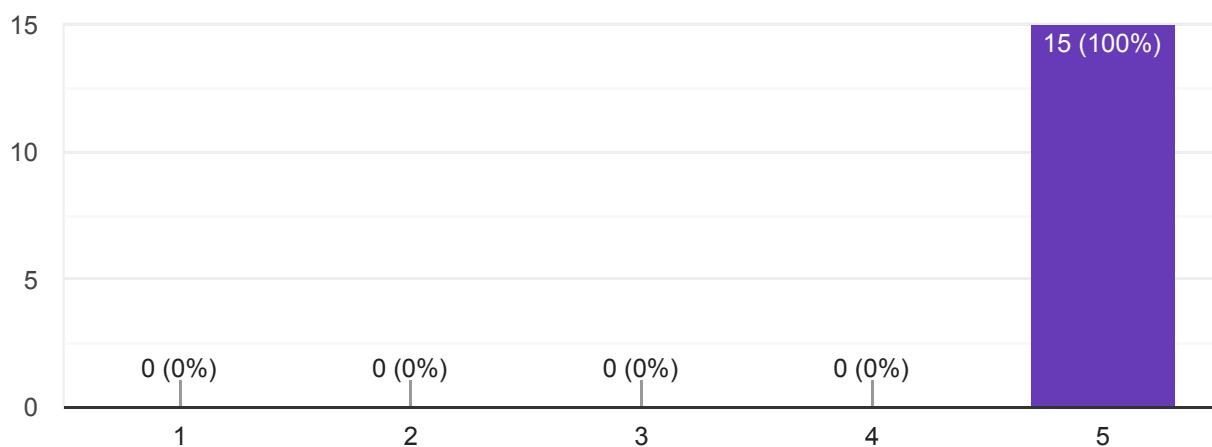
O aprendizado de aspectos bidimensionais são insubstituíveis porque eles correspondem à imagem radiográfica utilizada em atividades clínicas.

Uso de realidade virtual

A qualidade gráfica dos objetos virtuais é satisfatória.

 Copiar

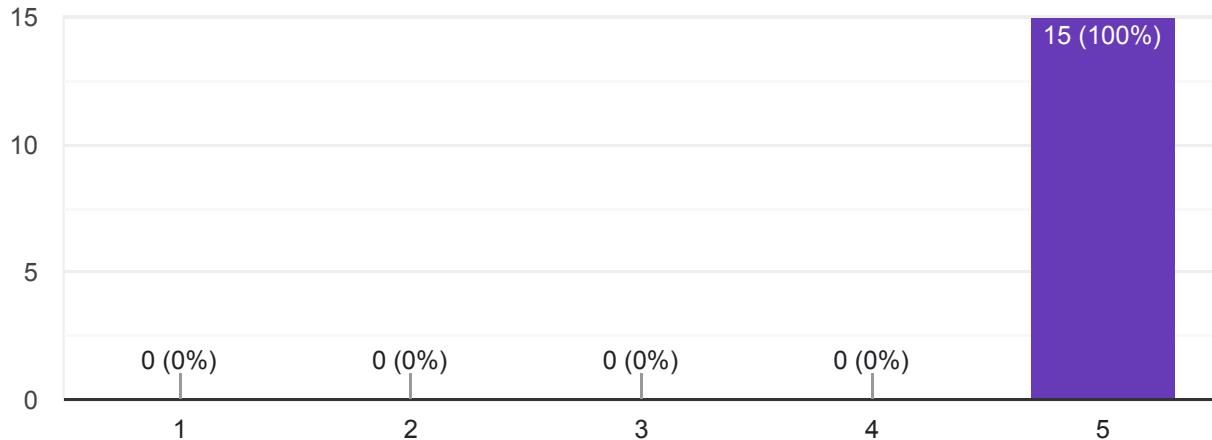
15 respostas



A possibilidade de interagir diretamente com os objetos virtuais torna a experiência mais interessante.

 Copiar

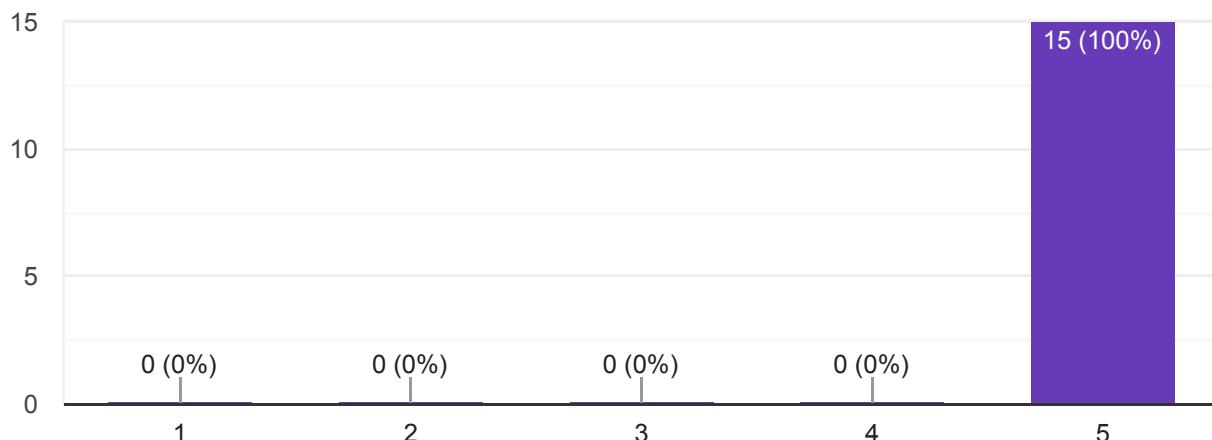
15 respostas



Acredito que a possibilidade de interagir diretamente com os objetos virtuais é valiosa para o aprendizado do assunto.

 Copiar

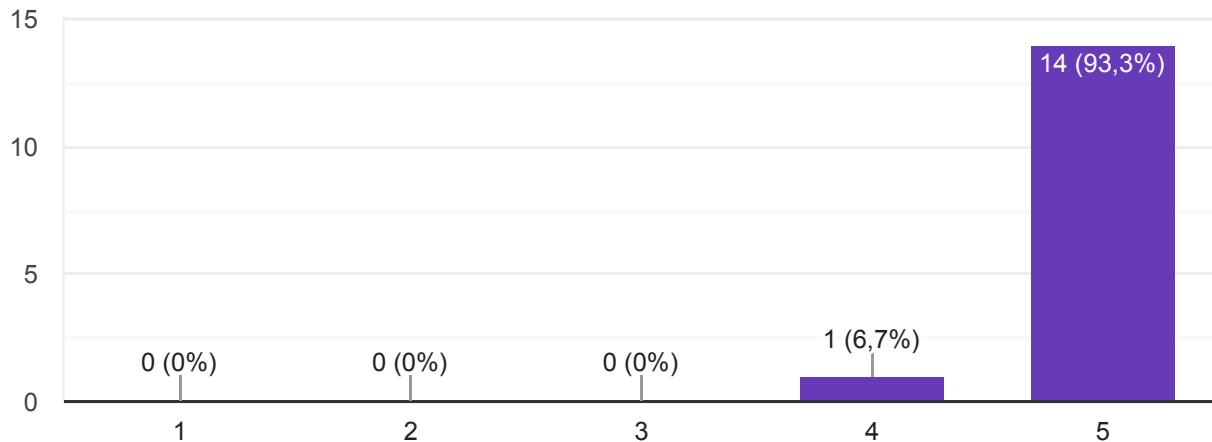
15 respostas



Durante o uso da aplicação, senti que os objetos virtuais realmente existiam.

 Copiar

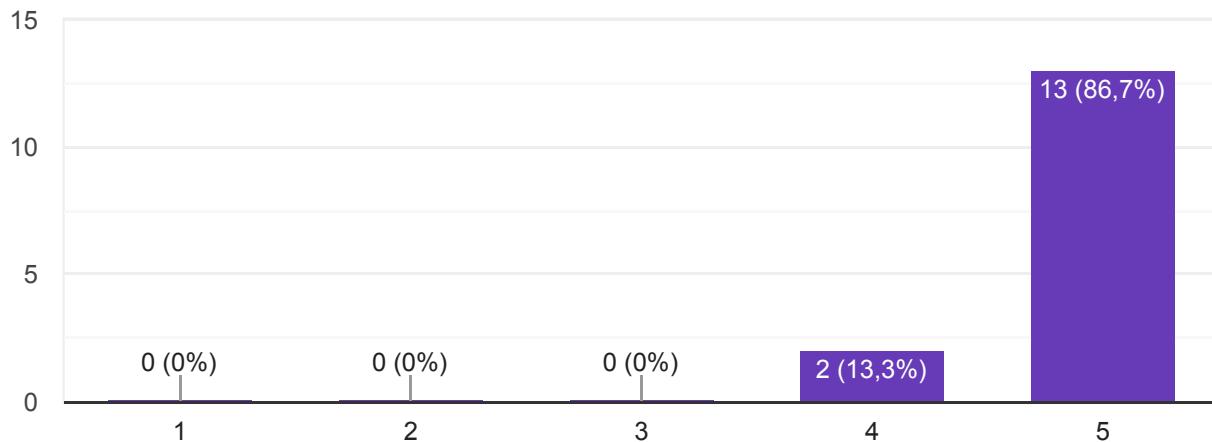
15 respostas



Durante o uso da aplicação, senti que as interações com os objetos virtuais eram naturais.

 Copiar

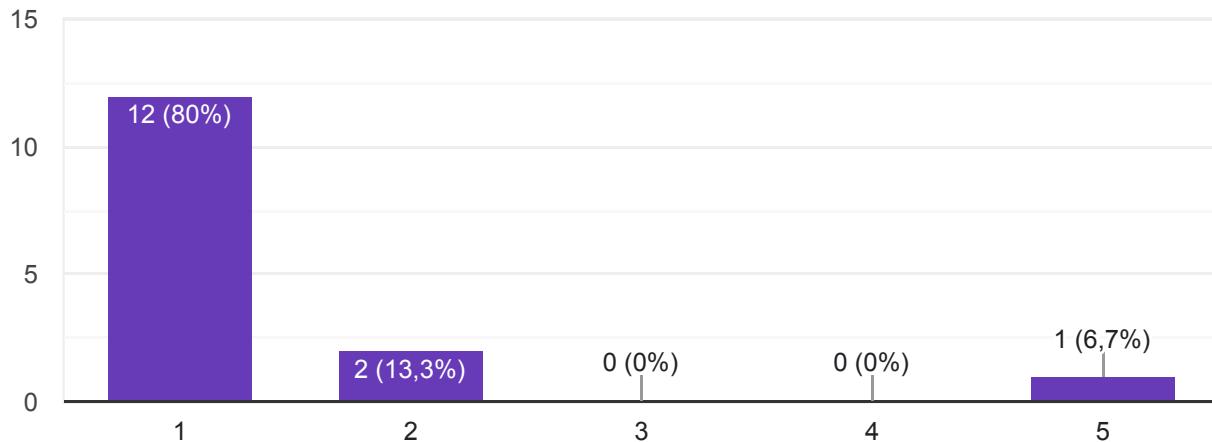
15 respostas



Acredito que a aplicação é visualmente poluída e isso prejudicou minha experiência.

 Copiar

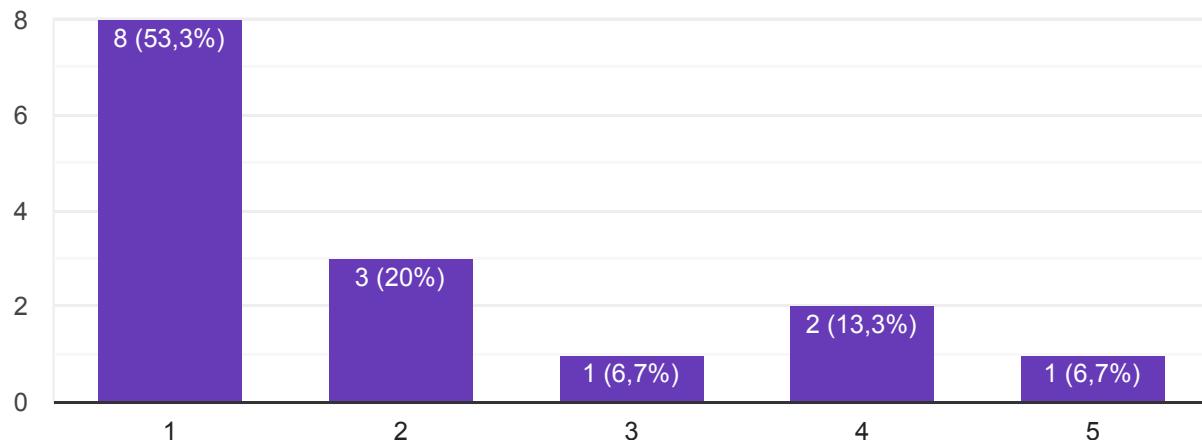
15 respostas



Senti que o uso de menus flutuantes com botões e sliders atrapalhou minha experiência.

 Copiar

15 respostas



Possui alguma observação sobre o uso de realidade virtual nessa aplicação?
(Observações sobre qualquer uma das afirmações da seção também podem ser feitas nesse campo)

1 resposta

A possibilidade de visualização de um dente íntegro e outro com procedimento realizado enriquece muito as possibilidades de uso para o aprendizado.

Comentários gerais

Críticas, sugestões ou elogios?

9 respostas

sugestão; existem estruturas como esmalte, dentina e cimento que poderiam ser identificadas

parabéns, adorei a experiência

Parabéns, queridos! É como se um sonho de anos se tornasse realidade!

Muito bom!

Excelente dispositivo com possibilidades de uso interativas e atrativas.

Uma experiência incrível e imersiva.

Trabalho muito bem desenvolvido.

Poderia acrescentar todos os grupos dentais. Tem possibilidade de incluir os escaneamentos dos procedimentos seguintes da endodontia, como obturação.

vamos colocar mais anatomias e cortes transversal e coronais

Meninos vcs são incríveis, por favor não parem de estudar!! obrigada por tanto comprometimento

Será uma ótima oportunidade para melhor a qualidade no ensino da odontologia. Parabéns pela iniciativa

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google. - [Termos de Serviço](#) - [Política de Privacidade](#)

Does this form look suspicious? [Relatório](#)

Google Formulários