

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

UMA APLICAÇÃO MÓVEL DE REALIDADE AUMENTADA PARA MAPEAMENTO ARTERIAL EM IMPLANTOLOGIA: UMA FERRAMENTA DE FORMAÇÃO E PEDAGÓGICA.

Trabalho submetido por
Jean Lino Le Roux
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Julho de 2026

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

UMA APLICAÇÃO MÓVEL DE REALIDADE AUMENTADA PARA MAPEAMENTO ARTERIAL EM IMPLANTOLOGIA: UMA FERRAMENTA DE FORMAÇÃO E PEDAGÓGICA.

Trabalho submetido por
Jean Lino Le Roux
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Trabalho orientado por
Prof. Doutor Pedro Rodrigues

Julho de 2026

AGRADECIMENTOS

A concretização deste trabalho não teria sido possível sem o apoio, a generosidade e a inspiração de um conjunto de pessoas a quem devo o meu mais sincero reconhecimento.

Aos meus Pais, dedico a primeira palavra. Pelo amor incondicional e pelo apoio constante em todas as etapas da minha formação, esta tese é também fruto do vosso esforço e da vossa crença inabalável em mim. A vós devo aquilo que sou. Ao Professor Doutor Pedro Rodrigues, meu orientador e mentor, expresso a minha mais profunda gratidão pela orientação abnegada, pela dedicação e pela generosidade com que sempre me acompanhou. Mais do que um orientador de tese, encontrei no Professor Pedro um exemplo de excelência que diariamente me motiva a superar-me no caminho para me tornar um cirurgião melhor. A oportunidade de o assistir em bloco operatório foi um privilégio raro, que me permitiu consolidar as bases da minha prática cirúrgica. Com ele aprendi não apenas a técnica e o rigor, mas também a importância da humildade e o valor de progredir com paciência, passo a passo. Os seus ensinamentos são o verdadeiro alicerce da minha formação.

Ao Professor Doutor Carlos Zagalo, dirijo um agradecimento sentido por me ter proporcionado uma experiência verdadeiramente excecional no Instituto Português de Oncologia (IPO). Poder assistir às suas cirurgias foi um marco no meu percurso formativo: cada intervenção foi uma lição de rigor, de serenidade e de mestria que me permitiu progredir como futuro cirurgião e contactar, de perto, com a cirurgia praticada ao mais alto nível. A paixão inesgotável e a entrega incansável com que exerce a profissão são um exemplo que levo comigo. Faço votos de uma carreira ainda longa e fecunda — a de alguém que, estou certo, nunca deixará de operar, de ensinar e de inspirar.

Ao Professor Doutor Gil Alcoforado, um agradecimento muito especial pela motivação contagiante e pelos conselhos sempre preciosos. A sua extraordinária carreira, feita de amor à profissão, longevidade e energia inesgotável, constitui uma inspiração e um modelo para o meu futuro percurso na Medicina Dentária.

Ao Professor Doutor Daniel Simões Lopes, agradeço o valioso contributo científico, a total disponibilidade e o apoio fundamental no desenvolvimento tecnológico que serviu de base a esta investigação.

Ao Tiago Van Breemen, pela paciência, pela generosidade e pelos ensinamentos partilhados no domínio dos softwares de modelação 3D. Sem a sua competência técnica e o seu apoio crucial na arquitetura da aplicação em Lens Studio, a materialização deste projeto não teria sido possível.

A todos os médicos dentistas e alunos da Pós-Graduação em Implantologia que aceitaram participar voluntariamente neste estudo, agradeço a disponibilidade e o feedback crítico que partilharam — alicerce fundamental para a validação desta ferramenta.

Ao Professor Doutor José João Mendes, na qualidade de Presidente da Egas Moniz School of Health & Science, agradeço o rumo institucional e o constante incentivo à inovação e à investigação científica.

À Egas Moniz School of Health & Science, pela excelência do ensino e por me ter proporcionado as condições e as oportunidades necessárias para crescer, tanto a nível académico como pessoal, ao longo destes anos.

À Lyna, minha namorada e colega de profissão, pelo apoio incondicional, pelo carinho e pela paciência infinita ao longo desta jornada. Partilhar contigo os desafios deste percurso — com a certeza de que compreendes cada etapa e a exigência do mundo da Medicina Dentária — tornou todo o processo mais leve. Obrigado por seres o meu porto seguro e por me incentivares a ser melhor todos os dias.

A todos, o meu sincero e profundo obrigado.

Declaração de Honra

Código | IMP-EM-EI-111_01

Declaro, por minha honra, que o presente trabalho académico é original e foi elaborado por mim próprio, não se tendo recorrido a quaisquer outras fontes, para além das indicadas, usadas, adotadas literalmente ou adaptados a partir dos seus originais (em fontes impressas, não impressas ou na internet) e encontram-se adequados, identificados e citados, com observância das convenções do trabalho académico em vigor.

Mais declaro que esta Trabalho de Projeto final “Uma aplicação Móvel de Realidade Aumentada para Mapeamento Arterial em Implantologia: Uma Ferramenta de Formação e Pedagógica” não foi apresentada, para efeitos de avaliação, a qualquer outra entidade ou instituição, para além da(s) diretamente envolvida(s) na sua elaboração, e que os conteúdos das versões impressa e eletrónica são inteiramente coincidentes.

Declaro, igualmente, encontrar-me ciente de que a inclusão, neste texto, de qualquer falsa declaração terá consequências legais.

Data: 15/06/2026

Declaração Conflito de Interesses (DCI)

Código | IMP-EM-EI-110_01

Eu Jean Lino Le Roux, referente a Trabalho de Projeto final “Uma aplicação Móvel de Realidade Aumentada para Mapeamento Arterial em Implantologia: Uma Ferramenta de Formação e Pedagógica” declaro que não possuo conflitos de interesse de ordem pessoal, comercial, académica, político ou financeiro.

Data: 15/06/2026

Declaração de Financiamento

Código | IMP-EM-EI-113_01

Eu Jean Lino Le Roux, referente a Trabalho de Projeto final “Uma aplicação Móvel de Realidade Aumentada para Mapeamento Arterial em Implantologia: Uma Ferramenta de Formação e Pedagógica” declaro que o meu trabalho não se encontra financiado.

Declaração de Ética e Registo

Código | IMP-EM-EI-112_01

Eu Jean Lino Le Roux, referente a Trabalho de Projeto final “Uma aplicação Móvel de Realidade Aumentada para Mapeamento Arterial em Implantologia: Uma Ferramenta de Formação e Pedagógica” declaro que o meu trabalho se encontra aprovado pela Comissão de ética Egas Moniz CEEM sob o número ou identificação de registo 1703.

Data: 12/06/2026

Declaração de Disponibilidade de Dados

Código | IMP-EM-EI-150

A presente Declaração de Disponibilidade de Dados reflete o compromisso do Instituto Universitário Egas Moniz em promover a transparência, a reprodutibilidade científica e o acesso aberto aos dados gerados no âmbito dos projetos a decorrer nesta IES, em conformidade com os princípios éticos e legais aplicáveis e com os princípios FAIR. Esta declaração estabelece as condições e as diretrizes para o acesso, o compartilhamento e a reutilização dos dados, garantindo que sejam utilizados de forma responsável e em benefício da comunidade científica e da sociedade.

A seguinte tabela apresenta diferentes opções de partilha de dados, incluindo exemplos de formatos e níveis de acessibilidade. Deverá selecionar a(s) opção(ões) que melhor se adequa(m) ao seu projeto, assegurando o cumprimento das diretrizes éticas e científicas aplicáveis.

Tabela 1: Exemplos de declarações de disponibilidade de dados. Onde aparece [nome do repositório, por exemplo, “pure”] deve ser preenchido

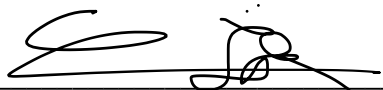
Disponibilidade de dados	Modelo de declaração de disponibilidade de dados	Política de partilha	Assinale com “x”
Dados disponíveis num repositório público que emite conjuntos de dados com DOIs	Os dados que apoiam as conclusões deste estudo estão disponíveis em [nome do repositório, por exemplo, “pure”] em http://doi.org/[doi] , número de referência [número de referência].	Partilha geral sem pedido	
Dados abertamente disponíveis num repositório público que não emite DOIs	Os dados que apoiam as conclusões deste estudo estão disponíveis em [nome do repositório] em [URL], número de referência [número de referência].	Partilha geral sem pedido	
Dados derivados de recursos do domínio público	Os dados que apoiam as conclusões deste estudo estão disponíveis em [nome do repositório] em [URL/DOI], número de referência [número de referência]. Estes dados foram obtidos a partir dos seguintes recursos disponíveis no domínio público: [listar recursos e URLs]	Partilha geral sem pedido	
Dados disponíveis no artigo ou nos seus materiais suplementares	Os autores confirmam que os dados que suportam as conclusões deste estudo estão disponíveis no artigo	Básico, partilhar a pedido	

Disponibilidade de dados	Modelo de declaração de disponibilidade de dados	Política de partilha	Assinale com “x”
	[e/ou] nos seus materiais suplementares.		
Dados gerados numa instalação central de grande escala, disponíveis mediante pedido	Os dados em bruto foram gerados em [nome da instalação]. Os dados derivados que suportam as conclusões deste estudo estão disponíveis junto do autor correspondente [iniciais], mediante pedido.	Básico, partilhar a pedido	
Embargo dos dados devido a restrições comerciais	Os dados que suportam os resultados estarão disponíveis em [nome do repositório] em [URL / ligação DOI] após um embargo de [6 meses] a partir da data de publicação para permitir a comercialização dos resultados da investigação.	Básico, Partilhar a pedido	
Dados disponíveis a pedido devido a restrições de privacidade/éticas	Os dados que sustentam as conclusões deste estudo estão disponíveis mediante pedido ao autor correspondente, JLLR. Os dados não estão disponíveis ao público devido ao facto de conterem informações que podem comprometer a privacidade dos participantes na investigação.	Básico, Partilhar a pedido	X
Dados sujeitos a restrições de terceiros	Os dados que suportam as conclusões deste estudo estão disponíveis [junto de] [terceiros]. Aplicam-se restrições à disponibilidade destes dados, que foram utilizados sob licença para este estudo. Os dados estão disponíveis [através dos autores / no URL] com a permissão de [terceiros].	Básico, Partilhar a pedido	
Dados disponíveis a pedido dos autores	Os dados que suportam as conclusões deste estudo estão disponíveis junto do autor correspondente, [iniciais do autor], mediante pedido razoável.	Básico, Partilhar a pedido	
Partilha de dados não aplicável - não foram gerados novos dados	A partilha de dados não é aplicável a este artigo, uma vez que não foram criados ou analisados novos dados neste estudo.	-	

Declaração de Disponibilidade de Dados

Código | IMP-EM-EI-150

Disponibilidade de dados	Modelo de declaração de disponibilidade de dados	Política de partilha	Assinale com "x"
Dados não digitais disponíveis	Os dados não digitais que suportam este estudo são conservados em [adicionar local].	Básicos	
Dados não disponíveis devido a restrições [éticas/legais/comerciais]	Devido à natureza da investigação, os dados de apoio [éticos/legais/comerciais] não estão disponíveis.	-	
Dados não disponíveis - consentimento do participante	Os participantes neste estudo não deram consentimento escrito para que os seus dados fossem partilhados publicamente, pelo que, devido à natureza sensível da investigação, os dados de apoio não estão disponíveis.	-	

O Orientando:  Data: 02/06/2026

O Orientador: Assinado por: **Pedro Miguel da Silva Rodrigues** Data: 02 /06/2026
Num. de Identificação: 11524605
Data: 2026.06.18 15:24:39+01'00'

RESUMO

A formação em implantologia exige uma percepção espacial tridimensional rigorosa para evitar lesões em estruturas vitais, mas o planejamento tradicional, baseado em imagens bidimensionais e em CBCT, impõe uma elevada carga mental na visualização *in situ*. Embora raros, os acidentes vasculares são mais graves quando decorrem da osteotomia da cortical lingual mandibular — envolvendo as artérias sublingual, submentoniana e milo-hioideia —, podendo provocar hemorragia, hematoma do pavimento oral, obstrução das vias aéreas e, em casos extremos, a morte. Neste contexto, propõe-se uma ferramenta pedagógica de Realidade Aumentada (RA) móvel — uma «Lente» interativa para Snapchat, desenvolvida em Blender e Lens Studio — que projeta tridimensionalmente sete artérias de risco sobre o rosto do utilizador ou sobre modelos anatómicos, como recurso complementar ao CBCT para a sensibilização do risco vascular. Num estudo de prova de conceito aprovado pela Comissão de Ética do Instituto Universitário Egas Moniz, 20 médicos dentistas da pós-graduação em Implantologia (N=20) avaliaram a ferramenta através dos instrumentos validados System Usability Scale (SUS), NASA-Task Load Index (NASA-TLX) e VisEngage, complementados por análise qualitativa segundo o método de Bardin. Os resultados revelaram usabilidade excelente (SUS=87,1; Grau A), elevado envolvimento imersivo (VisEngage=5,28/7) e carga de trabalho mental consistentemente reduzida, independentemente da experiência prévia em RA/RV; 90% da amostra confirmou um aumento da consciência do risco cirúrgico vascular após a interação.

Conclui-se que a IMPLANTARTERY constitui uma inovação pedagógica acessível e de baixo custo que, funcionando como «safety checklist» anatómica complementar, liga a abstração bidimensional à realidade operatória tridimensional, reforçando a segurança biológica e otimizando a curva de aprendizagem em implantologia.

Palavras-chave: Realidade Aumentada; Implantologia; Segurança Cirúrgica; Anatomia Vascular.

ABSTRACT

Title: A Mobile Augmented Reality Application for Arterial Mapping in Implantology: A Training and Pedagogical Tool

Background: Dental implantology requires precise three-dimensional spatial perception to avoid injury to vital structures, yet conventional planning based on two-dimensional imagery and CBCT imposes a high mental load for *in situ* visualisation. Although rare, vascular accidents are most critical when arising from osteotomy of the mandibular lingual cortical plate — involving the sublingual, submental and mylohyoid arteries — potentially causing severe haemorrhage, floor-of-mouth haematoma, airway obstruction and, in extreme cases, death.

Objectives: This thesis describes the design, development and user-acceptance validation of IMPLANTARTERY, a mobile Augmented Reality (m-AR) pedagogical tool built as an interactive Snapchat Lens via Blender and Lens Studio, projecting seven critical arteries onto the user's face or anatomical models to complement CBCT for vascular risk awareness.

Methodology: In a proof-of-concept study approved by the Ethics Committee of Egas Moniz University, 20 dental surgeons from the postgraduate Implantology programme (5th edition; N=20) evaluated the lens through three validated instruments — the System Usability Scale (SUS), NASA Task Load Index (NASA-TLX) and VisEngage — complemented by Bardin's qualitative content analysis.

Results: The tool achieved excellent usability (SUS=87.1; Grade A), high engagement (VisEngage=5.28/7) and consistently low cognitive workload, regardless of prior AR/VR experience; 90% of participants reported an increased perception of vascular surgical risk.

Conclusions: IMPLANTARTERY is an accessible, low-cost pedagogical innovation that, functioning as a complementary anatomical «safety checklist», bridges two-dimensional theoretical abstraction and three-dimensional operative reality, reinforcing biological safety awareness and enhancing the learning curve in implant dentistry.

Keywords: Augmented Reality; Implantology; Surgical Safety; Vascular Anatomy.

ÍNDICE GERAL

I. INTRODUÇÃO.....	11
1.1. Contextualização Histórica e Previsibilidade Clínica.....	11
1.2. Riscos Anatômicos Gerais na Prática Implantar	12
1.3. Irrigação Orofacial: Padrões e Variabilidade	14
1.3.1. Região Maxilar	14
1.3.2. Região Mandibular	15
1.4. Consequências da Laceração Vascular e Risco Vital	16
1.5. A Necessidade de uma Nova Abordagem Pedagógica	17
1.6. Objetivos e Questões de Investigação	18
II. ENSINO DE ANATOMIA CIRÚRGICA E ESTADO DA ARTE	21
2.1. Métodos Tradicionais	21
2.1.1. Métodos Clássicos: Atlas Anatômicos, Modelos Animais e Cadavéricos	21
2.1.2. Imagiologia Médica e o CBCT como Pilar do Planeamento Moderno	22
2.2. Realidade Virtual no Ensino Anatômico	23
2.3. Realidade Aumentada e Ensino de Anatomia.....	24
2.3.1. Breve História da Realidade Aumentada Aplicada ao Ensino Anatômico	25
2.3.2. Taxonomia das Abordagens de RA e Análise Crítica Comparativa	25
2.3.3. Mobile-XR e o Ecossistema Snapchat Lens Studio.....	26
2.3.4. Integração das Lentes Snapchat em Implantologia Oral	27
2.4. Evidência Estatística e o «Gap» de Percepção Espacial.....	28
2.5. Lacunas na Literatura e Oportunidade de Investigação.....	30
2.6. Síntese do Estado da Arte.....	31
III. DESENVOLVIMENTO	33
3.1. Modelação 3D Anatômica: Fundamentos e Curadoria Científica.....	35
3.1.1. Seleção e Justificação da Base Geométrica.....	35
3.1.2. Otimização de Malhas e Gestão de Ativos (Decimation).....	36
3.2. Descrição Anatômica e Justificação Clínica das Estruturas Vasculares Mapeadas.....	37
3.2.1. Setor Mandibular: Artéria Alveolar Inferior e Ramo Incisivo	37
3.2.2. Setor Maxilar: Artéria Palatina Maior e Artéria Nasopalatina.....	43
3.3. Prototipagem e Implementação no Lens Studio.....	47
3.4. Considerações de Design e Engenharia da Interface	48

IV. METODOLOGIA DE VALIDAÇÃO	51
4.1. Desenho do Estudo e Amostra.....	51
4.1.1. Caracterização da Amostra e Justificação.....	52
4.1.2. Critérios de Inclusão e Exclusão.....	53
4.2. Variáveis e Resultados Esperados (Outcomes).....	54
4.3. Instrumentos de Recolha de Dados e Materiais.....	54
4.3.1. Hardware e Software	54
4.3.2. Justificação dos Questionários	55
4.4. Protocolo Experimental e Fluxo de Trabalho	56
4.5. Análise Estatística	57
V. RESULTADOS E ANÁLISE DE DADOS.....	59
5.1. Caracterização da Amostra e Perfil de Literacia Digital	60
5.2. Verificação das Condições de Normalidade e Justificação dos Métodos Estatísticos	61
5.3. Análise da Carga de Trabalho Mental (NASA-TLX).....	62
5.4. Decomposição da Usabilidade (System Usability Scale — SUS)	63
5.5. Engagement e Experiência Imersiva (VisEngage).....	64
5.6. Análise Qualitativa por Método de Bardin — Categorias, Frequências e Evidência Discursiva	66
5.7. Análise Comparativa por Experiência Prévia em RA: Teste U de Mann-Whitney.....	69
5.7.1. Comparação das Dimensões NASA-TLX	69
5.7.2. Comparação dos Itens SUS e VisEngage	70
5.8. Análise de Correlações — Rô de Spearman.....	71
5.8.1. Estrutura Interna do NASA-TLX.....	71
5.9. Síntese Integradora dos Resultados e Verificação das Hipóteses de Investigação	72
VI. DISCUSSÃO	73
6.1. Otimização da Carga Cognitiva e o Fenómeno de «Embodied Learning»	73
6.2. Usabilidade e o Paradigma BYOD no Ensino Médico-Dentário.....	74
6.2.1. O «Paradoxo Snapchat»: Acessibilidade versus Credibilidade Clínica	76
6.2.2. Validade Qualitativa da Amostra: O Valor do «Expert Feedback».....	77
6.3. Sensibilização para a Fatalidade e Segurança Vascular	78
6.4. Nível de Maturidade Profissional e Valor Pedagógico Diferenciado	79
6.5. Implicações Clínicas e Segurança do Paciente	80
6.6. Limitações do Estudo	81

VII. CONCLUSÕES	83
7.1. Viabilidade Técnica e Inovação mAR.....	84
7.2. Eficácia Pedagógica e Usabilidade	84
7.3. Sensibilização para a Fatalidade Vascular.....	85
7.4. Perspetivas Futuras.....	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

N.º	Legenda	Pág.
Figura 3.1	Quadro Teórico Integrador: do Gap de Percepção Espacial aos Outcomes mensurados	34
Figura 3.2	Interface do Blender: vista frontal (estruturas ósseas) e vista lateral (estruturas vasculares)	35
Figura 3.3	Interface do Blender: decimação seletiva para otimização da malha (vista geral)	37
Figura 3.4	Interface do Blender: decimação seletiva para otimização da malha (pormenor)	37
Figura 3.7	Artérias e veias que irrigam os dentes	38
Figura 3.8	Vista medial da mandíbula e irrigação do pavimento bucal	40
Figura 3.9	Vista profunda da região submentoniana e relação da artéria submentoniana com o músculo milo-hioideu	41
Figura 3.10	Vascularização e inervação do palato duro, com evidência da artéria palatina maior	44
Figura 3.11	Irrigação do septo nasal e trajeto da artéria nasopalatina no canal incisivo	45
Figura 3.12	Trajeta da artéria maxilar na fossa infratemporal e transição para a fossa pterigopalatina	45
Figura 3.13	Interface do Lens Studio com a pré-visualização da Lente IMPLANTARTERY	50
Figura 4.1	Diagrama de Fluxo de Participantes (adaptado do modelo CONSORT)	52
Figura 4.2	Resumo das distintas fases e etapas do procedimento do estudo com utilizadores	57
Figura 4.3	Registo fotográfico: experimentação da Lente IMPLANTARTERY no IUEM	58
Figura 5.1	Perfil de Carga de Trabalho NASA-TLX por grupo de experiência prévia em RA (Grupo S vs. Grupo N)	63
Figura 5.2	Resultados individuais da Escala SUS (N=20)	64
Figura 5.3	Resultados individuais da Escala VisEngage (N=20)	66

ÍNDICE DE TABELAS

N.º	Legenda	Pág.
Tabela 3.1	Síntese das estruturas arteriais modeladas: localização clínica, risco vital e fundamentação científica	46
Tabela 3.2	Especificações técnicas e parâmetros de otimização da Lente IMPLANTARTERY	47
Tabela 5.1	Caracterização sociodemográfica e perfil de literacia digital da amostra (N=20)	61
Tabela 5.2	Estatísticas descritivas das dimensões do NASA-TLX (N=20; Escala 1–21)	62
Tabela 5.3	Estatísticas descritivas dos itens SUS (N=20; Escala Likert 1–5)	64
Tabela 5.4	Resultados por subescala do VisEngage (N=20; Escala 1–7; ponto neutro = 4,0)	65
Tabela 5.5	Categorias, subcategorias e frequências da análise de conteúdo (Bardin, 2011)	67
Tabela 5.6	Comparação das dimensões NASA-TLX por experiência prévia em RA (Teste U de Mann-Whitney)	69
Tabela 5.7	Itens SUS e VisEngage com diferenças estatisticamente significativas entre grupos ($\alpha=0,05$)	71
Tabela 5.8	Síntese das correlações de Spearman clinicamente relevantes (N=20; $\alpha=0,05$)	72
Tabela 5.9	Verificação das hipóteses de investigação	73

LISTA DE ABREVIATURAS

Sigla	Significado
AASP	Artéria Alveolar Superior Posterior
AR / RA	Augmented Reality / Realidade Aumentada
BYOD	Bring Your Own Device
CAD/CAM	Computer-Aided Design / Computer-Aided Manufacturing
CBCT	Cone Beam Computed Tomography (Tomografia Computorizada de Feixe Cónico)
CONSORT	Consolidated Standards of Reporting Trials
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
DP	Desvio-Padrão
DSD	Digital Smile Design
FBX	Filmbox (formato de ficheiro para ativos 3D)
GBR / ROG	Guided Bone Regeneration (Regeneração Óssea Guiada)
H	Hipótese (refere-se a H1, H2 e H3)
HMD	Head-Mounted Display
IA	Inteligência Artificial
IC	Intervalo de Confiança
IUEM	Instituto Universitário Egas Moniz
mAR	Mobile Augmented Reality (Realidade Aumentada Móvel)
MIMD	Mestrado Integrado em Medicina Dentária
MRT	Mental Rotation Test (Teste de Rotação Mental)

Sigla	Significado
NASA-TLX	NASA Task Load Index
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PBR	Physically Based Rendering
QI	Questão de Investigação
RGPD	Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados
RV	Realidade Virtual
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
SUS	System Usability Scale
TA2	Terminologia Anatomica (2. ^a edição)
UI / UX	User Interface / User Experience
VisEngage	Visualization Engagement (escala de envolvimento visual e imersivo)
XR	Extended Reality (Realidade Estendida)

I. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização Histórica e Previsibilidade Clínica

A implantologia oral contemporânea deve a sua gênese ao trabalho pioneiro de Per-Ingvar Brånemark, cuja descrição do fenômeno da osteointegração revolucionou a Medicina Dentária. Esta descoberta, inicialmente acidental, ocorreu em 1952, quando Brånemark realizava estudos de microcirculação *in vivo* utilizando câmaras de titânio inseridas em tíbias de coelhos. Ao tentar remover estas câmaras, observou que o metal se fundira de tal forma com o tecido ósseo que a sua separação era impossível sem fraturar o osso adjacente (Brånemark et al., 1977). O conceito de osteointegração foi formalmente definido e publicado por Brånemark em 1983 como *"a direct structural and functional connection between ordered, living bone and the surface of a load-carrying implant"* — definição que estabeleceu os fundamentos biológicos da especialidade e que permanece a referência conceptual até aos dias de hoje (Brånemark, 1983). Importa sublinhar que a osteointegração foi subsequentemente aplicada não apenas à reabilitação dentária, mas também à conexão de próteses faciais e à ancoragem de próteses auriculares e oculares, evidenciando a amplitude translacional desta descoberta (Brånemark, 1983; Lekholm & Zarb, 1985).

Durante o final da década de 1950, as investigações foram aprofundadas para compreender a biocompatibilidade do titânio e a sua capacidade de estabelecer uma ligação estrutural e funcional direta com o tecido ósseo vivo, sem a interposição de tecido fibroso. A transição para a prática clínica ocorreu em 1965, com a reabilitação do primeiro paciente humano, Gösta Larsson. O sucesso desta intervenção, cujos implantes permaneceram funcionais durante quatro décadas, consolidou a técnica que hoje constitui o padrão de ouro para a reabilitação de desdentados totais e parciais (Lekholm & Zarb, 1985).

Atualmente, o mercado global de implantologia reflete a escala massiva desta especialidade: estima-se que sejam colocados anualmente entre 15 a 20 milhões de implantes em todo o mundo (Straumann Group, 2024; American Academy of Implant Dentistry, 2023). Com taxas de sobrevivência que ultrapassam os 95% num período de acompanhamento de dez ou mais anos em condições ideais

(Moraschini et al., 2015), esta previsibilidade transformou um procedimento outrora experimental numa intervenção de rotina. Contudo, este volume clínico monumental impõe uma leitura crítica dos dados de morbidade associada. A peri-implantite — definida como uma condição inflamatória de natureza infecciosa com perda óssea progressiva em torno do implante osteointegrado — apresenta uma prevalência estimada de 22% ao nível do implante e de aproximadamente 43% ao nível do paciente, de acordo com a revisão sistemática de Derks & Tomasi (2015), que analisou dados de mais de 1.500 pacientes em contexto de cuidados de saúde primários. Adicionalmente, a revisão sistemática de Chrcanovic et al. (2017), que incluiu 25 estudos longitudinais, documentou uma taxa global de complicações biológicas e protéticas de 12,8% num período de seguimento médio de 5 anos, salientando que a maioria destas complicações permanece subnotificada na literatura, dada a relutância institucional e profissional em reportar insucessos iatrogénicos (Chrcanovic et al., 2017). Neste contexto, e considerando o volume absoluto de procedimentos realizados anualmente, o número de eventos adversos clinicamente relevantes assume uma magnitude epidemiológica que não pode ser subestimada, reforçando a necessidade de ferramentas de prevenção mais eficazes.

1.2. Riscos Anatômicos Gerais na Prática Implantar

A longevidade da reabilitação implantossuportada e a ausência de morbidade pós-operatória dependem do respeito rigoroso pelos limites biológicos e anatómicos durante a fase cirúrgica. Os critérios de sucesso implantológico, amplamente estabelecidos por Albrektsson et al. (1986) e posteriormente revistos por Zarb & Albrektsson (1990), incluem a ausência de dor, a estabilidade radiológica do osso periimplantar, a ausência de mobilidade e a satisfação funcional e estética do paciente — não sendo, portanto, o êxito isolado da osteotomia um parâmetro avaliável de forma independente. As complicações surgem sobretudo quando a instrumentação invade estruturas nobres, sendo as mais frequentemente descritas na literatura as lesões vasculares, neurosensoriais e as complicações sinusais (Chrcanovic et al., 2017; La Monaca et al., 2023).

Parestesia e Lesão Nervosa

O setor posterior da mandíbula representa a região de maior prevalência de morbidade neurossensorial em implantologia, conforme demonstrado por múltiplos estudos com metodologia de coorte e revisões sistemáticas (Greenstein & Tarnow, 2006; Juodzbaly et al., 2011). A proximidade do canal mandibular e a presença frequente do *anterior loop* do nervo alveolar inferior — que pode estender-se até aproximadamente 5 mm anteriormente ao forame mentoniano — exigem margens de segurança rigorosas durante o planejamento cirúrgico (Greenstein & Tarnow, 2006).

Revisões sistemáticas indicam que alterações sensoriais transitórias após a colocação de implantes mandibulares são reportadas entre 0,6% e 8% dos casos, enquanto défices sensoriais permanentes são raros, ocorrendo em menos de 1% dos pacientes (Greenstein & Tarnow, 2006; Juodzbaly et al., 2011). Paralelamente, a ocorrência de complicações neurossensoriais pode estar associada a hemorragias intraósseas ou compressões secundárias a hematomas, frequentemente relacionados com a presença de canais vasculares acessórios na região mandibular anterior, cuja elevada prevalência anatômica tem sido amplamente documentada em estudos imagiológicos recentes (Von Arx et al., 2011).

Infeções e Complicações Sinusais

Na maxila posterior, a pneumatização do seio maxilar e a reduzida altura óssea residual frequentemente exigem procedimentos de elevação do pavimento sinusal. A perfuração da membrana de Schneider constitui a complicação intraoperatória mais frequente nestas intervenções, com meta-análises recentes a demonstrar uma incidência média ponderada de 23,5%, com valores reportados entre 3,6% e 41,8%, dependendo da técnica utilizada e da experiência do operador (Al-Dajani, 2016).

As complicações subsequentes podem incluir sinusite iatrogénica, migração do implante para o interior do seio maxilar ou perda da osteointegração por contaminação bacteriana (Chrcanovic et al., 2017). A incidência de sinusite pós-operatória associada a procedimentos sinusais implantológicos é estimada em aproximadamente 5% dos casos na literatura disponível, valor que varia de acordo com a técnica cirúrgica e os critérios de inclusão dos estudos (Al-Dajani, 2016). Importa, contudo, sublinhar que a sinusite maxilar de origem

odontogénica ou iatrogénica pode, em casos de disseminação não controlada, progredir para complicações orbitárias e intracranianas de elevada gravidade (Mortimore & Wormald, 1997; Younis et al., 2002). A extensão da infeção à órbita pode resultar em celulite orbitária, abscesso subperióstico e, nos casos mais graves, em perda definitiva do globo ocular por compressão do nervo ótico, enquanto a disseminação intracraniana pode causar meningite, abscesso cerebral e trombose do seio cavernoso, com risco vital documentado na literatura (Mortimore & Wormald, 1997; Younis et al., 2002). Embora estas complicações sistémicas sejam raras no contexto estritamente implantológico, a sua possibilidade fundamenta a adoção de protocolos preventivos rigorosos.

1.3. Irrigação Orofacial: Padrões e Variabilidade

A vascularização dos maxilares apresenta uma variabilidade anatómica significativa que constitui, por si só, um fator de risco independente em implantologia. Embora existam padrões anatómicos bem documentados, estes devem ser interpretados como guias gerais, sendo as variações individuais uma das principais causas de complicações hemorrágicas intraoperatórias imprevisíveis. A descrição clínica detalhada de cada estrutura arterial mapeada na IMPLANTARTERY — com os respetivos trajetos, calibres e fundamentação científica — é desenvolvida no Capítulo III (secção 3.2); a presente secção limita-se a enquadrar os principais cenários de risco que justificam a relevância clínica do problema.

1.3.1. Região Maxilar

No maxilar superior, dois cenários concentram a maioria das complicações hemorrágicas documentadas. O primeiro ocorre durante a elevação do pavimento sinusal por janela lateral: a parede lateral do seio é percorrida por uma arcada anastomótica intrassinusal — formada pela artéria alveolar superior posterior (AASP) e por um ramo da artéria alveolar superior anterior —, cujo trajeto pode ser intraósseo em 15% a 30% dos casos, tornando-a invisível à inspeção direta e suscetível de laceração durante a antrostomia (Solar et al., 1999; Mardinger et al., 2007). O segundo decorre da colheita de enxertos de tecido conjuntivo subepitelial, em que a artéria palatina maior — situada a uma profundidade que varia entre 7 mm na região molar e 12 a 17 mm na região dos

caninos — pode originar hemorragias pulsáteis de difícil controlo por compressão mecânica isolada, impondo frequentemente sutura hemostática (Reiser et al., 1996; Gaudy, 2007; Wessel & Tatakis, 2008). Na maxila anterior, a proximidade do canal incisivo — percorrido pela artéria nasopalatina — ao leito de osteotomia constitui um risco adicional, progressivamente agravado pela reabsorção óssea nos pacientes edêntulos (Mraiwa et al., 2004; Mardinger et al., 2008b).

1.3.2. Região Mandibular

Na mandíbula, o risco vascular mais grave localiza-se no setor interforaminal anterior, classicamente — e erradamente — considerado uma «zona segura». A perfuração da cortical lingual durante a osteotomia pode lacerar as artérias do pavimento oral — sublingual, submentoniana e milo-hioideia —, desencadeando um hematoma expansivo do espaço sublingual com potencial de obstrução aguda das vias aéreas, uma complicação descrita na literatura como potencialmente fatal (Loukas et al., 2008; Kalpidis & Setayesh, 2004). A gravidade deste cenário é amplificada por dois fatores. Em primeiro lugar, a elevada prevalência de canais vasculares linguais — presentes em 80% a 90% dos indivíduos avaliados por CBCT (Von Arx et al., 2011) — e a proximidade crítica destes vasos à crista alveolar, particularmente em mandíbulas atroficas, onde a distância média ao ponto de entrada arterial pode reduzir-se a poucos milímetros (Rosano et al., 2009; Vyas & Tadinada, 2023). Em segundo lugar, a variabilidade dos padrões de dominância vascular: a artéria sublingual nem sempre é a fonte de irrigação dominante. Katsumi et al. (2013) descreveram quatro padrões distintos de irrigação do pavimento oral, demonstrando que, numa proporção substancial dos casos, o controlo hemorrágico de emergência não pode assentar exclusivamente na artéria sublingual — um clínico formado apenas no padrão clássico encontra-se anatomicamente impreparado para gerir a hemorragia em metade ou mais da população. No setor posterior, a artéria alveolar inferior e o seu ramo incisivo, ao percorrerem o canal mandibular, expõem ainda a osteotomia a hemorragia intraóssea e a dano neurossensorial (Romanos et al., 2012). É esta combinação de elevada prevalência, margens anatómicas reduzidas e variabilidade de padrões que fundamenta a necessidade de ferramentas pedagógicas capazes de tornar visível a anatomia vascular

tridimensional, em substituição dos esquemas bidimensionais descontextualizados.

1.4. Consequências da Laceração Vascular e Risco Vital

O Risco Vascular Fatal: A Patofisiologia da Asfixia

O risco vital mais significativo na implantologia mandibular está associado à perfuração acidental da cortical lingual mandibular. Quando a instrumentação rotatória transgredir esta cortical — frequentemente devido à presença de concavidades linguais acentuadas ou erros de angulação durante a osteotomia — pode ocorrer a secção da artéria sublingual ou de ramos da artéria submentoniana, desencadeando hemorragia rápida e potencialmente descontrolada.

Entre 1960 e 2010 foram descritos pelo menos 19 casos de hemorragia potencialmente fatal associados à perfuração da cortical lingual mandibular durante procedimentos cirúrgicos, evidenciando a gravidade potencial destas complicações (Chen et al., 2011).

O sangue extravasado infiltra-se rapidamente nos espaços fasciais do pavimento oral, seguindo um padrão de disseminação condicionado pela anatomia dos planos fasciais cervicais. Inicialmente, o hematoma acumula-se no espaço sublingual, localizado superiormente ao músculo milo-hioídeo. Com a progressão do sangramento, o conteúdo hemático pode contornar o bordo posterior deste músculo e disseminar-se para o espaço submandibular, aumentando progressivamente o volume tecidual da região — um mecanismo documentado de forma detalhada por Kalpidis & Setayesh (2004) na sua revisão de série de casos de hemorragia associada à implantologia mandibular anterior, e confirmado por La Monaca et al. (2023) numa revisão de âmbito mais recente incluindo 49 estudos.

Este processo resulta numa elevação progressiva da língua contra o palato duro e num deslocamento posterior da sua base em direção à parede da orofaringe, conforme descrito nas séries clínicas de Flanagan (2003) e Laboda (1990). Consequentemente, ocorre um comprometimento progressivo da permeabilidade das vias aéreas superiores, caracterizado por redução do espaço glótico funcional e aumento progressivo da resistência à ventilação. Em

situações avançadas, o edema e o aumento volumétrico dos tecidos podem dificultar ou impedir a visualização da glote, tornando as manobras convencionais de entubação orotraqueal tecnicamente impossíveis — situação documentada em múltiplos relatos de caso publicados, nos quais a cricotirotomia ou traqueostomia de urgência constituíram os únicos procedimentos de salvamento disponíveis (Flanagan, 2003; Barrientos-Lezcano et al., 2021; Sfondrini et al., 2024). A literatura descreve que o comprometimento respiratório pode ocorrer rapidamente, geralmente entre 20 minutos e várias horas após o evento vascular inicial, dependendo do calibre do vaso lesado e da presença de patologia da coagulação (Laboda, 1990; Kalpidis & Setayesh, 2004).

Importa ressaltar que a Angina de Ludwig¹ é classicamente definida como uma celulite infecciosa progressiva envolvendo os espaços sublingual, submandibular e submentoniano. Contudo, na literatura de implantologia e cirurgia oral, o termo é frequentemente utilizado — ou substituído pela designação «Pseudo-Ludwig» — para descrever episódios hemorrágicos agudos associados à rápida expansão de hematomas no pavimento oral (Barrientos-Lezcano et al., 2021; Laboda, 1990). Esta analogia justifica-se pela semelhança clínica entre os dois quadros — nomeadamente a elevação do pavimento da boca, o deslocamento posterior da língua e o risco de obstrução respiratória aguda — que podem exigir intervenção urgente para garantir a permeabilidade das vias aéreas (Flanagan, 2003; La Monaca et al., 2023).

1.5. A Necessidade de uma Nova Abordagem Pedagógica

Perante a gravidade das complicações descritas nas secções precedentes, é fundamental reconhecer que a sua ocorrência não resulta exclusivamente de desconhecimento anatómico teórico. Como se demonstrará em detalhe no Capítulo II, o planeamento pré-cirúrgico baseado em imagiologia tridimensional impõe ao clínico um esforço cognitivo de reconstrução espacial cujas limitações estruturais constituem, por si só, um fator de risco independente — e que os métodos pedagógicos tradicionais não têm conseguido endereçar de forma sistemática (La Monaca et al., 2023; Lin et al., 2024).

A Realidade Aumentada (RA) móvel surge, neste contexto, não apenas como um suporte tecnológico, mas como um mecanismo de segurança biológica: ao

projetar a anatomia de risco diretamente sobre o campo de visão do operador — no próprio corpo do utilizador, *in situ* —, a RA transforma informação anatómica abstrata em consciência espacial imediata, mitigando o erro humano na fase crítica de transição entre o planeamento digital e a intervenção cirúrgica real (Lin et al., 2024; Lúcio et al., 2024). Esta abordagem não substitui o CBCT — cuja análise individualizada permanece indispensável —, mas colmata o hiato cognitivo entre o conhecimento anatómico declarativo e a capacidade operatória de localizar e respeitar estruturas críticas em contexto cirúrgico real, hiato esse que será formalmente definido e quantificado no Capítulo II. É neste enquadramento que se insere a presente investigação.

Importa sublinhar, desde esta fase introdutória, que a ferramenta IMPLANTARTERY foi concebida e validada primariamente como instrumento de formação e sensibilização pré-clínica, e não como dispositivo de suporte intraoperatório direto — distinção cuja fundamentação empírica será desenvolvida nos Capítulos V e VI.

1.6. Objetivos e Questões de Investigação

Esta tese, integrada no projeto DENTIFY / IMPLANTIGRAPH / ANATOMY GRAPH da Egas Moniz School of Health & Science, visa projetar, desenvolver e investigar o impacto da Lente de Realidade Aumentada (RA) IMPLANTARTERY na sensibilização para o risco cirúrgico vascular.

Objetivo Geral

O objetivo central consiste em criar uma ferramenta Mobile-XR que atue como um recurso pedagógico imersivo para a visualização *in situ* de estruturas arteriais críticas, avaliando a sua aceitação técnica e clínica por médicos dentistas.

Objetivos Específicos

- **Desenvolvimento Pedagógico:** Conceber um meio de aprendizagem adaptado e eficaz para estudantes e profissionais, que colmate a lacuna entre o estudo teórico e a prática cirúrgica.
- **Modelação Anatómica:** Desenvolver um modelo 3D rigoroso da vascularização mandibular e maxilar, com foco nos trajetos arteriais de risco.

- **Implementação Tecnológica:** Integrar o modelo anatómico num ambiente de Realidade Aumentada móvel através da plataforma Snapchat Lens Studio.
- **Avaliação Clínica:** Avaliar a usabilidade do sistema e a sensibilidade vascular percebida pelos utilizadores durante a interação com a ferramenta.
- **Análise Cognitiva:** Analisar a carga de trabalho mental associada à utilização da Lente, garantindo que a tecnologia simplifica e não sobrecarrega o processo de aprendizagem.

Questões de Investigação (QI)

- **(QI1)** De que forma a visualização *in situ* via Realidade Aumentada influencia a perceção espacial e a sensibilização para o risco vascular em implantologia dentária?
- **(QI2)** Qual a viabilidade da integração de ferramentas Mobile-XR no ensino da implantologia, considerando os níveis de usabilidade e a carga de trabalho mental do utilizador?

Hipóteses de Investigação (H)

- **H1:** A utilização da Lente de RA aumenta a confiança subjetiva na identificação topográfica de artérias de risco, sendo percebida como um facilitador face aos métodos estáticos.
- **H2:** A ferramenta IMPLANTARTERY apresenta níveis de carga de trabalho mental (*cognitive workload*) adequados para o ensino, facilitando a aquisição de conhecimento sem sobrecarga cognitiva.
- **H3:** A natureza móvel da ferramenta (BYOD) favorece uma elevada satisfação e facilita a consulta autónoma de conceitos anatómicos, sendo percebida como um recurso prático e acessível para a sensibilização do risco em ambiente pré-clínico.

Alinhamento com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

A presente investigação contribui de forma direta para três Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 das Nações Unidas, reforçando a articulação entre investigação científica aplicada e impacto social em saúde:

ODS 3 – Saúde de Qualidade: Ao melhorar a percepção espacial do risco vascular durante o planeamento cirúrgico, a ferramenta contribui para a redução de complicações hemorrágicas iatrogénicas e para uma prática clínica mais segura em implantologia.

ODS 4 – Educação de Qualidade: Através de uma ferramenta inovadora, inclusiva e de baixo custo assente em mobile learning, o projeto promove o acesso equitativo a tecnologias educativas avançadas para estudantes e profissionais de saúde, em linha com os princípios da Educação para Todos.

ODS 9 – Indústria, Inovação e Infraestruturas: O projeto impulsiona a investigação aplicada em saúde digital, integrando Realidade Aumentada nos processos pedagógicos clínicos e contribuindo para a inovação tecnológica no setor biomédico e para o desenvolvimento de infraestruturas educativas digitais.

II. Ensino de Anatomia Cirúrgica e Estado da Arte

O ensino da anatomia constitui um dos pilares fundamentais da formação em Medicina Dentária, particularmente no domínio da implantologia oral, onde a precisão milimétrica determina o sucesso terapêutico e a segurança do paciente. Ao longo das últimas décadas, os métodos pedagógicos evoluíram significativamente, acompanhando os avanços tecnológicos e respondendo às limitações estruturais dos modelos tradicionais.

O presente capítulo analisa criticamente os principais métodos utilizados no ensino anatómico — desde as abordagens clássicas até às tecnologias emergentes baseadas em Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA) —, culminando na identificação das lacunas científicas que fundamentam o desenvolvimento da IMPLANTARTERY. A análise adota uma perspectiva evolutiva, em que cada avanço metodológico responde a uma limitação específica do paradigma anterior.

2.1 Métodos Tradicionais

2.1.1. Métodos Clássicos: Atlas Anatómicos, Modelos Animais e Cadavéricos

Desde a publicação da *De Humani Corporis Fabrica* por Vesalius (1543) — obra fundadora da anatomia moderna assente na observação direta —, os atlas anatómicos constituíram, durante séculos, o principal suporte do ensino da anatomia, permitindo a padronização do conhecimento e mantendo um papel insubstituível na aprendizagem teórica inicial (Netter, 2022; Gray, 2016). A sua limitação é, contudo, estrutural: a interpretação de estruturas tridimensionais a partir de representações planas exige uma transposição cognitiva que constitui uma das principais dificuldades em formação cirúrgica, e que nenhum aperfeiçoamento gráfico bidimensional resolve, por se tratar de uma incompatibilidade entre a natureza bidimensional do suporte e a realidade tridimensional que o clínico enfrenta em contexto operatório (Estai & Bunt, 2016). Os modelos animais, por seu turno, permitiram durante décadas o desenvolvimento da destreza manual em tecido biológico real, mas as diferenças anatómicas interespecíficas limitam a transferência de competências para a anatomia maxilofacial humana, a que acrescem as preocupações éticas

associadas ao princípio dos 3Rs (*Replace, Reduce, Refine*) e a consequente redução do seu uso curricular (Reznick & MacRae, 2006; Russell & Burch, 1959).

A dissecação cadavérica foi historicamente considerada o padrão-ouro, por permitir a observação direta das estruturas no seu contexto espacial autêntico e o desenvolvimento de uma sensibilidade tátil que os modelos sintéticos não reproduzem (Ghosh, 2017). Todavia, os custos institucionais substanciais de preparação, conservação e biossegurança, a par das questões éticas relativas ao consentimento e à dignidade humana e da progressiva redução das horas curriculares dedicadas à anatomia, tornaram esta modalidade logisticamente inviável como método universal (Böckers et al., 2010). Neste contexto consolidou-se o princípio da Segurança do Paciente como imperativo curricular: os estudantes devem adquirir competências num ambiente controlado e seguro antes da aplicação clínica real, o que exige alternativas capazes de combinar fidelidade anatómica com acessibilidade e replicabilidade (World Health Organization, 2011).

2.1.2. Imagiologia Médica e o CBCT como Pilar do Planeamento Moderno

O desenvolvimento das técnicas de imagiologia médica representou uma transformação paradigmática no ensino anatómico e na prática clínica da implantologia. A introdução da tomografia computadorizada de feixe cónico (CBCT) constituiu um marco fundamental: ao permitir a análise multiplanar tridimensional da anatomia maxilofacial com doses de radiação significativamente inferiores às da TC convencional, melhorou de forma substancial a capacidade diagnóstica pré-cirúrgica e possibilitou a identificação detalhada de estruturas críticas, incluindo canais vasculares, nervos e variações morfológicas individuais (La Monaca et al., 2023; Tyndall & Price, 2012).

A utilização do CBCT tornou-se, assim, indispensável no planeamento implantológico contemporâneo, reduzindo a dependência de referências anatómicas empíricas e permitindo uma abordagem individualizada baseada na anatomia real de cada paciente (Bornstein et al., 2016; Nickenig et al., 2012). Constitui o padrão de ouro atual para o planeamento pré-cirúrgico em implantologia, ao qual a IMPLANTARTERY se associa como recurso complementar.

Apesar destes avanços, a interpretação eficaz das imagens de CBCT exige competências cognitivas específicas e não universalmente adquiridas: o clínico deve integrar múltiplos cortes bidimensionais numa representação mental tridimensional coerente, processo cuja eficácia depende fortemente das capacidades individuais de rotação mental espacial e varia de forma significativa entre operadores (Peters et al., 1995). Esta dependência introduz uma fonte de variabilidade no planeamento que a qualidade da tecnologia imagiológica, por si só, não elimina — limitação cujas implicações pedagógicas se analisam em detalhe na secção 2.4.

2.2 Realidade Virtual no Ensino Anatómico

A Realidade Virtual define-se como um ambiente tridimensional sintético, gerado e renderizado em tempo real, no qual o utilizador se encontra completamente imerso através de dispositivos de visualização dedicados — nomeadamente *Head-Mounted Displays* (HMD) —, sendo privado da perceção do mundo físico envolvente e substituído por uma experiência sensorial inteiramente mediada por interfaces digitais (Burdea & Coiffet, 2003; Milgram & Kishino, 1994). No ensino das ciências da saúde, a RV é operacionalizada como um sistema que permite ao utilizador interagir com modelos anatómicos ou simular procedimentos clínicos num ambiente controlado, reproduzível e isento de risco para o paciente (Zevin et al., 2012).

A RV emergiu como uma das primeiras tecnologias digitais imersivas aplicadas ao ensino da anatomia, respondendo diretamente às limitações bidimensionais dos atlas e ao declínio da dissecação cadavérica. Ao contrário dos métodos tradicionais, permite a exploração tridimensional interativa de modelos anatómicos virtuais, promovendo uma aprendizagem baseada na manipulação direta das estruturas (García-Robles et al., 2024; Bevizova et al., 2024). Os ambientes imersivos permitem visualizar estruturas em diferentes planos e escalas, rodar livremente os modelos e explorar relações espaciais que os atlas não transmitem, e a evidência acumulada demonstra que a RV pode melhorar a retenção do conhecimento anatómico e reduzir o tempo de formação da representação mental tridimensional. Neste âmbito, Stojanovska et al. (2019) demonstraram, em contexto de dissecação cadavérica com o Microsoft

HoloLens, que os sistemas de realidade mista produziram resultados de aprendizagem equivalentes ou superiores aos métodos tradicionais, com elevada satisfação dos utilizadores — em consonância com revisões sistemáticas recentes (García-Robles et al., 2024; Bevizova et al., 2024).

Apesar destas vantagens, a adoção generalizada da RV apresenta limitações estruturais que têm travado a sua implementação em larga escala. O uso de dispositivos HMD exige hardware dedicado dispendioso, espaços físicos adaptados e competências técnicas específicas de operação e calibração. Acresce que uma proporção significativa de utilizadores reporta desconforto visual, desorientação e fadiga após utilização prolongada — fenómeno designado por *cybersickness* —, que limita a aplicabilidade em sessões extensas (Zafar & Zachar, 2020). Estas barreiras combinadas — económicas, logísticas e fisiológicas — justificam a procura de alternativas que preservem as vantagens da imersão tridimensional sem as suas contrapartidas operacionais.

2.3 Realidade Aumentada e Ensino de Anatomia

A Realidade Aumentada define-se, na formulação canónica de Azuma (1997) — a referência conceptual mais citada na literatura —, como qualquer sistema que satisfaça simultaneamente três critérios: a combinação de elementos reais e virtuais num mesmo campo percetivo; a interatividade em tempo real; e o registo tridimensional preciso entre os elementos virtuais e o espaço físico. Esta definição distingue a RA da RV pelo facto de o utilizador nunca perder o contacto com o ambiente físico envolvente — os elementos digitais são sobrepostos ao mundo real, e não substitutivos deste. No contexto clínico e pedagógico, Vávra et al. (2017) operacionalizam o conceito como a capacidade de projetar informação médica contextualizada — estruturas anatómicas, alertas de risco, guias cirúrgicos — diretamente sobre o campo de visão do operador ou sobre o corpo do paciente, em tempo real e com registo espacial preciso.

A insatisfação com as limitações da RV impulsionou o desenvolvimento desta abordagem que, em vez de substituir o ambiente real, o enriquece com camadas de informação digital contextualizada, posicionando-se de forma única no *Reality-Virtuality Continuum* descrito por Milgram & Kishino (1994).

2.3.1 Breve História da Realidade Aumentada Aplicada ao Ensino Anatômico

Os primeiros sistemas de RA aplicados ao ensino anatômico basearam-se em *Magic Mirrors* (Blum et al., 2012), que projetavam estruturas anatômicas sobre o reflexo do utilizador com recurso a sensores de profundidade (Microsoft Kinect), estabelecendo o conceito seminal de visualização *on-body*. A evolução subsequente para *Head-Mounted Displays* de RA, como o Microsoft HoloLens, trouxe maior precisão espacial e liberdade de movimento, mas a um custo e com exigências técnicas que limitaram a adoção institucional em larga escala (Moro et al., 2021). A trajetória da RA no ensino anatômico foi, assim, marcada por uma tensão persistente entre potencial tecnológico e acessibilidade prática — tensão que a RA móvel veio resolver e cuja análise comparativa se desenvolve na secção seguinte.

2.3.2 Taxonomia das Abordagens de RA e Análise Crítica Comparativa

A literatura contemporânea permite identificar três paradigmas principais no desenvolvimento de sistemas de RA aplicados à educação médica, cada um com características técnicas, vantagens pedagógicas e limitações operacionais distintas.

Espelhos Mágicos (Magic Mirrors). Utilizam câmaras externas e projetores ou ecrãs para sobrepor estruturas anatômicas virtuais sobre a imagem do utilizador em tempo real, criando o efeito de «ver através» do próprio corpo. O seu potencial demonstrativo é elevado, sobretudo em ensino em grupo, e a experiência de *embodied learning* que proporcionam é pedagogicamente rica. Contudo, a dependência de hardware específico — frequentemente descontinuado após ciclos curtos de desenvolvimento — e a imobilidade inerente à configuração limitaram a sua adoção sustentada: o utilizador está preso a um ponto fixo, o que restringe a exploração anatômica contextualizada em diferentes ângulos e posições clínicas (Blum et al., 2012; Kugelman et al., 2018).

Dispositivos Head-Mounted (HMD). Sistemas como o Microsoft HoloLens representam o estado da arte em precisão de rastreamento espacial e qualidade de visualização, sobrepondo hologramas tridimensionais ao ambiente real com elevada fidelidade geométrica. No entanto, o custo unitário elevado (tipicamente

superior a 3.000 euros por dispositivo), o peso do equipamento, a necessidade de calibração frequente e a curva de aprendizagem técnica constituem barreiras significativas à implementação em larga escala (Moro et al., 2021). Acresce que pressupõem um modelo de acesso centralizado e institucional, contrário ao paradigma de aprendizagem autónoma e ubíqua da educação médica contemporânea.

Realidade Aumentada Móvel (mAR). Representa a convergência mais promissora entre acessibilidade, eficácia pedagógica e viabilidade operacional. O recurso a smartphones e tablets pessoais — que o estudante já possui, domina e transporta — elimina as barreiras económicas e logísticas dos sistemas anteriores, democratizando o acesso à visualização anatómica tridimensional. O conceito de *Embodied Learning* é particularmente potenciado: ao projetar estruturas anatómicas sobre o próprio corpo do utilizador através da câmara frontal, a mAR cria uma experiência incorporada e espacialmente contextualizada que os métodos estáticos não replicam (Lin et al., 2024; Zhang et al., 2025), de forma consistente com o paradigma BYOD (*Bring Your Own Device*), que demonstra reduzir a ansiedade tecnológica e facilitar a adoção imediata (Denoyelles et al., 2023).

2.3.3 Mobile-XR e o Ecossistema Snapchat Lens Studio

O desenvolvimento de plataformas de RA baseadas em aplicações de redes sociais de larga escala introduziu uma nova dimensão no ensino anatómico digital, ao disponibilizar infraestruturas tecnológicas sofisticadas através de interfaces amplamente familiares ao utilizador contemporâneo. Entre estas, o Snapchat Lens Studio destaca-se pela capacidade de criar experiências de RA interativas de elevada qualidade técnica sem exigir competências de programação avançadas, e pela distribuição através de uma plataforma com mais de 750 milhões de utilizadores ativos mensais (Snap Inc., 2024).

A tecnologia subjacente baseia-se em algoritmos de *deep learning* responsáveis pela criação de uma *Face Mesh* paramétrica composta por mais de 2.000 vértices de referência anatómica, que permite a projeção precisa e estável de modelos tridimensionais sobre a superfície facial em tempo real, adaptando-se dinamicamente a variações de iluminação, expressão e ângulo. Um elemento de grande relevância pedagógica é a Oclusão Digital baseada em *Z-buffer*: o

sistema cria uma máscara invisível da face real, permitindo que as estruturas virtuais «desapareçam» corretamente atrás dos tecidos moles, reforçando a percepção de profundidade e a validade anatômica da projeção *in situ*. É este mecanismo que transforma uma simples sobreposição gráfica numa genuína simulação de transparência anatômica.

Adicionalmente, o acesso através de *Snapcodes* elimina a necessidade de instalar aplicações dedicadas, concretizando o conceito de *Frictionless Learning* (Pascoe, 2021): a redução das barreiras de acesso facilita a adoção espontânea e permite integrar a ferramenta no fluxo de trabalho pré-cirúrgico sem interrupções operacionais significativas.

2.3.4 Integração das Lentes Snapchat em Implantologia Oral

A aplicação de lentes de RA móvel no contexto específico da implantologia oral representa uma área emergente, ainda pouco explorada na literatura. Embora estudos recentes validem de forma crescente o uso de RA para o ensino anatômico geral e para o planeamento cirúrgico em medicina dentária (Puleio et al., 2024; Blanchard & Koshal, 2024), a utilização específica de lentes Snapchat para a visualização preventiva de estruturas vasculares intraósseas — com foco no risco iatrogénico em implantologia — permanece uma lacuna por preencher na literatura indexada.

Investigações desenvolvidas no grupo DENTIFY / ANATOMY GRAPH da Egas Moniz demonstraram o potencial das lentes de RA móvel para o ensino anatômico contextualizado: Van Breemen (2025) validou a projeção *on-body* como estratégia eficaz para a compreensão de estruturas musculares, e Lúcio et al. (2024) demonstraram a eficácia de mapas faciais interativos em Lens Studio na organização cognitiva do conhecimento anatômico facial. Estes trabalhos estabelecem a prova de conceito tecnológica e pedagógica sobre a qual a presente investigação se constrói.

A IMPLANTARTERY propõe, contudo, um avanço conceptual: a transição da visualização anatômica *descritiva* — orientada para a compreensão estrutural — para uma visualização anatômica *preventiva*, dirigida à identificação e internalização de estruturas vasculares de risco durante o planeamento implantológico. A distinção não é terminológica: implica uma seleção das

estruturas a modelar baseada no potencial de fatalidade e não apenas na relevância descritiva, uma codificação visual orientada para o alerta clínico, e a integração da ferramenta no fluxo de trabalho pré-cirúrgico como mecanismo de sensibilização ativa.

2.4 Evidência Estatística e o "Gap" de Percepção Espacial

A necessidade de ferramentas inovadoras no ensino da anatomia cirúrgica aplicada à implantologia não assenta apenas em argumentos pedagógicos, mas é sustentada por evidência quantitativa que documenta simultaneamente a elevada prevalência das estruturas vasculares de risco e a incapacidade estrutural dos métodos convencionais para a transmitir de forma operacionalmente eficaz.

Os dados morfométricos e imagiológicos detalhados na secção 3.2 assumem, neste contexto, uma dimensão pedagógica que transcende a sua relevância descritiva. A prevalência de 80% a 90% de *foramina* linguais e a proximidade crítica da artéria sublingual à cortical lingual em cerca de dois terços dos casos não são meras estatísticas anatómicas: exprimem um risco presente na maioria dos procedimentos na região interforaminal, independentemente da experiência do operador. A estatística transforma-se assim em imperativo pedagógico — o risco não é uma exceção que a formação avançada evita, mas uma constante que a formação base deve preparar.

Esta exigência amplifica-se face à variabilidade dos padrões de irrigação do pavimento oral sistematizada por Katsumi et al. (2013): nos casos em que a artéria sublingual não é a fonte dominante exclusiva, um clínico formado apenas no padrão clássico, independentemente da qualidade da sua formação teórica, carece das representações espaciais necessárias para gerir emergências. A variabilidade é, ela própria, o objeto de aprendizagem — e nenhuma regra anatómica geral pode substituir a consciência desta heterogeneidade.

A investigação em ciências cognitivas demonstra de forma convergente que a capacidade de integrar múltiplos cortes bidimensionais de CBCT numa representação mental tridimensional coerente — processo central do planeamento implantológico moderno — depende fortemente das capacidades individuais de rotação mental espacial, avaliadas pelo *Mental Rotation Test*

(MRT) (Vandenberg & Kuse, 1978; Peters et al., 1995). Hegarty & Waller (2004) demonstraram que as competências de rotação mental e de tomada de perspectiva espacial não são uniformes nem diretamente transferíveis entre tarefas — o que invalida a assunção de que a exposição teórica à anatomia tridimensional resulte automaticamente na capacidade de mobilizar em contexto operatório. Em linha com isto, La Monaca et al. (2023), numa revisão de âmbito incluindo 49 estudos, documentaram que a incapacidade de visualizar corretamente as relações topográficas vasculares a partir de cortes seccionais constitui um fator contributivo recorrente nas complicações hemorrágicas reportadas — não por falta de conhecimento anatómico declarativo, mas por limitação na sua conversão em percepção espacial operatória.

Em resposta a esta limitação, a investigação contemporânea introduziu o conceito de *Safe Zone* interforaminal, propondo margens anatómicas seguras baseadas em medições morfométricas populacionais (Parnia et al., 2012; Al-Ani et al., 2013; Martins et al., 2023). Contudo, estas margens possuem validade ao nível da população e não do indivíduo: fora dos limites calculados, e em todos os casos com variação anatómica relevante, a consciência da posição individual das estruturas vasculares torna-se um imperativo que nenhuma regra geral substitui. A *Safe Zone* define um território de menor probabilidade de risco — não uma garantia de segurança absoluta.

Emerge assim o conceito de *gap* de percepção espacial: a discrepância estrutural entre o conhecimento anatómico declarativo — a capacidade de nomear, descrever e localizar abstratamente uma estrutura — e a capacidade operatória de a identificar, respeitar e proteger em contexto cirúrgico real. Este hiato representa uma limitação estrutural dos métodos tradicionais e não é endereçado de forma eficaz por ferramentas que dependem de representações bidimensionais ou de modelos tridimensionais estáticos descontextualizados. A IMPLANTARTERY propõe-se mitigar este *gap* através da projeção corporalmente contextualizada de trajetos vasculares críticos sobre a anatomia facial do utilizador, desenvolvendo diretamente a componente operatória da percepção espacial que os métodos convencionais não conseguem endereçar de forma sistemática.

2.5 Lacunas na Literatura e Oportunidade de Investigação

A análise da literatura permite identificar um conjunto de lacunas que, em conjunto, definem a oportunidade científica que a presente investigação procura ocupar.

Em primeiro lugar, grande parte das investigações sobre vascularização mandibular concentra-se na identificação anatômica e morfométrica das estruturas, recorrendo a dissecação cadavérica e a imagiologia CBCT. Estes estudos — essenciais para a caracterização da prevalência e variabilidade dos canais vasculares linguais (Von Arx et al., 2011; Rosano et al., 2009) — não abordam a questão de como transmitir este conhecimento de forma operacionalmente eficaz aos clínicos em formação.

Em segundo lugar, embora estudos recentes tenham explorado o potencial da RA como ferramenta educacional na saúde, com resultados promissores (Lin et al., 2024; Puleio et al., 2024; Blanchard & Koshal, 2024; Bevizova et al., 2024), a maioria destas soluções permanece centrada na visualização anatômica geral ou no planeamento cirúrgico assistido por computador, sem abordar especificamente a dimensão preventiva do risco vascular em implantologia. A natureza predominantemente observacional destas ferramentas — que permitem ver estruturas, mas raramente integram o corpo do utilizador como referencial espacial — limita o desenvolvimento da perceção espacial contextualizada que caracteriza o *embodied learning*.

Em terceiro lugar, observa-se uma escassez quase total de aplicações de RA móvel especificamente direcionadas para a sensibilização preventiva ao risco vascular em implantologia que sejam simultaneamente acessíveis através de dispositivos pessoais, validadas quanto ao rigor anatómico e avaliadas quanto à sua eficácia pedagógica em populações de profissionais.

A conjugação destas três lacunas — ausência de ferramentas de sensibilização vascular *in situ*, ausência de integração corporal nas ferramentas de RA anatômica existentes, e ausência de validação em contexto profissional pós-graduado — define o espaço de investigação que a IMPLANTARTERY ocupa e justifica a relevância científica da presente prova de conceito.

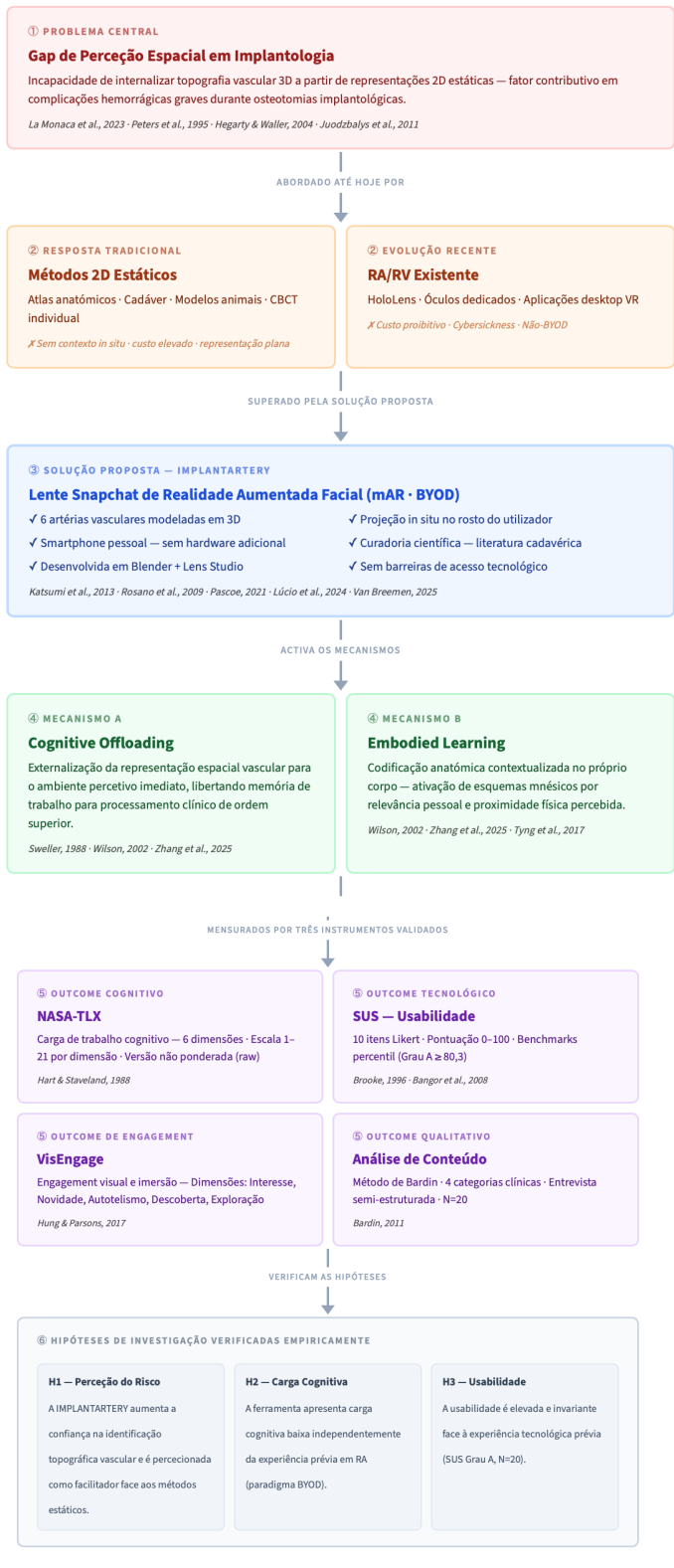
2.6 Síntese do Estado da Arte

A análise crítica aqui desenvolvida permite traçar uma trajetória coerente: os métodos tradicionais de ensino anatómico foram progressivamente desafiados pela sua incapacidade de transmitir a complexidade espacial tridimensional que a cirurgia implantológica exige. Os atlas bidimensionais, os modelos animais e a dissecação cadavérica ofereceram, cada um a seu modo, aproximações valiosas mas estruturalmente limitadas. A imagiologia tridimensional — em particular o CBCT — representou um avanço decisivo no planeamento clínico, mas transferiu o desafio cognitivo para o domínio da interpretação espacial individual, que varia significativamente entre operadores. A Realidade Virtual respondeu com imersão tridimensional, mas a custos e exigências operacionais incompatíveis com a democratização do ensino.

A Realidade Aumentada móvel representa, neste contexto, a resposta mais equilibrada e clinicamente promissora: preserva a contextualização espacial real, elimina as barreiras de acesso e permite a projeção da anatomia de risco diretamente sobre o corpo do utilizador. Não substitui o CBCT — cuja análise individualizada é indispensável —, mas colmata o *gap* cognitivo entre o conhecimento anatómico teórico e a consciência espacial operatória que os métodos anteriores não conseguiram endereçar de forma sistemática e acessível. É neste enquadramento que a IMPLANTARTERY se posiciona: não como uma inovação tecnológica isolada, mas como a resposta educacional a uma necessidade clínica documentada, construída sobre uma trajetória científica coerente e orientada para um objetivo preciso — a redução do risco vascular iatrogénico em implantologia através da sensibilização espacial preventiva.

III. DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento da ferramenta IMPLANTARTERY seguiu um fluxo de trabalho (*workflow*) estruturado em três fases sequenciais e interdependentes: modelação anatómica e curadoria científica dos modelos vasculares, otimização de malhas para dispositivos móveis, e implementação lógica em ambiente de Realidade Aumentada móvel. O conceito de *curadoria científica*, no contexto da anatomia digital, designa o processo sistemático de seleção, validação e adaptação de conteúdos de modelação tridimensional com base em evidência clínica e anatómica publicada — por oposição à simples utilização acrítica de modelos genéricos disponíveis em bases de dados abertas. Adnan & Xiao (2023), numa revisão de âmbito sobre as tendências do ensino digital de anatomia, identificam a curadoria científica como um requisito metodológico indispensável para garantir a fidedignidade clínica das ferramentas pedagógicas digitais, salientando que modelos não curados apresentam frequentemente inexatidões topográficas com potencial para induzir erros conceptuais nos estudantes. É neste enquadramento que a presente investigação adota uma postura de curadoria ativa: cada estrutura vascular foi selecionada, verificada e corrigida com base em atlas de anatomia cirúrgica de referência (Gaudy, 2007; Netter, 2022) e em estudos morfométricos publicados, transformando representações esquemáticas genéricas em recursos visuais com validade anatómica suficiente para os objetivos de sensibilização clínica da ferramenta. Cada fase impôs desafios técnicos específicos cujas soluções condicionaram as opções de *design* subsequentes, tornando este capítulo não apenas uma descrição de procedimentos, mas uma argumentação das escolhas metodológicas que definem a integridade clínica e a viabilidade tecnológica da ferramenta.



Nota. mAR = mobile Augmented Reality; BYOD = Bring Your Own Device; NASA-TLX = National Aeronautics and Space Administration Task Load Index; SUS = System Usability Scale. As setas indicam relações de fundamentação teórica e operacionalização metodológica, não relações causais testadas diretamente. Construído com base no quadro conceptual desenvolvido nos §§ 1.5, 2.4, 2.6 e 3.1. Os mecanismos pedagógicos (Cognitive Offloading e Embodied Learning) constituem hipóteses explicativas dos resultados empíricos, não variáveis diretamente operacionalizadas.

Figura 3.1 — Quadro Teórico Integrador: do Gap de Percepção Espacial aos Outcomes Mensurados

3.1. Modelação 3D Anatômica: Fundamentos e Curadoria Científica

3.1.1. Seleção e Justificação da Base Geométrica

A base geométrica inicial foi obtida através da coleção de objetos tridimensionais Z-Anatomy, derivada do projeto *BodyParts3D* e da *Terminologia Anatomica* (Federative International Programme on Anatomical Terminologies (FIPAT). (2019). *Terminologia Anatomica* (2nd ed.). Thieme.). A seleção desta coleção específica, em detrimento de outras bases de dados anatómicas tridimensionais disponíveis — como o *Visible Human Project* ou o *BioDigital Human* —, fundamentou-se em três critérios objetivos: a conformidade terminológica com a TA2 como referência nomenclatural internacional, a disponibilidade dos ficheiros em formato aberto compatível com o software de modelação utilizado (Blender, formato FBX/OBJ), e a cobertura anatómica abrangente do complexo craniofacial e maxilomandibular que a tarefa exigia. Adicionalmente, a natureza *open-source* da coleção Z-Anatomy (Moy-Anegon, L., et al. (2023)) permitiu a modificação e redistribuição dos modelos para fins académicos sem restrições de licenciamento, uma consideração relevante para a sustentabilidade e replicabilidade da investigação. Contudo, como salientado por Adnan & Xiao (2023) em revisão sobre tendências no ensino digital da anatomia, os modelos anatómicos genéricos carecem frequentemente de especificidade para as necessidades de especialidades cirúrgicas. Esta limitação verificou-se de forma imediata no contexto da implantologia: o sistema vascular presente nos modelos originais da Z-Anatomy era anatomicamente incompleto para os objetivos pedagógicos desta investigação, designadamente no que respeita às artérias do pavimento oral e às estruturas vasculares intraósseas mandibulares.

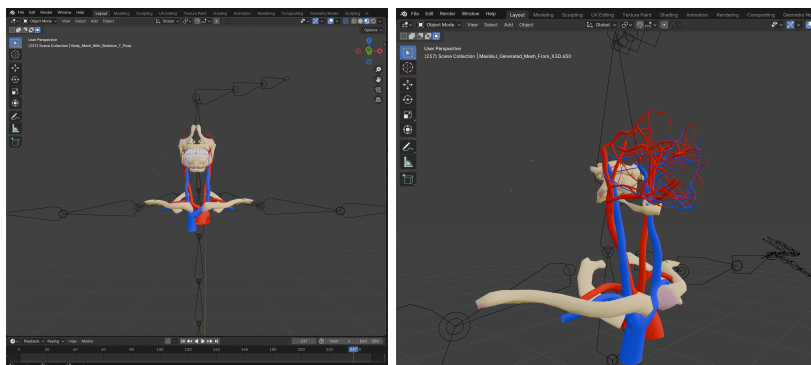


Figura 3.2: Interface do utilizador do software Blender durante a edição do modelo Z-Anatomy. Vista frontal com evidência das estruturas ósseas / Vista lateral com evidência das estruturas vasculares.

3.1.2. Otimização de Malhas e Gestão de Ativos (Decimation)

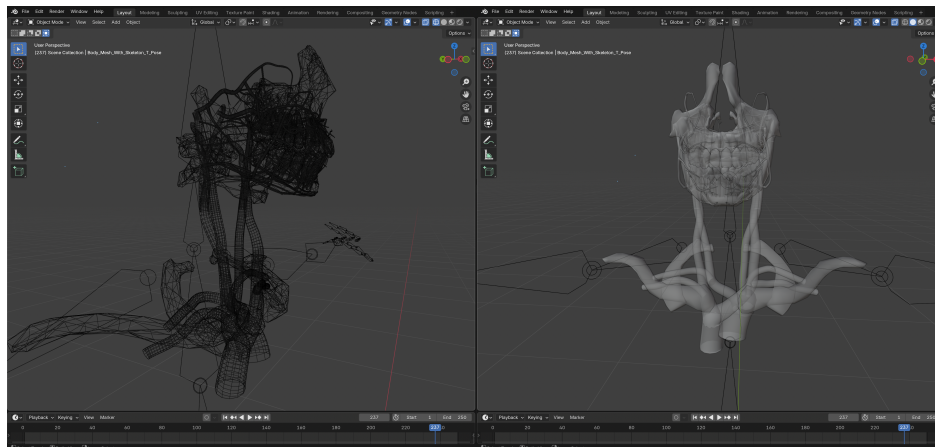
Para colmatar as lacunas identificadas, recorreu-se ao software Blender 4.2 (Blender Foundation, 2024), seguindo as técnicas de modelação descritas por Hess (2024). Procedeu-se às seguintes intervenções sobre os modelos base:

Modelação por Curvas de Bézier: Todas as artérias de risco clínico prioritário — Sublingual, Submentoniana, Milo-hioideia, Palatina Maior, Nasopalatina, Alveolar Inferior e Incisiva — foram desenhadas manualmente através de curvas de Bézier convertidas em malhas tubulares com secção circular variável. Esta técnica permitiu o controlo preciso do trajeto vascular tridimensional, respeitando as relações topográficas com as estruturas ósseas adjacentes conforme descrito na literatura anatómica de referência (Gaudy, 2007; Flanagan, 2003).

Curadoria e Correção de Trajetos: Procedeu-se à revisão sistemática das trajetórias dos modelos vasculares originais, confrontando-as com atlas de anatomia cirúrgica e literatura clínica de referência (Gaudy, 2007; Netter, 2022). Este processo de curadoria científica permitiu identificar e retificar inconsistências topográficas nos modelos poligonais base, transformando representações puramente esquemáticas em recursos visuais com validade anatómica suficiente para os objetivos de sensibilização clínica da ferramenta. A transição do Blender para o Snapchat Lens Studio impôs um desafio técnico severo: o limite de 8 MB para o conjunto total de ativos da Lente (Snap Inc., 2024). O modelo completo, após as adições vasculares, excedia os 25 MB, inviabilizando a performance em dispositivos móveis e comprometendo a estabilidade do rastreio facial. Para solucionar este obstáculo crítico, aplicou-se o modificador *Decimate* (Decimação) de forma seletiva no Blender, seguindo o princípio de que a visualização médica eficaz deve privilegiar a clareza topográfica sobre a complexidade geométrica superficial (Preim et al., 2024):

1. **Compressão Volumétrica:** O modelo foi reduzido para aproximadamente 7 MB, garantindo fluidez e estabilidade do sistema em smartphones de gama média e alta.
2. **Manutenção da Fidelidade Visual:** Através da aplicação de *Physically Based Rendering* (PBR), manteve-se o realismo percetivo das texturas ósseas e vasculares mesmo com malha simplificada, aproveitando a capacidade do cérebro humano em interpretar materiais a partir de

propriedades de reflexão luminosa e não de densidade poligonal (Ware, 2004).



Figuras 3.3 e 3.4 : Interface do utilizador do software Blender durante a edição do modelo Z-Anatomy, ilustrando a aplicação da técnica de decimação seletiva de polígonos para otimização da malha.

3.2. Descrição Anatômica e Justificação Clínica das Estruturas Vasculares Mapeadas

A seleção das artérias incluídas na IMPLANTARTERY não foi arbitrária nem exhaustiva — foi deliberadamente orientada por um critério clínico único: o potencial de hemorragia e a gravidade das complicações iatrogénicas documentadas na literatura científica indexada. Neste enquadramento, priorizaram-se as estruturas cuja lesão inadvertida está associada a risco vital imediato ou a morbilidade irreversível significativa, e não apenas à presença anatómica na região cirúrgica. A Tabela 3.1 sintetiza as estruturas selecionadas, os seus trajetos clínicos, o respetivo nível de risco vital e a fundamentação científica da sua inclusão

3.2.1. Setor Mandibular

O setor mandibular concentra o principal fator de risco vital em implantologia, razão pela qual a IMPLANTARTERY mapeia, nesta região, tanto as vias endósseas principais como o complexo vascular do pavimento oral. A descrição seguinte justifica, estrutura a estrutura, os critérios de inclusão de cada artéria

modelada.

Artéria Alveolar Inferior e Ramo Incisivo

A artéria alveolar inferior entra pelo forame mandibular e percorre o canal mandibular, emitindo ramos dentários e periodontais até se dividir terminalmente nos ramos mentoniano e incisivo (Netter, 2022; Gaudy, 2007). A visualização da artéria alveolar inferior e do seu ramo incisivo em transparência óssea — através do X-Ray Mode implementado na IMPLANTARTERY — permite ao utilizador compreender a relação tridimensional entre o trajeto do canal mandibular e a profundidade de preparação do leito implantológico, relação que constitui o principal desafio de percepção espacial no setor posterior mandibular. Romanos et al. (2012), numa revisão sistemática sobre artérias endósseas na mandíbula anterior, salientaram que os ramos intraósseos da artéria alveolar inferior na região interforaminal são estruturas de presença consistente ($\geq 85\%$ dos indivíduos) e variabilidade significativa, cujo conhecimento topográfico é indispensável para evitar hemorragias intraósseas durante a osteotomia — complicação que, embora raramente fatal, pode comprometer a estabilidade imediata do implante e gerar morbidade pós-operatória significativa (Tepper et al., 2001; Hofschneider et al., 1999). A sua identificação pré-operatória por CBCT constitui, por isso, uma medida preventiva essencial (Jacobs et al., 2002).

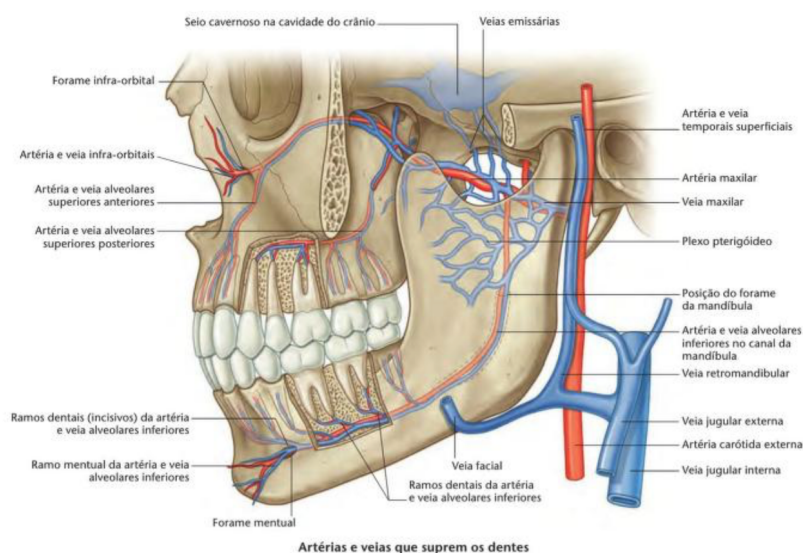


Figura 3.7 : Artérias e veias que irrigam os dentes

Fonte: Drake, R. L., Vogl, W., & Mitchell, A. W. M. (2008). *Gray's Atlas de Anatomia* (1.^a ed.). Elsevier. Reproduzido com permissão (Copyright Clearance Center – RightsLink®, Licença n.º 1740137-1).

Artéria Sublingual

A vascularização do pavimento oral constitui o cenário de maior gravidade potencial desta região e foi, por isso, priorizada na modelação. Com origem na artéria lingual — ramo da carótida externa —, a artéria sublingual percorre a face superior do músculo milo-hioideu, sendo responsável pela irrigação da mucosa do pavimento oral, da glândula sublingual e do periósteo lingual anterior da mandíbula; através dos foramina linguais, estabelece anastomoses intraósseas com o ramo incisivo da artéria alveolar inferior (Loukas et al., 2008; Gahleitner et al., 2001). Loukas et al. (2008), num estudo cadavérico com 100 espécimes injetados com látex, documentaram que a artéria sublingual se origina da artéria lingual em 73% dos casos e da submentoniana em 27%, apresentando anastomoses com a submentoniana em 40% e com a labial inferior em 52% — variabilidade que implica que a hemorragia nesta região pode ser alimentada por múltiplas fontes em simultâneo, dificultando a hemostase por compressão ou ligadura de uma via única. A sua proximidade ao campo de osteotomia é o fator determinante: Rosano et al. (2009) demonstraram contacto direto com a cortical lingual em 26,6% dos espécimes e proximidade clinicamente significativa em aproximadamente 66,6% da amostra, enquanto Vyas & Tadinada (2023) confirmaram, por CBCT em 50 mandíbulas edêntulas, uma distância média de apenas 6,78 mm entre a crista alveolar e o ponto de entrada arterial na cortical lingual. A perfuração inadvertida pode originar um hematoma expansivo do pavimento oral com obstrução aguda das vias aéreas, complicação descrita na literatura como potencialmente fatal (Kalpidis & Setayesh, 2004). Pela convergência destes dois critérios — proximidade crítica e potencial de fatalidade imediata —, a artéria sublingual foi designada estrutura de prioridade máxima na ferramenta, tendo sido submetida ao menor grau de decimação geométrica do conjunto, de modo a preservar a continuidade e a fidelidade topográfica do seu trajeto no espaço supramilo-hioideu.

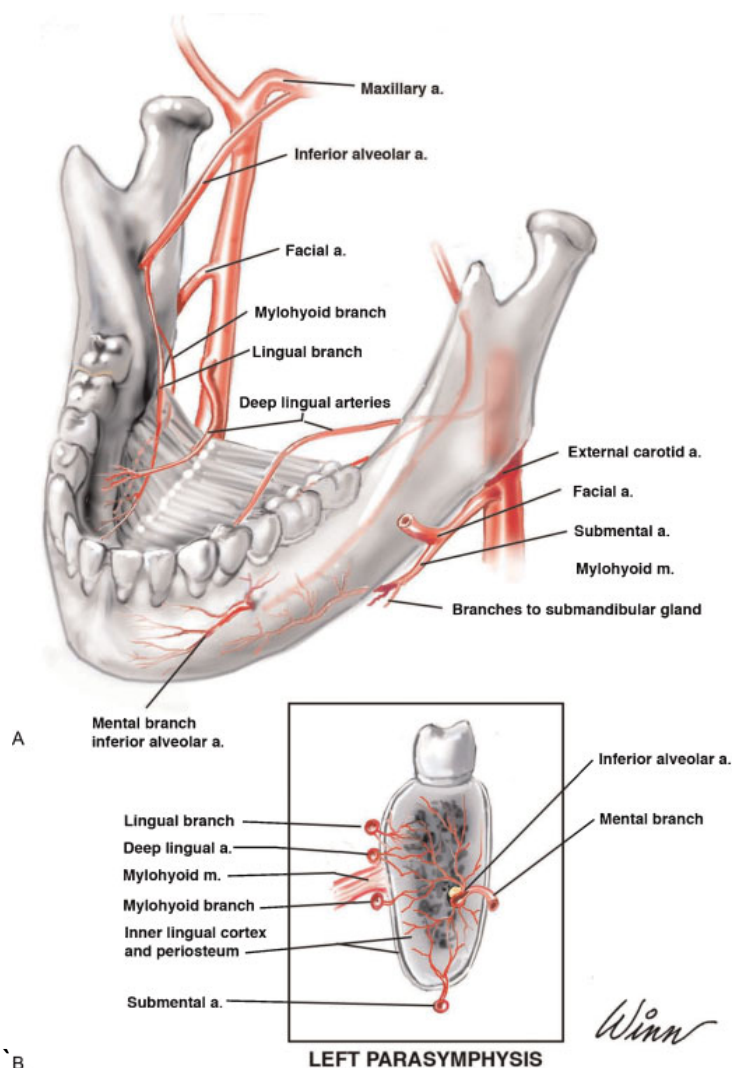


Figura 3.8: Vista medial da mandíbula e irrigação do pavimento bucal

Fonte: Adaptado de Pollock et al. (2011), sob licença CC BY 4.0.

Artéria Submentoniana

A artéria submentoniana é ramo da artéria facial, emitido imediatamente após a sua origem na carótida externa, antes da entrada da facial no assoalho da boca; percorre a face inferior do músculo milo-hioideu, anastomosando-se com a artéria sublingual e com a labial inferior (Loukas et al., 2008; Katsumi et al., 2013). A sua relevância clínica não decorre do trajeto isolado, mas da sua integração nos padrões anastomóticos do pavimento oral: a prevalência anastomótica com a sublingual, quantificada em 40% por Loukas et al. (2008), confirma que a interrupção isolada do fluxo sublingual é frequentemente insuficiente para controlar a hemorragia quando a submentoniana funciona como fonte alternativa. A sua inclusão na IMPLANTARTERY visa precisamente tornar visível esta redundância vascular, habitualmente ausente dos esquemas

bidimensionais. A sua ausência sistemática dos currícula pré-clínicos convencionais — refletida na ênfase unilateral no padrão de dominância sublingual — justifica, por si só, a sua inclusão explícita como estrutura de risco independente.

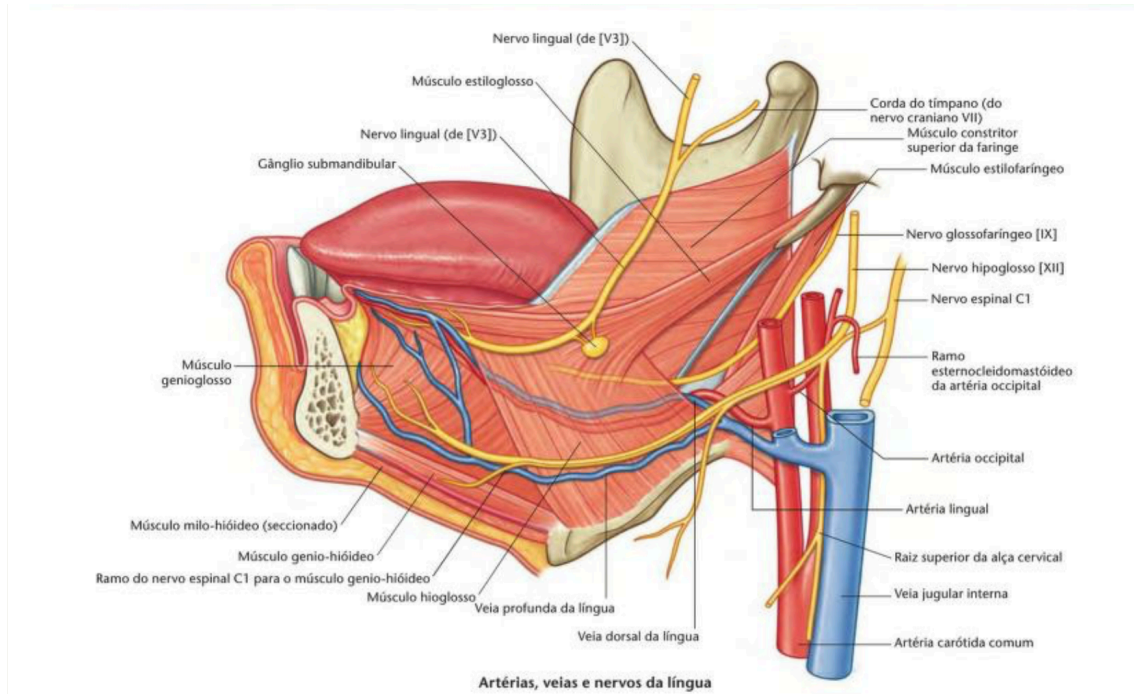


Figura 3.9: Vista profunda da região submentoniana e relação da artéria submentoniana com o músculo milo-hióideo

Fonte: Drake, R. L., Vogl, W., & Mitchell, A. W. M. (2008). *Gray's Atlas de Anatomia* (1.^a ed.). Elsevier. Reproduzido com permissão (Copyright Clearance Center – RightsLink®, Licença n.º 1740137-1).

Artéria Milo-hioideia

A artéria milo-hioideia é ramo da artéria alveolar inferior, emitido antes da entrada desta no forame mandibular — constituindo, portanto, o único ramo de calibre relevante que abandona a alveolar inferior antes do seu trajeto endósseo. Percorre o sulco milo-hioideu na face interna do ramo da mandíbula em direção anterior e inferior, irrigando o músculo homônimo e estabelecendo anastomoses com a submentoniana e com ramos da artéria facial (Gaudy, 2007; Loukas et al., 2008). A sua lesão durante a elevação de retalho mucoperiosteico de espessura total ou em procedimentos de regeneração óssea guiada (GBR) que envolvam extensa descolagem do periosteio lingual é frequentemente subestimada na formação pré-clínica, em parte porque a sua secção isolada raramente desencadeia um quadro hemorrágico tão agudo como o da artéria sublingual (Tagaya et al., 2009; Kalpidis & Setayesh, 2004). Contudo, as suas anastomoses

podem contribuir para hemorragias sustentadas e de difícil controlo, sobretudo quando os tecidos linguais já se encontram comprometidos por edema ou hematoma. A sua inclusão na IMPLANTARTERY visa colmatar esta lacuna de sensibilização, tornando visível uma estrutura cuja negligência pedagógica não resulta da sua raridade, mas da ausência de representações visuais contextualizadas.

A Classificação de Katsumi et al. (2013) — Os Quatro Padrões de Irrigação do Pavimento Oral

A variabilidade das artérias sublingual, submentoniana e milo-hioideia não se reduz a diferenças morfométricas individuais: estas estruturas organizam-se em padrões de dominância e co-existência cuja identificação pré-operatória é clinicamente determinante, pois condiciona diretamente a estratégia de hemostase em caso de emergência. Um clínico que conhece exclusivamente a artéria sublingual como fonte de risco encontra-se anatomicamente impreparado para gerir hemorragias em metade ou mais dos padrões vasculares da população. Katsumi et al. (2013), numa análise morfológica sistemática de 30 espécimes cadavéricos, propuseram uma classificação em quatro tipos que permanece a referência fundamental para a compreensão desta variabilidade:

Tipo I — Dominância da Artéria Sublingual. A artéria sublingual é o vaso principal de irrigação do pavimento oral, penetrando na cortical lingual através dos foramina linguais, com a submentoniana ausente ou de calibre negligenciável. É o padrão classicamente descrito nos manuais e atlas — e a sua assunção exclusiva nos curricula pré-clínicos tradicionais conduziu à subestimação sistemática dos padrões seguintes.

Tipo II — Dominância da Artéria Submentoniana. A submentoniana — ramo da facial que percorre a face inferior do milo-hioideu — é a fonte primária, com a sublingual reduzida ou ausente. A implicação crítica é que uma hemorragia aparentemente «sublingual» pela sua topografia não pode ser controlada por ligadura ou compressão da artéria lingual, exigindo o controlo primário da artéria facial ou de um dos seus ramos — uma abordagem de emergência substancialmente diferente.

Tipo III — Co-dominância Sublingual e Submentoniana. Ambas estão presentes com calibre semelhante, formando uma arcada anastomótica ao nível do milo-hioideu. Representa o maior risco hemorrágico pela duplicidade de fontes:

mesmo após compressão eficaz de uma das artérias, a outra mantém a perfusão regional. A sua identificação por CBCT é particularmente relevante na mandíbula anterior edêntula, onde a reabsorção alveolar reduz as margens de segurança (Cawood & Howell, 1988).

Tipo IV — Padrão Misto de Elevada Complexidade. Múltiplos vasos de calibre variável contribuem simultaneamente, incluindo ramos da alveolar inferior, da lingual e contribuições da sublingual e da submentoniana. É o cenário de maior imprevisibilidade e de maior desafio hemostático, no qual a experiência cirúrgica isolada — sem suporte imagiológico individualizado — se revela mais insuficiente (Katsumi et al., 2013).

É precisamente nos Tipos II, III e IV — em conjunto, os casos em que a artéria sublingual não é a fonte dominante exclusiva — que a formação pré-clínica baseada unicamente no Tipo I se revela clinicamente inadequada. Esta classificação fundamenta, do ponto de vista anatômico, a necessidade de ferramentas como a IMPLANTARTERY, capazes de tornar visível a variabilidade vascular do pavimento oral de forma contextualizada e tridimensional, e não apenas através de esquemas bidimensionais descontextualizados.

3.2.2. Setor Maxilar: Artéria Palatina Maior e Artéria Nasopalatina

No maxilar superior, as estruturas vasculares mapeadas na IMPLANTARTERY foram selecionadas pela sua relevância direta nos dois procedimentos implantológicos maxilares de maior prevalência de complicações hemorrágicas: a colheita de enxertos de tecido conjuntivo palatino e o posicionamento de implantes na região anterior da maxila.

Artéria Palatina Maior. A artéria palatina maior é ramo terminal da artéria palatina descendente, originada do terceiro segmento da artéria maxilar no canal pterigopalatino. Emerge pelo forame palatino maior e percorre o palato duro em direção anterior a uma profundidade que varia entre 7 mm na região molar e 12 a 17 mm na região dos caninos, dependendo da espessura palatina individual (Reiser et al., 1996; Monnet-Corti et al., 2006). A sua lesão durante a colheita de enxertos de tecido conjuntivo subepitelial origina hemorragias pulsáteis de difícil controlo por compressão mecânica isolada, impondo frequentemente a necessidade de sutura hemostática (Gaudy, 2007; Wessel & Tatakis, 2008). Esta variabilidade de profundidade em função da espessura palatina individual torna

a sua visualização tridimensional contextualizada particularmente útil nas fases de planeamento e de ensino técnico.

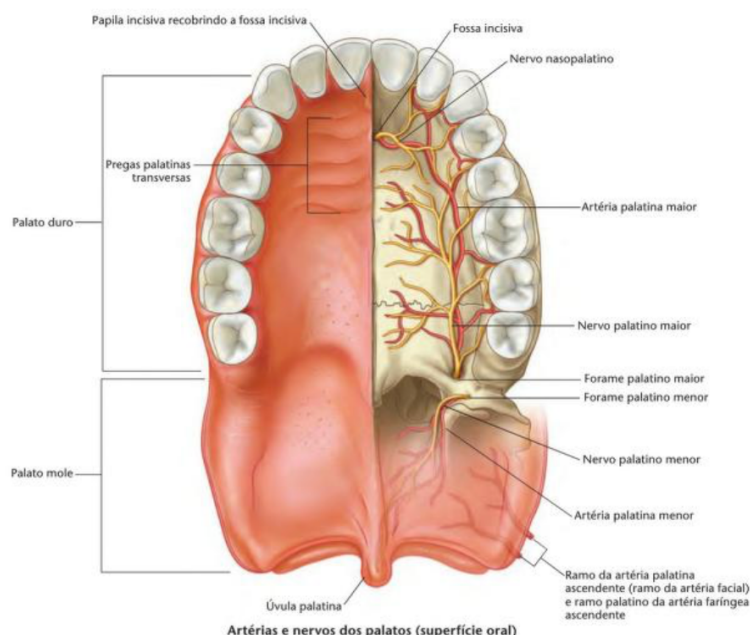


Figura 3.10: Vascularização e inervação do palato duro, com evidência da artéria palatina maior

Fonte: Drake, R. L., Vogl, W., & Mitchell, A. W. M. (2008). *Gray's Atlas de Anatomia* (1.^a ed.). Elsevier. Reproduzido com permissão (Copyright Clearance Center – RightsLink®, Licença n.º 1740137-1).

Artéria Nasopalatina. A artéria nasopalatina é ramo do terceiro segmento da artéria maxilar. Percorre o septo nasal antes de atravessar o canal incisivo para emergir no palato anterior, onde estabelece anastomoses com a artéria palatina maior. A sua posição é anatomicamente constante, mas o canal incisivo apresenta variabilidade morfológica com dimensões médias entre 2,4 mm e 4,0 mm de largura (Mraiwa et al., 2004). Nos casos em que a reabsorção óssea ou alterações patológicas como quistos do canal nasopalatino modificam o espaço disponível para a osteotomia, pode ser necessário o esvaziamento cirúrgico do canal ou a ancoragem direta de implantes no mesmo, conforme documentado por Bartolomeu et al. (2024) e Peñarrocha et al. (2014) — relevância terapêutica crescente que, a par do risco iatrogénico em osteotomias convencionais (Mardinger et al., 2008a), justifica a sua inclusão como estrutura de sensibilização para a região anterior maxilar.

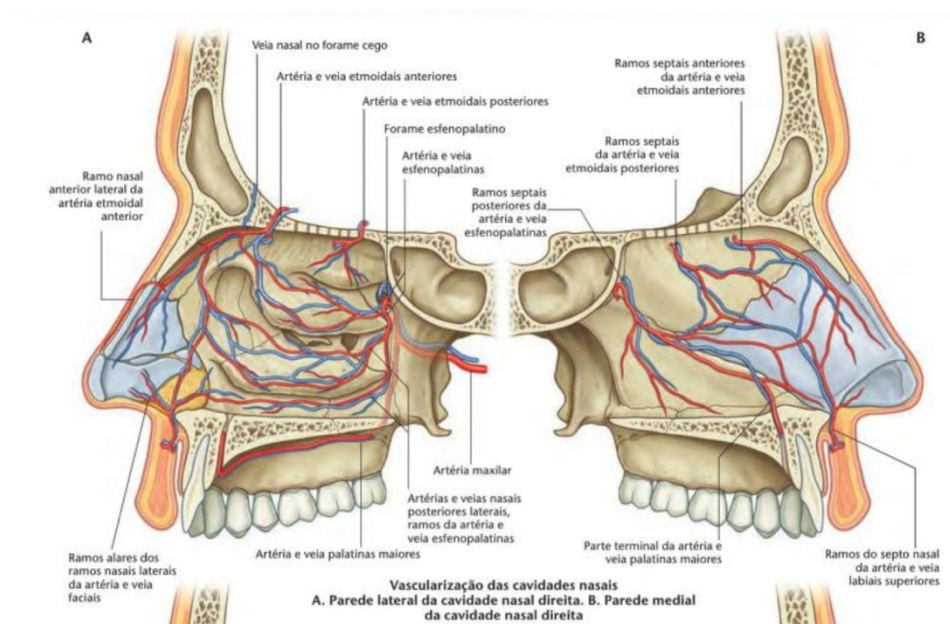


Figura 3.11: Irrigação do septo nasal e trajeto da artéria nasopalatina no canal incisivo

Fonte: Drake, R. L., Vogl, W., & Mitchell, A. W. M. (2008). *Gray's Atlas de Anatomia* (1.^a ed.). Elsevier. Reproduzido com permissão (Copyright Clearance Center – RightsLink®, Licença n.º 1740137-1).

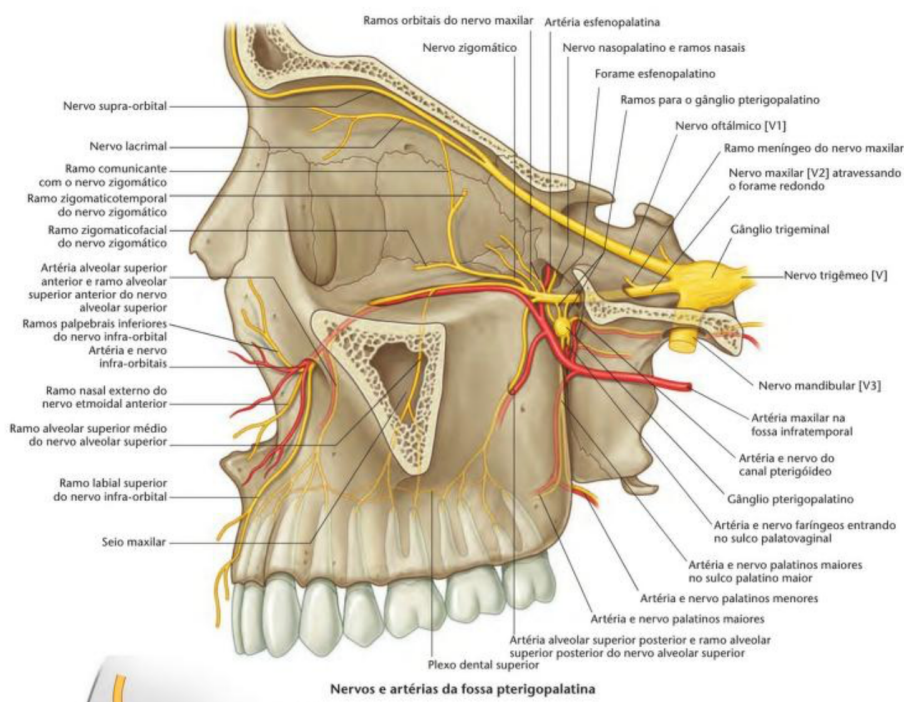


Figura 3.12: Trajeto da artéria maxilar na fossa infratemporal e transição para a fossa pterigopalatina

Fonte: Drake, R. L., Vogl, W., & Mitchell, A. W. M. (2008). *Gray's Atlas de Anatomia* (1.^a ed.). Elsevier. Reproduzido com permissão (Copyright Clearance Center – RightsLink®, Licença n.º 1740137-1).

Artéria Modelada	Localização Clínica	Risco Cirúrgico e Consequências	Risco Vital*	Fundamentação Científica
A. Sublingual	Pavimento oral (setor anterior), superior ao músculo milo-hioideu	Perfuração da cortical lingual durante a osteotomia; hematoma expansivo e obstrução aguda das vias aéreas	Crítico	Rosano et al. (2009); Vyas & Tadinada (2023); Katsumi et al. (2013)
A. Submentoniana	Face inferior do músculo milo-hioideu	Lesão durante cirurgias de retalhos ou GBR; anastomoses frequentes com a a. sublingual que dificultam a hemostasia	Alto	Loukas et al. (2008); Katsumi et al. (2013)
A. Alveolar Inferior	Canal mandibular (setor posterior e pré-molar)	Danos neurovasculares irreversíveis, parestesia persistente e hemorragias intraósseas de difícil controlo	Baixo	Flanagan (2003); Romanos et al. (2012)
A. Incisiva	Prolongamento anterior do canal mandibular	Hemorragia intraóssea durante a colocação de implantes na região interforaminal	Baixo	Romanos et al. (2012); Jacobs et al. (2002); Tepper et al. (2001)
A. Palatina Maior	Abóbada palatina (setor pósterio-superior)	Risco crítico durante a colheita de enxertos de tecido conjuntivo ou desenho de retalhos palatinos	Baixo/Moderado	Gaudy (2007); Reiser et al. (1996); Wessel & Tatakis (2008)
A. Milo-hioideia	Sulco milo-hioideu (face interna do ramo da mandíbula)	Frequentemente negligenciada; a sua lesão pode contribuir para hemorragias severas do pavimento oral	Alto	Loukas et al. (2008); Gaudy (2007)
A. Nasopalatina	Canal incisivo (maxila anterior)	Hematoma localizado no palato; risco de perda de estabilidade do implante	Baixo	Flanagan (2003)

Tabela 3.1: Síntese das Estruturas Arteriais Modeladas: Localização Clínica, Risco Vital e Fundamentação Científica da Inclusão na IMPLANTARTERY

Parâmetro	Especificação
Software de Modelação	Blender 4.2 (Blender Foundation, 2024)
Base Geométrica Original	Z-Anatomy / BodyParts3D (TA2-2019)
Método de Modelação Vascular	Curvas de Bézier convertidas em malhas tubulares
Formato de Exportação	FBX (Filmbox)
Plataforma de RA	Snapchat Lens Studio 5.7.1 (Snap Inc., 2024)
Motor de <i>Face Tracking</i>	<i>Deep learning</i> — <i>Face Mesh</i> > 2.000 vértices
Tamanho Total dos Ativos	≈ 7 MB (limite máximo: 8 MB)
Técnica de Otimização	Decimação seletiva de polígonos (<i>Decimate Modifier</i>)
Sistema de Renderização	<i>Physically Based Rendering</i> (PBR)
Oclusão Digital	Z-Buffer com máscara facial dinâmica
Número de Estruturas Vasculares	7 artérias mapeadas
Distribuição Anatômica	5 mandibulares + 2 maxilares
Método de Acesso	Snapcode (sem instalação de aplicação dedicada)
Conceito Pedagógico	<i>Bring Your Own Device</i> (BYOD)

Tabela 3.2 — Especificações Técnicas e Parâmetros de Otimização da Lente IMPLANTARTERY

3.3. Prototipagem e Implementação no Lens Studio

Concluídas a modelação anatômica e a otimização de malhas, a terceira fase do *workflow* consistiu na implementação lógica da ferramenta em ambiente de Realidade Aumentada móvel. O conjunto de estruturas ósseas e vasculares foi exportado do Blender em formato FBX e importado para o Snapchat Lens Studio 5.7.1 (Snap Inc., 2024), preservando a hierarquia de objetos e as relações topográficas estabelecidas na fase de curadoria. No interior do Lens Studio, o modelo foi ancorado à face do utilizador através do componente de *Head Binding*, que o vincula à *Face Mesh* paramétrica (superior a 2.000 vértices) gerada em tempo real pelo motor de *face tracking*; este vínculo assegura que o conjunto anatômico acompanha de forma estável a translação, a rotação e a escala da cabeça, mantendo o registo espacial *in situ* que fundamenta a experiência. À malha facial foi associado um material de oclusão (*occluder*) baseado em Z-Buffer, cujo fundamento perceptivo se detalha na secção seguinte (3.4.d).

A camada de interação foi construída sobre o sistema de *Behaviors* (comportamentos) nativo do Lens Studio, dispensando programação avançada e concretizando a acessibilidade de desenvolvimento que motivou a escolha da plataforma (cf. secção 2.3.3). Implementaram-se duas interações pedagogicamente centrais. A primeira é a alternância do *X-Ray Mode*: um toque no ecrã aciona um comportamento que comuta a opacidade do material da cortical óssea entre o estado opaco e o estado semitransparente, permitindo ao utilizador revelar ou ocultar livremente os trajetos vasculares intraósseos sem perder o referencial anatómico da superfície. A segunda é a ativação das *notas de risco cirúrgico*: cada artéria de risco foi configurada como objeto interativo, de modo que o toque sobre a estrutura desencadeia a exibição de uma anotação sintética — designação da artéria e principal consequência clínica da sua lesão —, convertendo a visualização passiva num percurso de exploração ativa do risco. São estas anotações que constituem o elemento de sensibilização dirigida avaliado no protocolo experimental (secção 4.4).

Por fim, a distribuição da Lente foi assegurada por um *Snapcode* exclusivo, que dispensa a instalação de qualquer aplicação dedicada e operacionaliza o conceito de acesso sem fricção (*Frictionless Learning*) discutido na secção 2.3.3.

3.4. Considerações de Design e Engenharia da Interface

O desenvolvimento da IMPLANTARTERY não visou apenas a representação visual anatomicamente correta, mas a criação de um sistema de suporte pedagógico à decisão que respeitasse simultaneamente princípios de visualização médica, eficiência computacional e clareza clínica. As escolhas de design estruturaram-se em quatro eixos críticos e igualmente determinantes para a eficácia final da ferramenta:

a. Codificação Cromática e Texturização PBR

A seleção de cores baseou-se na convenção anatómica universal, utilizando vermelho saturado para as estruturas arteriais, garantindo contraste imediato e inequívoco com a pele real do utilizador visualizada pela câmara frontal. A saturação específica do vermelho foi calibrada para maximizar a visibilidade em condições de iluminação variável — desde ambientes clínicos com luz artificial intensa até ambientes de estudo com iluminação natural difusa. A aplicação de *Physically Based Rendering* (PBR) conferiu às texturas ósseas e vasculares a

capacidade de responder realisticamente à iluminação ambiente do smartphone, aumentando a percepção de presença e a credibilidade anatômica da projeção sem recorrer a fotorrealismo excessivo, cujos custos computacionais seriam incompatíveis com o limite de 8 MB imposto pela plataforma.

b. Simplificação Geométrica e Performance

A decimação seletiva de polígonos foi aplicada de forma diferenciada: as artérias de risco crítico (sublingual, alveolar inferior) foram submetidas a menor grau de decimação, preservando a integridade do trajeto vascular e a clareza topográfica, enquanto estruturas ósseas de enquadramento contextual (ramo mandibular, osso zigomático) foram mais agressivamente simplificadas. Este gradiente de qualidade geométrica em função da relevância clínica da estrutura segue o princípio de que em visualização médica aplicada a fins pedagógicos, a clareza topográfica de estruturas críticas deve ser sistematicamente privilegiada sobre o detalhe geométrico de estruturas contextuais (Preim et al., 2024).

c. Metáfora de Transparência e *Cognitive Offloading*

A implementação do *X-Ray Mode* responde a um desafio cognitivo específico: a visualização de estruturas intraósseas sem perder o referencial espacial fornecido pela cortical óssea. A metáfora de transparência — na qual o osso se torna semitransparente enquanto os vasos intraósseos ficam claramente visíveis — foi concebida para facilitar o *cognitive offloading* (Sweller, 1988): em vez de o utilizador ter de reconstruir mentalmente a posição do canal mandibular em relação à cortical óssea a partir de cortes seccionais de CBCT, a ferramenta externaliza esta representação e disponibiliza-a diretamente no campo visual, libertando recursos cognitivos para a análise clínica. Esta funcionalidade é, conceptualmente, o corolário tecnológico do argumento que fundamenta toda a investigação: a percepção espacial operatória pode ser melhorada através da externalização visual de representações anatômicas tridimensionais.

d. Precisão do Posicionamento e Oclusão Digital

O alinhamento anatômico preciso entre o modelo vascular virtual e a face real do utilizador é assegurado por algoritmos de *deep learning* que mapeiam mais de 2.000 vértices da *Face Mesh* paramétrica em tempo real. O elemento técnico de design mais crítico é a gestão da Oclusão Digital baseada em Z-Buffer: o sistema cria uma máscara invisível da face real do utilizador de modo a que as artérias virtuais «desapareçam» corretamente atrás dos tecidos moles quando a

angulação de visualização o justifica. Esta oclusão realista é o mecanismo que converte a sobreposição gráfica numa genuína simulação de transparência anatómica — quando uma artéria desaparece parcialmente atrás da mandíbula do utilizador, o cérebro interpreta automaticamente essa relação como uma propriedade de profundidade real, promovendo uma perceção espacial tridimensional intuitiva que reforça a validade anatómica da projeção *in situ* (Cutting & Vishton, 1995).

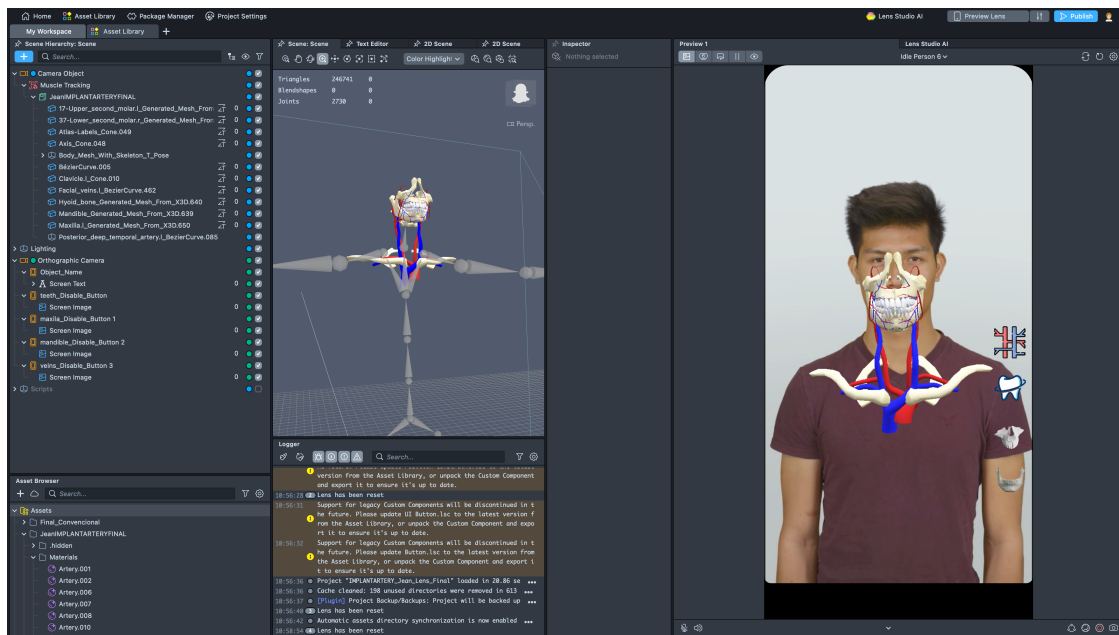


Figura 3.13: Interface do utilizador do software Lens Studio, com a pré-visualização da lente de RA no painel lateral direito

IV - Metodologia de Validação

4.1. Desenho do Estudo e Amostra

A presente investigação é um estudo de usabilidade e plasticidade de utilização, combinando métricas quantitativas com feedback qualitativo. O estudo foi concebido como uma prova de conceito para avaliar a viabilidade da Realidade Aumentada (RA) no ensino da anatomia cirúrgica.

O presente protocolo de investigação foi submetido e aprovado pela Comissão de Ética do Instituto Universitário Egas Moniz, sob a presidência da Doutora Filipa Vicente, no dia 20 de fevereiro de 2026 sob o número ou identificação de registo, Plataforma : PT-504/25; Processo interno: 1703.

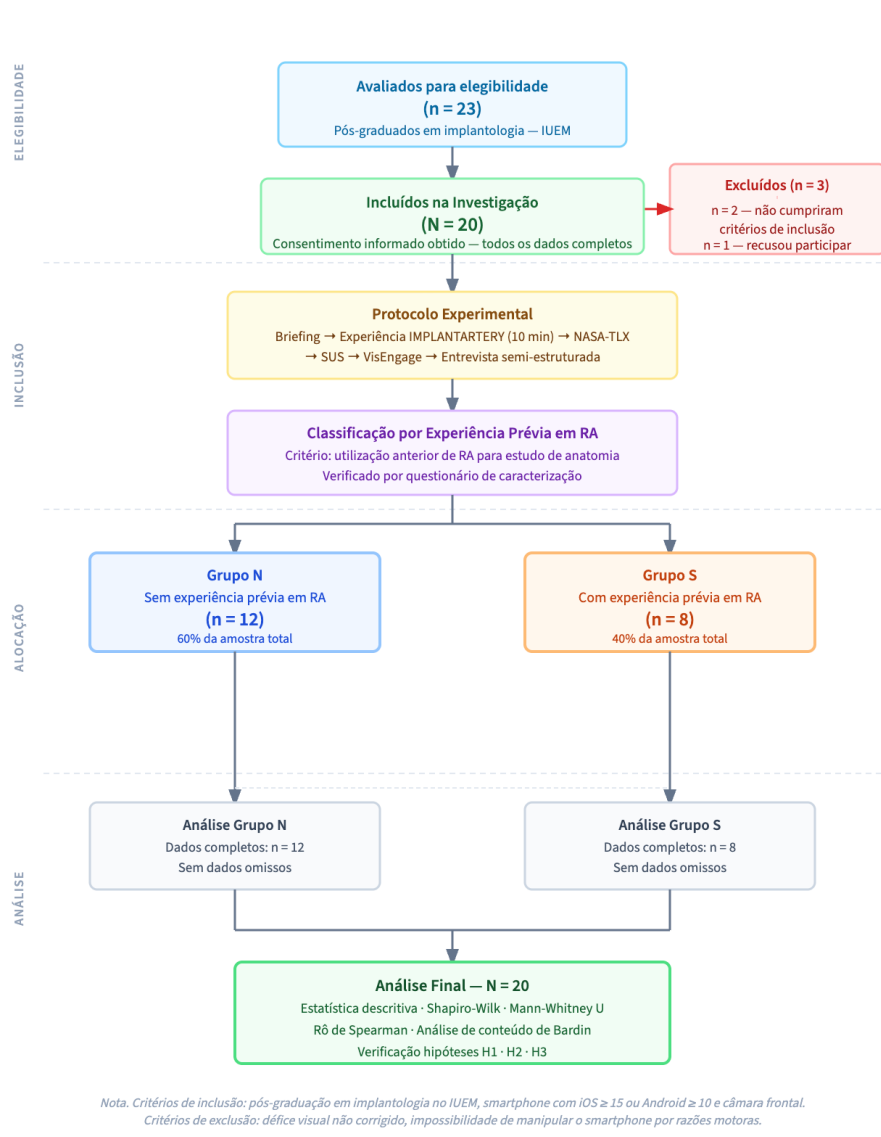


Figura 4.1 — Diagrama de Fluxo de Participantes

4.1.1. Caracterização da Amostra e Justificação

A amostra é constituída por **20 participantes** (N=20), médicos dentistas inscritos no curso de Pós-Graduação Internacional em Implantologia, 5º edição, do Instituto Universitário Egas Moniz School of Health & Science .

- **Justificação do Tamanho da Amostra:** O número de participantes foi considerado adequado para testes de usabilidade, seguindo as diretrizes estabelecidas por Nielsen (1994) e Bangor et al. (2008), que demonstram que uma amostra de 15 a 20 utilizadores é suficiente para identificar a vasta maioria dos problemas de interface e eficácia em sistemas interativos.

Do ponto de vista do poder estatístico, importa distinguir dois níveis de análise com exigências metodológicas distintas. Para os objetivos primários de teste de usabilidade, a dimensão amostral de N=20 é amplamente suportada pelas diretrizes de Nielsen (1994) e Bangor et al. (2008), que demonstram que 15 a 20 utilizadores são suficientes para identificar a maioria dos problemas de interface e estimar com robustez a pontuação SUS. Para as análises inferenciais secundárias — nomeadamente o Teste U de Mann-Whitney e as correlações de Spearman — N=20 implica um poder estatístico moderado ($\beta \approx 0,5$ para efeitos de magnitude média, $d=0,5$, $\alpha=0,05$), o que significa uma probabilidade de aproximadamente 50% de detetar um efeito real de tamanho médio caso ele exista (Cohen, 1988). Esta limitação é inerente à natureza de prova de conceito do estudo e é reconhecida como um dos principais vectores de investigação futura, que deverá replicar as análises com amostras de maior dimensão para confirmar ou refinar os padrões de correlação identificados. Os resultados das análises inferenciais deste capítulo devem, portanto, ser interpretados como indicativos de tendências e geradores de hipóteses para investigação futura, e não como estimativas definitivas de efeito populacional.

4.1.2. Critérios de Inclusão e Exclusão

- **Critérios de Inclusão:** alunos da Pós-Graduação Internacional em Implantologia Egas Moniz 5º edição

- **Critérios de Exclusão:** Participantes com limitações visuais não corrigidas que comprometam a percepção de profundidade e a discriminação tridimensional foram excluídos do estudo. A pertinência deste critério fundamenta-se na evidência de que a eficácia perceptiva das ferramentas de Realidade Aumentada depende de capacidades de fusão binocular e processamento estereoscópico que, quando deficitárias, introduzem variabilidade sistemática não controlável nos dados de usabilidade e engagement recolhidos (Seuntjens et al., 2006; Moro et al., 2021). A sua inclusão poderia, assim, enviesar os resultados das escalas VisEngage e NASA-TLX, nomeadamente nas dimensões de Esforço e Exigência Mental.

A presente investigação foi concebida como um estudo de prova de conceito (*proof-of-concept study*). Esta opção metodológica justifica-se por três razões complementares, todas documentadas como adequadas para a fase de desenvolvimento inicial de ferramentas pedagógicas digitais (Zevin et al., 2012; Bjelovucic et al., 2025). Em primeiro lugar, a ausência de ferramentas de RA móvel comparáveis aplicadas especificamente à sensibilização vascular em implantologia impede a definição de um comparador ativo adequado — um grupo de controlo exposto a métodos tradicionais (atlas 2D ou CBCT) mediria condições não equivalentes em termos de modalidade e contexto de interação. Em segundo lugar, a validação de usabilidade e aceitação do utilizador em protótipos tecnológicos não exige grupo de controlo para cumprir os seus objetivos primários: os instrumentos SUS, NASA-TLX e VisEngage medem a experiência subjetiva do utilizador com a ferramenta em si, e não o ganho de aprendizagem relativo a uma condição alternativa. Em terceiro lugar, o tamanho amostral de N=20 não suportaria a subdivisão em grupos sem comprometer o poder estatístico das análises. A ausência de grupo de controlo impede a quantificação objetiva do ganho pedagógico diferencial, o que é reconhecido como a principal limitação desta investigação e fundamenta a proposta de ensaios controlados e aleatorizados como passo metodológico subsequente.

4.2. Variáveis e Resultados Esperados (*Outcomes*)

Para uma análise rigorosa, definiram-se as seguintes variáveis de estudo:

1. Usabilidade percebida do sistema, avaliada através da *System Usability Scale* (SUS);
2. Carga de trabalho mental e esforço cognitivo (*NASA-TLX*);
3. Nível de envolvimento e imersão visual do utilizador (*VisEngage*).

Dados Qualitativos: Identificação de pontos fortes, limitações técnicas e sugestões de evolução clínica através de entrevistas semiestruturadas.

4.3. Instrumentos de Recolha de Dados e Materiais

4.3.1. Hardware e Software

A experimentação utilizou a aplicação Snapchat como motor de execução para a Lente de RA desenvolvida, acedida via Snapcode exclusivo. A interface permite a projecção *in situ* de estruturas vasculares com funcionalidades de transparência óssea ("X-ray mode").

4.3.2. Justificação dos Questionários

A seleção dos instrumentos de avaliação baseou-se na necessidade de quantificar constructos subjetivos — usabilidade, carga cognitiva e envolvimento — através de métricas validadas e amplamente aceites pela comunidade científica.

a. *System Usability Scale* (SUS)

- O SUS foi selecionado pela sua robustez e eficácia na avaliação da usabilidade de sistemas interativos, mesmo em amostras reduzidas.
 - **Métrica e Escala:** O instrumento é composto por 10 itens, pontuados numa escala de *Likert* de 5 pontos (1: Discordo Totalmente; 5: Concordo Totalmente). A pontuação final é convertida para um intervalo de 0 a 100, seguindo o protocolo de cálculo de Brooke (1996).
 - **Critérios de Interpretação:** De acordo com os *benchmarks* estabelecidos por Bangor et al. (2008), o valor de 68 pontos representa a média de usabilidade industrial. Pontuações superiores a 80,3 são classificadas como "Grade A" (Excelente), indicando uma interface altamente intuitiva e com reduzida barreira de utilização. Valores abaixo de 51 são considerados inaceitáveis.

b. NASA-TLX (Task Load Index) (Hart & Staveland, 1988)

- Para a monitorização da carga de trabalho subjetiva, optou-se pela versão *Raw-TLX*, que avalia a exigência da tarefa sem a necessidade de ponderação prévia das dimensões.
 - **Métrica e Escala:** O questionário decompõe a experiência em 6 dimensões (Exigência Mental, Física, Temporal, Desempenho, Esforço e Frustração). Cada dimensão é pontuada num espetro de 1 (Muito Baixo) a 21 (Muito Alto).
 - **Critérios de Interpretação:** Nas dimensões de "Exigência", "Esforço" e "Frustração", valores baixos (primeiro quartil) indicam que a tecnologia promove o *cognitive offloading*, facilitando a tarefa. Contrariamente, na dimensão "Desempenho", a escala é invertida na sua interpretação semântica: o valor 1 representa o "Sucesso Perfeito" e o valor 21 o "Fracasso Total".

c. VisEngage

- O questionário *VisEngage* foi desenvolvido e validado por Hung & Parsons (2017), visa capturar a natureza multidimensional do envolvimento do utilizador com visualizações de dados anatómicos complexos.
 - **Métrica e Escala:** Avalia 11 subescalas através de uma escala de *Likert* de 7 pontos (1: Discordo Totalmente; 7: Concordo Totalmente).
 - **Critérios de Interpretação:** O valor 4,0 constitui o ponto de neutralidade. Resultados com médias superiores a 5,0 em domínios como "Novidade", "Interesse" e "Estética" são interpretados como indicadores de uma experiência imersiva bem-sucedida, capaz de captar e manter a atenção seletiva do clínico durante o processo de aprendizagem.

4.4. Protocolo Experimental e Fluxo de Trabalho

A sessão experimental seguiu um fluxo de trabalho estruturado para garantir a reprodutibilidade:

Introdução e Ética (3 min): Esclarecimento sobre o dispositivo, assinatura do Consentimento Informado e atribuição de código de anonimização.

Sessão de Visualização em RA (10 min): Exploração guiada da Lente, onde o participante deve identificar as artérias críticas e interagir com as notas de risco cirúrgico.

Avaliação Quantitativa (7 min): Preenchimento autónomo das escalas SUS, NASA-TLX e VisEngage.

Entrevista Qualitativa (5 min): *Debriefing* para recolha de impressões críticas sobre a precisão anatómica e relevância clínica.



Figura 4.2: Resumo das distintas fases e etapas do procedimento do estudo com utilizadores.

4.5. Análise Estatística

Os dados quantitativos foram processados no software IBM SPSS Statistics (v. 28.0). Para a caracterização da amostra e análise dos *outcomes*, utilizar-se-á estatística descritiva, incluindo médias ($\bar{x}$), desvios-padrão (σ) e medianas (M). Dado o tamanho da amostra (N=20), a normalidade da distribuição de cada variável será verificada através do teste de Shapiro-Wilk (Shapiro & Wilk, 1965). Caso se verifique a não-normalidade dos dados, recorrer-se-á a testes não-paramétricos (como o de *Spearman* para correlações entre literacia digital e performance).

As pontuações da escala SUS serão calculadas através do algoritmo de Brooke e interpretadas de acordo com os *benchmarks* de Bangor et al. (2008), convertendo os *scores* brutos em classificações adjetivais de aceitabilidade. A carga de trabalho mental será avaliada de forma multidimensional através das seis dimensões do NASA-TLX. O envolvimento do utilizador será analisado através das 11 subescalas do questionário VisEngage (Estética, Cativação,

Desafio, Controlo, Descoberta, Exploração, Criatividade, Atenção, Interesse, Novidade e Autotelismo).

O feedback qualitativo proveniente das questões abertas e do *debriefing* será alvo de uma Análise de Conteúdo (segundo Bardin), visando a identificação de padrões, pontos de fricção e vetores de melhoria futura para a ferramenta.



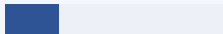
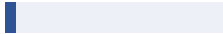
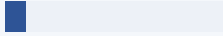
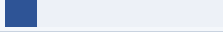
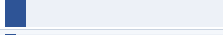
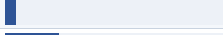
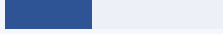
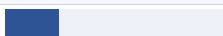
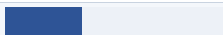
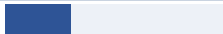
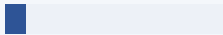
Figura 4.3: Registo fotográfico dos estudantes da pós-graduação em Implantologia durante a experimentação e teste da ferramenta de Realidade Aumentada IMPLANTARTERY nas instalações do Instituto Universitário Egas Moniz. Fonte: Fotografia do autor, 2026.

V. RESULTADOS E ANÁLISE DE DADOS

O presente capítulo expõe e interpreta os resultados obtidos na sessão de validação da IMPLANTARTERY, realizada a 28 de fevereiro de 2026, com recurso ao software IBM SPSS Statistics (v.28.0), abrangendo a caracterização da amostra, a análise psicométrica dos três instrumentos (NASA-TLX, SUS e VisEngage), a análise qualitativa, a comparação entre grupos e a verificação das hipóteses de investigação.

5.1. Caracterização da Amostra e Perfil de Literacia Digital

A amostra foi constituída por N=20 participantes, todos médicos dentistas inscritos na 5.^a edição da pós-graduação em Implantologia da Egas Moniz School of Health & Science, sem dados omissos (taxa de resposta de 100%). Foi maioritariamente feminina (70%) e jovem (mediana de 27,5 anos), com uma distribuição etária assimétrica à direita por efeito de outliers na faixa superior (Tabela 5.1). Do ponto de vista digital, embora 70% utilize redes sociais diariamente, a experiência específica com RA é limitada: 60% (n=12) nunca havia utilizado RA para o estudo de anatomia (Grupo N). Esta discrepância entre literacia digital de base e experiência pedagógica em RA é analiticamente relevante, pois permite interpretar os resultados de usabilidade como genuinamente independentes de uma curva de familiaridade prévia com a tecnologia em contexto formativo.

Variável	Subcategoria	n	%	Distribuição
Gênero	Feminino	14	70,0 %	
	Masculino	5	25,0 %	
	Prefiro não especificar	1	5,0 %	
Faixa etária	< 25 anos	2	10,0 %	
	25–30 anos	13	65,0 %	
	31–40 anos	3	15,0 %	
	> 40 anos	2	10,0 %	
Uso de redes sociais	Raramente (≈ 1×/semana)	1	5,0 %	
	Regularmente (4–6×/semana)	5	25,0 %	
	Sempre (diariamente)	14	70,0 %	
Uso de RA no estudo de anatomia	Nunca utilizou (Grupo N)	12	60,0 %	
	Já utilizou (Grupo S)	8	40,0 %	
Uso de lentes / filtros RA (redes sociais)	Nunca	5	25,0 %	
	Raramente (esporádico)	7	35,0 %	
	Às vezes (uso mensal)	6	30,0 %	
	Regularmente (uso semanal)	2	10,0 %	

Nota. Grupo S = participantes com experiência prévia em RA para estudo de anatomia (n = 8); Grupo N = sem experiência prévia (n = 12). Faixa etária: M = 30,1 anos (DP = 7,9); Mediana = 27,5 anos. N = 20; taxa de resposta = 100 %. As barras são proporcionais à percentagem reportada.

Tabela 5.1 — Caracterização Sociodemográfica e Perfil de Literacia Digital da Amostra (N=20)

5.2. Verificação das Condições de Normalidade e Justificação dos Métodos Estatísticos

Procedeu-se à verificação das condições de aplicabilidade dos testes através dos coeficientes de assimetria e curtose, estratégia adequada a amostras pequenas (N=20), onde o teste de Shapiro-Wilk tem poder limitado. A totalidade das variáveis contínuas apresentou distribuições fortemente não-normais, com assimetria positiva pronunciada (coeficientes entre 1,614 e 3,159 no NASA-TLX) e medianas de 1,00 em cinco das seis dimensões. Face a esta não-normalidade sistemática, adotaram-se, em consonância com a metodologia pré-especificada (secção 4.5), testes não-paramétricos para toda a inferência: o Teste U de Mann-Whitney para comparações entre grupos e o ρ de Spearman para correlações, opção consistente com as recomendações para escalas de Likert em amostras reduzidas (Field, 2018).

5.3. Análise da Carga de Trabalho Mental (NASA-TLX)

O índice NASA-TLX revelou uma carga cognitiva global extremamente reduzida, com medianas de 1,00 em cinco das seis dimensões (Tabela 5.2; Figura 5.1). A Frustração registou a média mais baixa do instrumento ($M=1,30$) e a Exigência Física o nível mínimo absoluto entre os participantes com experiência prévia em RA, confirmando que a interação — baseada na manipulação natural do smartphone — não impõe esforço percebido relevante. As médias mais elevadas da Exigência Temporal ($M=2,85$) e do Desempenho ($M=5,05$ — o que ainda assim denota um excelente nível de sucesso percecionado, dado o sentido invertido da escala) são artefactos de outliers isolados: em ambos os casos a mediana é 1,00, e a divergência entre média e mediana ilustra a pertinência do recurso a estatística robusta em distribuições assimétricas com amostras reduzidas. O único outlier de Exigência Mental (P12, score=10) reportou dificuldade de foco visual por ausência de zoom, reforçando esta funcionalidade como prioridade de desenvolvimento. Globalmente, o perfil confirma que a IMPLANTARTERY cumpre o requisito de cognitive offloading (Sweller, 1988), libertando recursos cognitivos para a aprendizagem anatómica em vez de os alocar à operação do software.

Dimensão NASA-TLX	Média	DP	Mediana	Mín.	Máx.	IC 95%
Exigência Mental	2,60	2,74	1,00	1	10	[1,32 — 3,88]
Exigência Física	1,50	1,28	1,00	1	5	[0,90 — 2,10]
Exigência Temporal	2,85	4,67	1,00	1	20	[0,66 — 5,04]
Desempenho*	5,05	7,72	1,00	1	21	[1,44 — 8,66]
Esforço	1,60	1,14	1,00	1	5	[1,07 — 2,13]
Frustração	1,30	0,73	1,00	1	3	[0,96 — 1,64]

Tabela 5.2 — Estatísticas Descritivas das Dimensões do NASA-TLX (N=20; Escala 1-21)

Nota: Na escala de Desempenho, 1 = Sucesso Perfeito e 21 = Fracasso Total (escala invertida).

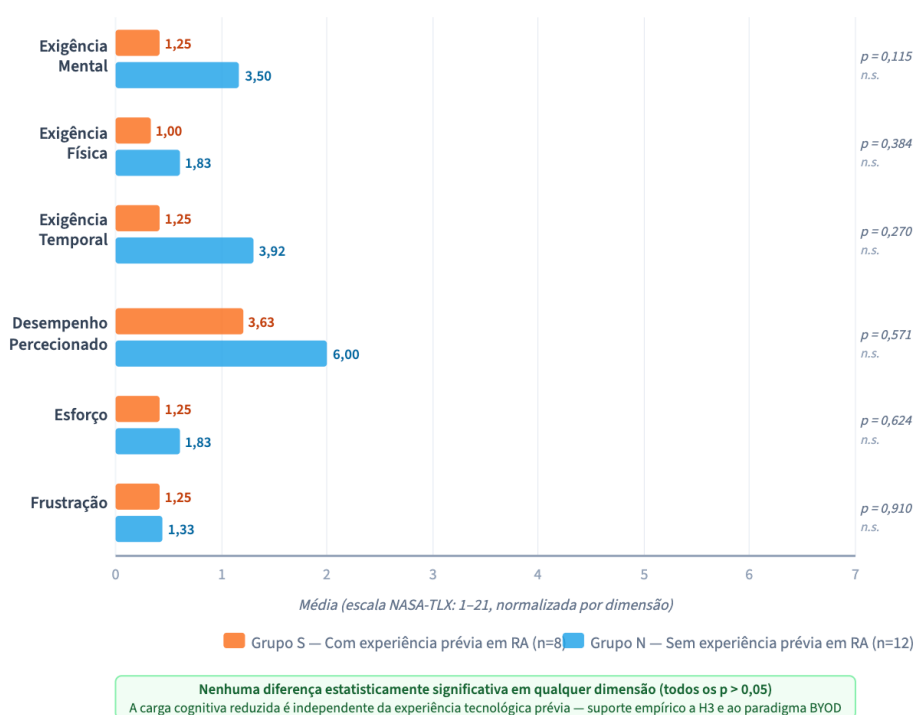


Figura 5.1 — Perfil de Carga de Trabalho NASA-TLX por Grupo de Experiência Prévia em RA (Grupo S vs. Grupo N)

5.4. Decomposição da Usabilidade (System Usability Scale — SUS)

A aplicação do protocolo SUS (Brooke, 1996) produziu uma pontuação global de 87,1 (IC 95%: [82,8 — 91,4]), classificando a ferramenta como «Excelente» (Grau A) segundo Bangor et al. (2008). A análise item a item (Tabela 5.3) identifica os pilares desta usabilidade: a facilidade de utilização (item 3, $M=4,55$) e a confiança operacional (item 9, $M=4,65$; $DP=0,489$) atingiram as médias positivas mais altas, com uma perceção de confiança notavelmente homogénea; em paralelo, os itens de complexidade e peso técnico (itens 2, 8 e 4) concentraram-se no nível mínimo, reforçando o paradigma de Frictionless Learning. O item 7 ($M=4,50$) valida a adoção curricular imediata sem formação prévia, sendo o item 1 («gostaria de utilizar frequentemente», $M=3,75$) o único mais matizado — provável reflexo do «Paradoxo Snapchat» (secção 6.2.1). Este resultado adquire maior peso porque 60% da amostra nunca havia interagido com RA em contexto pedagógico: a manutenção de um nível Excelente confirma

que a familiaridade prévia com a interface do Snapchat funciona como substrato cognitivo transferível.

Item SUS	Sentido	Média	DP	Mediana
1. Gostaria de utilizar este sistema frequentemente	Positivo	3,75	0,97	4,00
2. Achei o sistema desnecessariamente complexo	Negativo	1,30	0,47	1,00
3. Achei o sistema fácil de utilizar	Positivo	4,55	1,00	5,00
4. Precisaria de apoio técnico para utilizar este sistema	Negativo	1,15	0,37	1,00
5. As funções do sistema estavam bem integradas	Positivo	4,20	1,01	4,00
6. Havia muita inconsistência neste sistema	Negativo	1,65	1,04	1,00
7. A maioria das pessoas aprenderia rapidamente	Positivo	4,50	0,83	5,00
8. O sistema era muito pesado/complicado	Negativo	1,10	0,31	1,00
9. Senti-me muito confiante a utilizar o sistema	Positivo	4,65	0,49	5,00
10. Precisei aprender muitas coisas antes de utilizar	Negativo	1,60	1,27	1,00

Tabela 5.3 — Estatísticas Descritivas dos Itens SUS (N=20; Escala Likert 1-5)

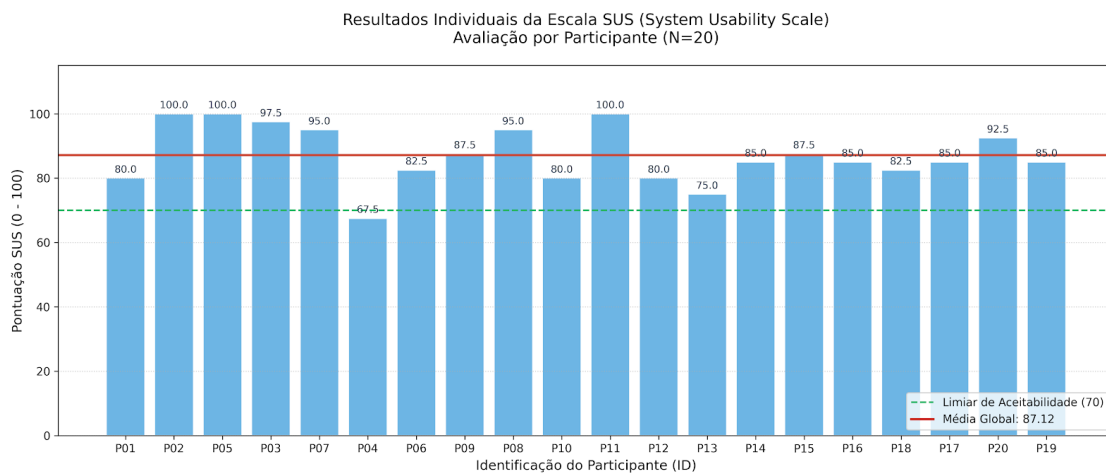


Figura 5.2 : Resultados Individuais da Escala SUS

Pontuação Global SUS = 87,1 | Grau A (Excelente)

5.5. Engagement e Experiência Imersiva (VisEngage)

O VisEngage produziu uma média global de 5,28 (escala 1-7), bem acima do ponto de neutralidade (4,0), na categoria de «envolvimento positivo expressivo». Os domínios mais elevados foram a Novidade (M=6,23), o Interesse (M=6,13) e o Controlo (M=5,90), confirmando que a projeção in situ das estruturas arteriais sobre o rosto do utilizador é percebida como uma experiência pedagógica

inédita, clinicamente relevante e tecnicamente controlada; o Autotelismo elevado ($M=5,83$) sustenta a probabilidade de utilização autónoma. Dois itens situaram-se abaixo da neutralidade, e a sua interpretação é o principal contributo analítico desta secção: a Cativação 1 («absorvido ao ponto de não estar consciente do que me rodeava», $M=3,60$) e o Desafio 2 («tive de pensar reflexivamente», $M=2,95$). Ambos são resultados desejáveis e não limitações: uma ferramenta de suporte à decisão clínica deve manter o utilizador consciente do contexto real, e a baixa exigência reflexiva confirma precisamente o cognitive offloading que distingue a visualização in situ por RA da interpretação de cortes de CBCT — esta exige rotação mental tridimensional ativa, aquela externaliza-a.

Subescala VisEngage	Média Global	Interpretação
Novidade	6,23	Muito acima do ponto neutro
Interesse	6,13	Muito acima do ponto neutro
Controlo	5,90	Muito acima do ponto neutro
Autotelismo	5,83	Muito acima do ponto neutro
Desafio (Item 1)	6,05	Muito acima do ponto neutro
Estética	5,70	Acima do ponto neutro
Exploração	5,38	Acima do ponto neutro
Criatividade	5,05	Acima do ponto neutro
Atenção	4,93	Ligeiramente acima do neutro
Descoberta	4,08	Próximo do ponto neutro
Cativação (Global)	4,43	Próximo do ponto neutro
Desafio (Item 2)	2,95	Abaixo do ponto neutro

Tabela 5.4 — Resultados por Subescala do VisEngage (N=20; Escala 1-7; ponto neutro = 4,0)
Média Global VisEngage = 5,28

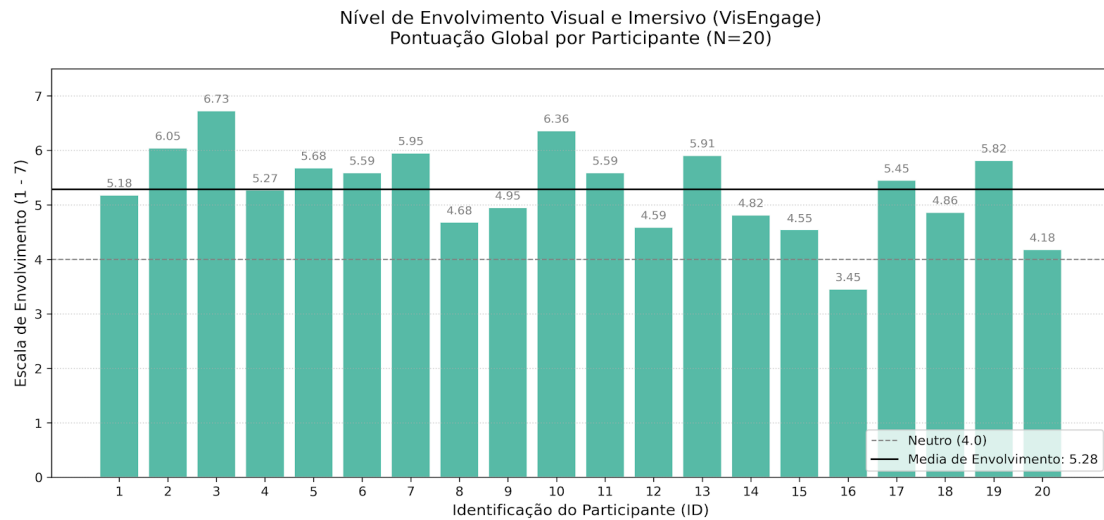


Figura 5.3 : Resultados Individuais da Escala VisEngage

5.6. Análise Qualitativa por Método de Bardin — Categorias, Frequências e Evidência Discursiva

A análise de conteúdo das entrevistas semiestruturadas (Estágio 5; N=20) seguiu o método de Bardin (2011), com categorização indutiva e verificação de exaustividade e exclusividade mútua (procedimento detalhado na secção 4.5). Foram identificadas 67 unidades de registo, organizadas em 4 categorias e 8 subcategorias.

Categoria	Subcategoria	Freq. Absoluta	Freq. Relativa	% Participantes
C1. Impacto na Consciência do Risco Vascular	C1.1 Visualização 3D como revelação anatômica	18	26,9%	90%
	C1.2 Transferência para a prática cirúrgica	9	13,4%	70%
C2. Posicionamento Pedagógico	C2.1 Complementaridade com CBCT e atlas	14	20,9%	100%
	C2.2 Superioridade face a representações estáticas	8	11,9%	65%
C3. Paradoxo Snapchat (BYOD)	C3.1 Eficácia pedagógica reconhecida	7	10,4%	80%
	C3.2 Reservas na utilização clínica (estética social)	6	9,0%	40%
C4. Vetores de Desenvolvimento	C4.1 Requisitos técnicos (Zoom e Resolução)	3	4,5%	35%
	C4.2 Interface clínica dedicada (<i>standalone</i>)	2	3,0%	25%
Total		67	100%	—

Tabela 5.5 — Categorias, Subcategorias e Frequências da Análise de Conteúdo (Bardin, 2011)

C1 — Impacto na Consciência do Risco Vascular (27%; 90% dos participantes). Categoria com maior volume de registos e maior relevância clínica. A subcategoria dominante (C1.1, 18 registos) traduz a visualização tridimensional como um momento de revelação anatômica distinto do conhecimento teórico — a distinção entre saber e ver:

«Eu já sabia que a artéria sublingual existia. Mas ver aqui — mesmo aqui — onde ela fica em relação à minha mandíbula... é diferente. É outra coisa.» (P10, Grupo N)

A subcategoria C1.2 (transferência para a prática) manifesta intenção de modificação do comportamento pré-operatório:

«Da próxima vez que planear um implante anterior, vou pensar duas vezes antes de avançar sem ter bem claro onde estão estas estruturas naquele doente específico.» (P15, Grupo S)

C2 — Posicionamento Pedagógico (33%; 100% dos participantes). A unanimidade é o resultado qualitativo mais robusto: nenhum participante posicionou a ferramenta como substituto do CBCT, todos a classificaram como recurso complementar — uma complementaridade de modalidade cognitiva, não de conteúdo:

«O Netter diz-me o que é. O CBCT diz-me onde está naquele doente. Isto diz-me o que devo ter em mente antes de sequer abrir o CBCT. São três momentos diferentes.» (P19, Grupo S)

C3 — Paradoxo Snapchat (19%; 40% dos participantes para C3.2). Os mesmos participantes que reconhecem a eficácia pedagógica (C3.1) expressam reservas quanto ao uso clínico direto (C3.2), definindo a tensão que esta investigação designa por Paradoxo Snapchat:

«O problema não é a ferramenta. O problema é o símbolo que a ferramenta carrega. O Snapchat está associado a entretenimento. Medicina precisa de outros símbolos.» (P12, Grupo N)

Esta observação é consistente com a literatura sobre legitimidade simbólica de instrumentos clínicos (Joda et al., 2019; Reiser, 1978) e fundamenta a proposta de migração para uma interface standalone desenvolvida nas Perspetivas Futuras (secção 7.4).

C4 — Vetores de Desenvolvimento (8%; 35% dos participantes para C4.1). Menos frequentes em número mas altamente convergentes: o zoom dinâmico foi a necessidade mais citada (P03, P11, P15 e P19), identificada como a limitação técnica mais crítica para a progressão da ferramenta do nível pedagógico para o de planeamento clínico de detalhe:

«Precisava de poder dar zoom numa artéria específica. Quando estou a tentar perceber o trajeto da sublingual numa região concreta, não consigo aproximar. Isso limita.» (P11, Grupo S)

5.7. Análise Comparativa por Experiência Prévia em RA: Teste U de Mann-Whitney

Para investigar se os resultados eram independentes da experiência tecnológica prévia — hipótese central do paradigma BYOD (H3) —, compararam-se as distribuições entre o Grupo S (com experiência prévia em RA, $n=8$) e o Grupo N (sem experiência, $n=12$), através do Teste U de Mann-Whitney exato ($\alpha=0,05$), dada a não-normalidade verificada na secção 5.2.

5.7.1. Comparação das Dimensões NASA-TLX

Dimensão NASA-TLX	Grupo S ($n=8$) M / Med.	Grupo N ($n=12$) M / Med.	U	p (exato)	Decisão
Exigência Mental	1,25 / 1,00	3,50 / 2,00	68,5	0,115	Reter H_0
Exigência Física	1,00 / 1,00	1,83 / 1,00	60,0	0,384	Reter H_0
Exigência Temporal	1,25 / 1,00	3,92 / 1,00	62,5	0,270	Reter H_0
Desempenho	3,63 / 1,00	6,00 / 1,00	56,0	0,571	Reter H_0
Esforço	1,25 / 1,00	1,83 / 1,00	55,0	0,624	Reter H_0
Frustração	1,25 / 1,00	1,33 / 1,00	50,0	0,910	Reter H_0

Tabela 5.6 — Comparação das Dimensões NASA-TLX por Experiência Prévia em RA (Teste U de Mann-Whitney)

Nenhuma das seis dimensões do NASA-TLX revelou diferença estatisticamente significativa entre os grupos (todos os $p > 0,05$). Este resultado é pedagogicamente fundamental: a carga cognitiva reduzida não depende da experiência tecnológica prévia, pelo que a curva de aprendizagem da ferramenta é genuinamente negligenciável — uma propriedade que não pode ser assumida a priori e que suporta estatisticamente a H3. A única dimensão a aproximar-se da significância foi a Exigência Mental ($U=68,5$; $p=0,115$), com o Grupo N a reportar valores superiores, tendência esperada que, não atingindo o limiar, reforça a acessibilidade universal da ferramenta.

5.7.2. Comparação dos Itens SUS e VisEngage

Item (Subescala VisEngage)	Grupo S (n=8) Média	Grupo N (n=12) Média	U	p (exato)	Decisão
Descoberta 1	2,63	4,58	75,5	0,031	Rejeitar H0
Descoberta 2	2,88	5,33	82,5	0,005	Rejeitar H0
Criatividade 1	4,63	5,75	73,5	0,047	Rejeitar H0

Tabela 5.7 — Itens SUS e VisEngage com Diferenças Estatisticamente Significativas entre Grupos ($\alpha=0,05$)

Nota: Grupo S = Com experiência prévia em RA; Grupo N = Sem experiência prévia em RA. Nível de significância $\alpha=0,05$.

A análise identificou três itens com diferenças significativas, todos do VisEngage e todos com pontuação superior no Grupo N (sem experiência prévia). As diferenças mais expressivas situaram-se na subescala Descoberta — «aprendi algo que desconhecia sobre anatomia arterial» ($M=4,58$ vs. $2,63$; $p=0,031$) e o segundo item de Descoberta ($M=5,33$ vs. $2,88$; $p=0,005$, o único resultado abaixo de $0,01$) —, a que acresce o item Criatividade 1 ($M=5,75$ vs. $4,63$; $p=0,047$). Este padrão tem uma leitura precisa: o impacto formativo da IMPLANTARTERY é diferencial e mais intenso nos utilizadores que nunca contactaram com RA anatómica — precisamente o público-alvo prioritário —, atenuando-se nos utilizadores experientes pela familiaridade com o paradigma. Duas tendências próximas da significância (intenção de uso futuro, $p=0,057$; Cativação 1, $p=0,069$), ambas favoráveis ao Grupo N, são consistentes com esta interpretação.

5.8. Análise de Correlações — Rô de Spearman

Calculou-se a matriz de correlações de Spearman para a totalidade das variáveis métricas ($N=20$). Dado o carácter exploratório destas análises e o poder estatístico moderado associado à dimensão amostral (cf. secção 4.1.1), os

resultados são interpretados como indicativos de tendências e geradores de hipóteses. A Tabela 5.8 sintetiza as associações clinicamente mais relevantes.

5.8.1. Estrutura Interna do NASA-TLX

Par de Variáveis	r_s	p	Interpretação
Esforço ↔ Frustração	0,645	0,002	Forte positiva: o esforço como variável mediadora central da carga
Frustração ↔ Inconsistência (SUS)	0,643	0,002	Forte positiva: as falhas do sistema geram frustração
Confiança (SUS, item 9) ↔ Exigência Mental	-0,459	0,042	Negativa: maior confiança operacional reduz a carga mental (validade convergente SUS/NASA-TLX)
Esforço ↔ Desafio reflexivo (VisEngage)	0,521	0,019	Moderada: a estimulação reflexiva associou-se a maior esforço, padrão típico dos utilizadores menos experientes
Cluster Interesse / Novidade / Autotelismo	0,80–0,98	<0,001	Coesão interna muito elevada: dimensão latente de «Valor Pedagógico Percebido»
Cativação ↔ Descoberta	0,60–0,63	<0,005	A absorção imersiva potencia a percepção de aprendizagem nova (<i>embodied learning</i>)

Tabela 5.8 — Síntese das Correlações de Spearman Clinicamente Relevantes (N=20; $\alpha=0,05$)

Nota: r_s representa o coeficiente de correlação de Spearman. Nível de significância $\alpha=0,05$

A estrutura correlacional confirma a coerência interna dos instrumentos e a sua validade convergente. No NASA-TLX, o Esforço atua como variável mediadora central, associando-se à Frustração ($r_s=0,645$; $p=0,002$), enquanto a correlação negativa entre a Confiança operacional (SUS) e a Exigência Mental ($r_s=-0,459$; $p=0,042$) articula diretamente os dois instrumentos: utilizadores mais confiantes reportaram menor carga cognitiva. No VisEngage, as inter-correlações muito elevadas entre Interesse, Novidade e Autotelismo ($r_s=0,80-0,98$) sugerem uma dimensão latente de «Valor Pedagógico Percebido», ao passo que a associação entre Cativação e Descoberta ($r_s \approx 0,60-0,63$; $p<0,005$) é consistente com o

mecanismo de embodied learning (Zhang et al., 2025): os participantes com maior absorção imersiva foram os que mais reportaram ter aprendido algo novo.

5.9. Síntese Integradora dos Resultados e Verificação das Hipóteses de Investigação

A análise dos dados permite a verificação sistemática das três hipóteses formuladas no Capítulo I.

Hipótese	Enunciado	Evidência Principal	Estado
H_1	A RA aumenta a confiança na identificação topográfica e é percebida como facilitador face aos métodos estáticos.	90% confirmou aumento da percepção de risco; Confiança (item 9 SUS) $M=4,65$ (Mediana=5); correlação negativa confiança-carga mental ($r_s = -0,459$; $p=0,042$).	Confirmada
H_2	Carga de trabalho mental adequada para o ensino, sem sobrecarga cognitiva (<i>Cognitive Offloading</i>).	Mediana NASA-TLX = 1,00 em 5/6 dimensões; Frustração $M=1,30$; ausência de diferenças entre grupos com/sem experiência em RA (todos $p>0,05$).	Confirmada
H_3	A usabilidade BYOD favorece a adoção imediata, independentemente da experiência tecnológica prévia.	SUS = 87,1 (Grau A/Excelente); ausência de diferenças de usabilidade entre grupos (todos $p>0,05$); utilizadores sem experiência com confiança operatória elevada ($M=4,65$).	Confirmada

Tabela 5.9 — Verificação das Hipóteses de Investigação

As três hipóteses são confirmadas. A H1 obtém suporte nos indicadores de confiança do SUS e na análise qualitativa da percepção de risco. A H2 é confirmada de forma especialmente robusta pela análise de Mann-Whitney, que demonstra que a baixa carga cognitiva é independente da experiência prévia, conferindo universalidade ao resultado. A H3 é validada pela pontuação SUS de

Grau A e pela invariância da usabilidade entre grupos. Para além das hipóteses pré-especificadas, emergiu um resultado não antecipado: os participantes sem experiência prévia em RA registaram níveis de «Descoberta» significativamente superiores, sugerindo que o impacto formativo da ferramenta poderá ser inversamente proporcional à familiaridade tecnológica — o que a posiciona como particularmente adequada ao ensino pré-graduado e de introdução ao tema.

VI. DISCUSSÃO

A validação das três hipóteses de investigação, documentada no Capítulo V, constitui o ponto de partida — e não a conclusão — da análise que se segue. O presente capítulo não reitera os indicadores quantitativos já apresentados: coloca-os em diálogo crítico com o estado da arte revisado no Capítulo II, com o objetivo de avaliar em que medida a IMPLANTARTERY confirma, refina ou desafia os quadros teóricos estabelecidos na literatura sobre Realidade Aumentada, carga cognitiva e ensino anatómico cirúrgico. Quatro dimensões analíticas organizam esta discussão: (1) a relação entre *cognitive offloading* e *embodied learning* como mecanismos mediadores da eficácia pedagógica; (2) a tensão entre acessibilidade tecnológica e legitimidade simbólica no contexto clínico; (3) as implicações do padrão diferencial de «Descoberta» para a estratégia de implementação curricular; e (4) as fronteiras operacionais da ferramenta face ao padrão de ouro vigente em implantologia.

6.1. Otimização da Carga Cognitiva e o Fenómeno de "Embodied Learning"

A análise da carga de trabalho através do índice NASA-TLX revelou um padrão de exigência mental globalmente reduzido. Este resultado não é trivial: significa que a ferramenta cumpre o requisito fundamental de *Cognitive Offloading* (Sweller, 1988), ou seja, transfere parte do esforço de reconstrução mental para o ambiente externo, libertando recursos cognitivos para a tarefa clínica em si.

Para compreender o significado deste achado, é necessário contextualizá-lo face ao processo cognitivo exigido pelo método convencional. O planeamento implantológico baseado em CBCT impõe ao clínico a tarefa de integrar múltiplos cortes seccionais bidimensionais numa representação mental tridimensional coerente — processo que depende fortemente das capacidades individuais de rotação mental, frequentemente avaliadas através do *Mental Rotation Test* (MRT) (Peters et al., 1995). A literatura demonstra que a proficiência neste domínio varia significativamente entre indivíduos e que as dificuldades na perceção espacial dinâmica constituem um fator de risco subestimado para erros cirúrgicos (La Monaca et al., 2023).

A IMPLANTARTERY elimina esta barreira ao externalizar a representação tridimensional: em vez de o clínico construir mentalmente a relação entre a

artéria sublingual e a cortical lingual a partir de um corte axial de CBCT, a ferramenta projeta essa relação diretamente sobre o volume facial do utilizador. Este mecanismo corresponde ao que Zhang et al. (2025) designam por *embodied learning* — uma forma de aprendizagem na qual a informação se torna significativa porque está integrada no contexto corporal e espacial real. A investigação em neurociências cognitivas sugere que esta modalidade de aprendizagem promove uma codificação mnésica mais duradoura, uma vez que ativa simultaneamente os sistemas de processamento visual, espacial e proprioceptivo (Wilson, 2002).

Os utilizadores com desempenho percecionado máximo reportaram também os níveis mais baixos de frustração. Esta correlação negativa entre sucesso e frustração é consistente com o estado de flow (Csikszentmihalyi, 1990) — envolvimento ótimo associado a aprendizagem mais eficaz —, embora não tenha sido medido diretamente: a inferência assenta na combinação de baixa carga cognitiva (NASA-TLX), elevado autotelismo (VisEngage, $M=5,83$) e ausência de frustração ($M=1,30$), padrão que a literatura identifica como proxy comportamental do flow (Cowley et al., 2008). Este dado reforça a adequação da IMPLANTARTERY como ferramenta de ensino, onde o equilíbrio entre desafio e competência é fundamental para a motivação do estudante.

Em contraste com estudos que implementaram ferramentas de RA em *Head-Mounted Displays* (HMD), como o HoloLens (Moro et al., 2021), a presente abordagem móvel demonstra uma vantagem ergonómica clara: a ausência de *cybersickness* de fadiga visual prolongada, frequentemente reportadas em sistemas imersivos de campo visual completo (Zafar & Zachar, 2020). Esta vantagem não é meramente técnica — tem implicações diretas para a sustentabilidade do uso pedagógico, uma vez que uma ferramenta que não gera desconforto tem uma probabilidade muito superior de ser utilizada de forma consistente e autónoma.

6.2. Usabilidade e o Paradigma BYOD no Ensino Médico-Dentário

A pontuação de 87,1 na escala SUS, classificada no Grau A segundo os *benchmarks* de Bangor et al. (2008), é um resultado que merece ser interpretado com precisão analítica e não apenas como um indicador de satisfação. Comparativamente, o simulador de realidade virtual para medicina dentária

validado por Rodrigues et al. (2022) obteve uma pontuação SUS de 77,5 — já considerada «boa» pela literatura. A IMPLANTARTERY supera este valor em aproximadamente dez pontos — uma diferença que, embora não possa ser formalmente testada por se tratar de estudos com amostras e contextos distintos, é clinicamente relevante à luz dos *benchmarks* de Bangor et al. (2008): corresponde à transição de uma classificação «Boa» (≥ 71) para «Excelente» ($\geq 80,3$), representando uma melhoria qualitativa de categoria e não apenas uma diferença de grau. Sugere que a curva de aprendizagem intrínseca ao Snapchat — uma plataforma já dominada pela maioria dos utilizadores — confere uma vantagem de usabilidade que sistemas de software dedicado dificilmente replicam.

Este resultado adquire maior peso quando se considera que 60% da amostra nunca havia interagido com ferramentas de RA em contexto profissional ou pedagógico. Numa ferramenta médica convencional, a ausência de experiência prévia estaria tipicamente associada a pontuações de usabilidade mais baixas e a uma curva de aprendizagem mais acentuada. O facto de utilizadores sem qualquer contacto anterior com RA terem reportado aprendizagem imediata e elevada confiança operacional valida o princípio de *Frictionless Learning* descrito por Pascoe (2021): a familiaridade com a interface do Snapchat age como um substrato cognitivo pré-existente que o utilizador transfere automaticamente para a nova ferramenta pedagógica, eliminando a resistência tecnológica inicial.

Do ponto de vista da democratização do acesso ao conhecimento, o modelo BYOD (Bring Your Own Device) tem implicações que transcendem a mera comodidade. Enquanto ferramentas baseadas em HMD requerem investimentos institucionais elevados, manutenção técnica especializada e espaços físicos adaptados, a IMPLANTARTERY funciona em qualquer smartphone contemporâneo, sem instalação de software adicional, e pode ser acedida via *Snapcode* em segundos. Esta acessibilidade aproxima o conceito de *Just-in-Time Learning* (Lin et al., 2024) de uma realidade operacional concreta: o estudante pode rever a topografia da artéria sublingual imediatamente antes de entrar no bloco operatório, utilizando o seu próprio dispositivo pessoal.

6.2.1. O «Paradoxo Snapchat»: Acessibilidade versus Credibilidade Clínica

A emergência do «Paradoxo Snapchat» constitui, do ponto de vista científico, um dos achados mais originais e clinicamente relevantes desta investigação. Esta tensão — entre a eficácia pedagógica inegável da plataforma e a percepção de menor credibilidade profissional quando utilizada em contexto clínico direto — não havia sido sistematicamente documentada na literatura de RA aplicada à medicina dentária.

Participantes como P10 e P12 expressaram preocupação com o facto de a abertura do Snapchat na presença de um paciente poder ser interpretada como uma conduta pouco profissional ou até, nas suas palavras, «assustar» o paciente. Esta percepção reflete um fenómeno sociológico bem documentado na adoção tecnológica em medicina: a legitimidade de um instrumento clínico não é determinada apenas pela sua eficácia técnica, mas também pela sua conformidade com o quadro simbólico e identitário da profissão médica (Joda et al., 2019). Um bisturi de titânio e uma aplicação de rede social operam em registos simbólicos profundamente diferentes, independentemente das suas capacidades funcionais.

É importante, contudo, contextualizar esta tensão numa perspetiva evolutiva. O estetoscópio, hoje símbolo universal da medicina, foi inicialmente ridicularizado pelos seus contemporâneos como um instrumento pouco digno do contacto direto entre médico e paciente (Reiser, 1978). A resistência à adoção de novas ferramentas tecnológicas em medicina tende a diminuir à medida que estas demonstram valor clínico consistente e se integram progressivamente no imaginário da prática profissional. Neste sentido, o «Paradoxo Snapchat» pode ser interpretado não como uma limitação estrutural da ferramenta, mas como um estágio transitório na sua trajetória de legitimação clínica.

Do ponto de vista prático, este paradoxo define de forma clara o âmbito de utilização atual da IMPLANTARTERY: a ferramenta é otimizada para o ambiente pedagógico e de formação — onde a interface social da plataforma é irrelevante — e para a revisão anatómica pré-cirúrgica *fora* da presença do paciente, funcionando como um «safety checklist» de rememoração. A exposição direta ao paciente, enquanto a interface atual permanecer associada ao Snapchat, deve ser evitada ou adequadamente contextualizada.

6.2.2. Validade Qualitativa da Amostra: O Valor do "Expert Feedback"

Embora a amostra de 20 participantes possa ser considerada limitada para uma análise estatística de larga escala, é imperativo sublinhar o seu elevado valor qualitativo para uma prova de conceito em implantologia. Ao contrário alunos dos primeiros anos do MIMD que possuem uma visão puramente teórica da anatomia, 100% da amostra deste estudo é constituída por médicos dentistas em formação pós-graduada.

Esta distinção é crucial, pois estes utilizadores operam sob uma perspetiva de experiência clínica real e consciência direta dos riscos cirúrgicos — distinta da visão exclusivamente teórica que caracteriza os estudantes de licenciatura. O *feedback* obtido não reflete apenas curiosidade tecnológica, mas uma validação técnico-profissional da utilidade da ferramenta no contexto real da cirurgia. Conforme sugerido pela elevada pontuação na escala SUS e no VisEngage, o facto de clínicos em formação especializada — com exposição direta a casos de implantologia — considerarem a IMPLANTARTERY um auxiliar valioso para a segurança vascular confere à ferramenta uma legitimidade clínica que transcende o mero interesse pedagógico inicial.

6.3. Sensibilização para a Fatalidade e Segurança Vascular

O aumento imediato da perceção subjetiva do risco cirúrgico, reportado por 90% dos participantes, é provavelmente o resultado de maior valor clínico desta investigação. Trata-se, contudo, de uma medida auto-reportada — reflete a consciência declarada imediatamente após a interação, e não uma modificação comportamental objetivamente verificada em contexto cirúrgico; a sua tradução em comportamento preventivo concreto constitui uma hipótese que apenas ensaios longitudinais com follow-up clínico poderão confirmar. Com esta ressalva, a magnitude do efeito permanece clinicamente relevante: nenhum participante reportou ausência de impacto.

A artéria sublingual, responsável por alguns dos acidentes vasculares mais graves descritos na literatura, é conhecida teoricamente desde a licenciatura; essa familiaridade, porém, não se traduz necessariamente em consciência espacial operatória. Rosano et al. (2009) documentaram contacto direto com a

cortical lingual em 26,6% dos espécimes e proximidade clinicamente significativa em cerca de 66,6%, enquanto Vyas & Tadinada (2023) verificaram, por CBCT, que em 41,8% dos casos a artéria se encontrava a menos de 2 mm da placa cortical. É precisamente esta discrepância entre conhecimento declarativo e consciência espacial operatória que a IMPLANTARTERY se propõe a reduzir.

A projeção in situ da artéria sobre a mandíbula do próprio utilizador parece produzir um efeito que os métodos estáticos não replicam — uma resposta de alerta imediato, consistente com a literatura de threat-based learning, segundo a qual a informação percebida como pessoalmente relevante e espacialmente próxima é codificada com maior intensidade e retida durante mais tempo (Öhman & Mineka, 2001; Tyng et al., 2017). O mecanismo é análogo ao das checklists cirúrgicas da OMS (Haynes et al., 2009): não transmite informação nova, mas materializa o risco de forma a ativar mecanismos de atenção seletiva que o estudo teórico isolado não garante.

6.4. Nível de Maturidade Profissional e Valor Pedagógico Diferenciado

A análise qualitativa revelou uma diferenciação no impacto da ferramenta em função da experiência clínica dos utilizadores. Os participantes com menor experiência cirúrgica demonstraram um envolvimento exploratório mais elevado, com scores de «Cativação» e «Autotelismo» no VisEngage consistentemente superiores. Em contrapartida, os participantes P19 e P20 — que referiram dominar já a anatomia cirúrgica mandibular — classificaram a ferramenta primariamente como um instrumento de revisão e rememoração rápida, e não como um veículo de aprendizagem nova.

Esta segmentação do impacto pedagógico em função da expertise é clinicamente relevante e tem implicações diretas para a estratégia de implementação curricular. Permite identificar dois perfis de utilização distintos e complementares:

Para estudantes de Mestrado Integrado em Medicina Dentária (MIMD), a IMPLANTARTERY funciona como uma ferramenta de aprendizagem espacial primária, colmatando o gap entre a representação bidimensional dos atlas e a realidade tridimensional do campo cirúrgico. Neste contexto, a ferramenta pode ser integrada precocemente no currículo, paralelamente ao estudo anatómico

teórico, potenciando a construção de esquemas espaciais mais sólidos antes da exposição clínica real.

Para médicos dentistas em formação pós-graduada em implantologia, a aplicação assume o papel de um «Safety Checklist» de rememoração pré-cirúrgica, funcionando como um suporte visual de revisão anatômica imediatamente antes da intervenção. Este modelo de uso é análogo ao princípio do *Just-in-Time Learning* descrito por Lin et al. (2024), no qual o conhecimento é disponibilizado no momento exato da necessidade operatória, reduzindo a latência entre a recuperação mnésica e a aplicação prática.

A identificação destas duas trajetórias de utilização sugere que a estratégia de implementação da ferramenta deve ser diferenciada: enquanto a integração curricular no MIMD justifica uma abordagem longitudinal e progressiva, a adoção em programas de pós-graduação pode ser imediata, enquadrada como um recurso complementar ao planejamento por CBCT.

6.5. Implicações Clínicas e Segurança do Paciente

A análise conjunta dos resultados quantitativos e qualitativos permite fundamentar uma afirmação com relevância clínica direta: a visualização por Realidade Aumentada móvel tem o potencial de reduzir a incidência de complicações vasculares iatrogênicas em implantologia, não através da substituição do CBCT ou de qualquer outro método de diagnóstico, mas através do reforço da consciência preventiva do operador.

Este papel complementar é clinicamente distinto e não deve ser subestimado. A literatura documenta que a maioria das complicações vasculares graves em implantologia não resulta de ignorância anatômica, mas de uma falha na transferência do conhecimento para o contexto operatório — aquilo que Reason (1990) designou por «erro latente»: uma lacuna nos sistemas de suporte à decisão que permanece invisível até ao momento em que um acidente a torna manifesta. A IMPLANTARTERY atua precisamente neste interstício crítico, reativando o conhecimento anatômico no momento e no contexto em que ele mais importa.

É, contudo, imperativo delimitar com rigor as fronteiras desta ferramenta. Os trajetos vasculares representados baseiam-se em padrões anatômicos

populacionais e foram validados com recurso à literatura clínica de referência (Gaudy, 2007; Rosano et al., 2009; Flanagan, 2003). Não refletem a variabilidade anatómica individual do paciente específico, que apenas o CBCT pode revelar. Utilizada como substituto do planeamento imagiológico individualizado, a ferramenta poderia, paradoxalmente, gerar uma falsa sensação de segurança. Utilizada como complemento pedagógico e de rememoração, constitui um avanço genuíno na arquitetura de segurança do processo formativo em implantologia.

6.6. Limitações Do Estudo

A validade científica desta investigação exige o reconhecimento transparente das suas limitações, que enquadram criticamente a interpretação dos resultados e orientam a agenda de desenvolvimento futuro. A limitação mais estruturalmente relevante é a padronização anatómica do modelo: a utilização de uma malha digital genérica, derivada da coleção Z-Anatomy, implica que os trajetos vasculares representados correspondem a padrões populacionais médios e não à anatomia individual de cada paciente. Num contexto em que a variabilidade dos canais linguais e da posição da artéria sublingual é clinicamente significativa — com prevalências documentadas entre 50% e 90% da população (Von Arx et al., 2011a, 2011b) —, esta limitação delimita o âmbito atual da ferramenta ao domínio pedagógico e de sensibilização, e não ao planeamento cirúrgico individualizado; a sua superação constitui, simultaneamente, o principal vetor de evolução, através da futura integração de dados DICOM individuais que permitiria gerar modelos personalizados. Em segundo lugar, as restrições técnicas da plataforma Snapchat condicionaram o resultado: o limite de 8 MB impôs uma decimação agressiva das malhas tridimensionais, com perda de detalhes anatómicos finos, e inviabilizou a funcionalidade de zoom dinâmico — apontada como a barreira visual mais crítica por múltiplos participantes (P11, P12, P15 e P19) e, por isso, a prioridade número um para iterações futuras; a presença das estruturas ósseas posteriores dificultou ainda a visualização clara das artérias linguais em determinados ângulos. A estas acresce o «Paradoxo Snapchat» (discutido na secção 6.2.1), uma limitação de natureza simbólica: a associação da plataforma a um contexto de rede social pode comprometer a perceção de credibilidade profissional da ferramenta perante pacientes,

independentemente da sua eficácia demonstrada. Por fim, a dimensão da amostra (N=20), embora adequada para uma prova de conceito segundo as diretrizes de Nielsen (1994) e Bangor et al. (2008), limita a generalização estatística dos resultados, e a ausência de um grupo de controlo formal impede a quantificação objetiva do ganho pedagógico face aos métodos tradicionais — lacunas que deverão ser colmatadas em estudos futuros com amostras mais alargadas (incluindo estudantes de licenciatura e cirurgiões de experiência variável) e através de ensaios controlados e aleatorizados que comparem a IMPLANTARTERY com o estudo em atlas bidimensionais e em reconstruções de CBCT.

VII. CONCLUSÕES

O presente trabalho culminou no desenvolvimento e na validação de prova de conceito da ferramenta IMPLANTARTERY, uma aplicação de Realidade Aumentada (RA) móvel orientada para a segurança vascular em implantologia. Os resultados obtidos permitem formular conclusões que transcendem os indicadores quantitativos de usabilidade, posicionando esta investigação no cruzamento entre a inovação tecnológica, a pedagogia médica e a segurança cirúrgica.

7.1. Viabilidade Técnica e Inovação mAR

O fluxo de trabalho entre o Blender 4.2 e a plataforma Snapchat Lens Studio revelou-se tecnicamente viável e reproduzível para a criação de modelos vasculares otimizados para dispositivos móveis. A principal contribuição técnica reside na demonstração de que é possível desenvolver uma visualização anatómica clinicamente fidedigna dentro das restrições severas da RA móvel — nomeadamente o limite de 8 MB — sem comprometer a integridade topográfica das estruturas mapeadas. O sistema de face tracking baseado em deep learning, a Face Mesh paramétrica e o motor de oclusão (Z-Buffer) garantiram uma projeção in situ fluida e independente do hardware, vantagem de democratização que as plataformas baseadas em dispositivos dedicados não oferecem a custo equivalente.

Conforme sistematizado na Tabela 5.9, as três hipóteses foram integralmente confirmadas: a visualização in situ produziu alerta clínico imediato em 90% dos utilizadores (H1); a carga mental manteve-se reduzida e independente da experiência tecnológica prévia (H2; todas as dimensões com $p > 0,05$ no Teste U de Mann-Whitney); e a usabilidade de Grau A (SUS = 87,1) validou o modelo BYOD para adoção imediata (H3). O contributo central reside, assim, na demonstração de que uma ferramenta de RA móvel acessível e de baixo custo pode reforçar a consciência do risco vascular sem impor sobrecarga cognitiva nem exigir literacia tecnológica especializada.

7.2. Eficácia Pedagógica e Usabilidade

A confirmação da hipótese H2 e H3 permite extrair uma conclusão pedagógica de fundo: a eficácia de uma ferramenta de ensino não depende exclusivamente da sofisticação tecnológica, mas da sua capacidade de reduzir a resistência

cognitiva à aprendizagem. A IMPLANTARTERY demonstrou que uma ferramenta de RA acessível, desenvolvida numa plataforma amplamente conhecida, pode atingir níveis de usabilidade superiores aos de simuladores de medicina dentária desenvolvidos em software dedicado — como evidenciado pela comparação com os valores reportados por Rodrigues et al. (2022) no contexto de simuladores hápticos.

Particularmente significativo é o facto de a elevada usabilidade ter sido reportada por utilizadores sem qualquer experiência prévia em RA pedagógica. Esta realidade valida o princípio de *Frictionless Learning* (Pascoe, 2021) e sugere que a familiaridade prévia com a interface do Snapchat funciona como um substrato cognitivo transferível, eliminando a resistência tecnológica inicial que tipicamente penaliza a adoção de novas ferramentas digitais em contexto clínico.

Do ponto de vista da democratização do acesso ao conhecimento anatómico, a abordagem BYOD (*Bring Your Own Device*) representa uma ruptura com o modelo tradicional de ferramentas de RA médica, que frequentemente depende de hardware institucional dispendioso e de espaços físicos adaptados. A IMPLANTARTERY demonstrou que o dispositivo pessoal do estudante pode ser um instrumento legítimo de formação clínica de elevada qualidade.

7.3. Sensibilização para a Fatalidade Vascular

O resultado de maior impacto clínico desta investigação é o aumento imediato da consciência do risco vascular reportado por 90% dos participantes. Ao projetar in situ, sobre o rosto do utilizador, estruturas cuja proximidade crítica à cortical lingual está amplamente documentada (Rosano et al., 2009; Vyas & Tadinada, 2023), a IMPLANTARTERY converte conhecimento declarativo em consciência espacial operatória — transferência que os métodos estáticos não garantem —, atuando como «safety checklist» anatómica de rememoração pré-cirúrgica, complemento e não substituto do padrão de ouro vigente.

7.4. Perspetivas Futuras

A presente prova de conceito estabelece uma plataforma de desenvolvimento com múltiplas trajetórias de evolução, organizadas em três eixos complementares.

Otimização e expansão anatômica. A prioridade imediata é a expansão do modelo ao sistema nervoso periférico — nomeadamente o nervo mentoniano e o feixe neurovascular alveolar inferior —, transformando a ferramenta numa plataforma de sensibilização neurovascular integrada da região interforaminal (Kwon et al., 2018). A implementação de simulação dinâmica da abertura bucal e de mecanismos de oclusão seletiva — permitindo remover virtualmente estruturas ósseas para desobstruir zonas vasculares — endereçaria diretamente as limitações de visualização reportadas pelos participantes (Joda et al., 2019; Monterubbianesi et al., 2022).

Integração tecnológica avançada. A importação de dados DICOM individuais constitui o vetor de maior impacto clínico potencial, permitindo gerar modelos personalizados e transformar a IMPLANTARTERY de recurso pedagógico genérico em apoio ao planeamento individualizado (Joda et al., 2019). A migração para dispositivos de Realidade Mista hands-free (Blanchard et al., 2022) e a integração de algoritmos de Inteligência Artificial para deteção de proximidade vascular, com alertas em tempo real, representariam o nível mais avançado desta trajetória — um sistema de segurança ativa intraoperatória (Monterubbianesi et al., 2022).

Resolução do «Paradoxo Snapchat». A maturação clínica exige a migração progressiva para uma interface autónoma (standalone) de grau médico, que preserve as vantagens funcionais atuais — acessibilidade, baixa carga cognitiva e modelo BYOD — adotando uma identidade institucional compatível com o ambiente clínico. O desenvolvimento de uma aplicação nativa sobre ARKit (Apple Inc., 2024) e ARCore (Google LLC, 2024) superaria simultaneamente o limite de 8 MB, a dissonância simbólica reportada por P10 e P12 e a ausência de personalização anatômica, ao viabilizar a integração com sistemas clínicos e ficheiros DICOM (Turhani et al., 2025). Recomenda-se uma transição faseada: consolidar a versão Snapchat como recurso pedagógico institucional; validar um protótipo standalone com interface clínica; e, na maturidade, integrá-lo nos ecossistemas de planeamento digital (DSD e implantologia guiada).

Vertente pedagógica e validação científica. A institucionalização curricular da ferramenta no ensino pré-clínico do MIMD é o passo pedagógico mais imediato, fomentando a consciência de risco vascular desde as fases iniciais da formação; a gamificação (flash-quizzes, cenários de identificação de risco) potenciaria o

envolvimento e a retenção em aprendizagem autónoma (Lin et al., 2024; Bjelovucic et al., 2025). A validação definitiva da eficácia exige, contudo, ensaios controlados e aleatorizados que comparem diretamente os ganhos de aprendizagem face aos métodos tradicionais (Bjelovucic et al., 2025).

Nota final.

O risco vascular em implantologia é anatomicamente frequente, clinicamente grave e cognitivamente difícil de internalizar pelos métodos de ensino tradicionais. Ao tornar o «risco invisível» numa realidade visual imediata e pessoalmente significativa, a IMPLANTARTERY representa, mais do que uma aplicação tecnológica, uma proposta pedagógica: a de que a segurança cirúrgica começa na consciência espacial, e que esta pode — e deve — ser cultivada de forma acessível, imersiva e complementar às ferramentas de diagnóstico existentes. A presente prova de conceito constitui o seu ponto de partida rigoroso e fundamentado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS (APA 7.^a Ed.)

- Adnan, S., & Xiao, J. (2023). A scoping review on the trends of digital anatomy education. *Clinical Anatomy*, 36(3), 471–491. <https://doi.org/10.1002/ca.23995>
- Al-Ani, O., Nambiar, P., Ha, K. O., & Ngeow, W. C. (2013). Safe zone for bone harvesting from the interforaminal region of the mandible. *Clinical oral implants research*, 24 Suppl A100, 115–121. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2011.02393.x>
- Al-Dajani, M. (2016). Incidence, risk factors, and complications of Schneiderian membrane perforation in sinus lift surgery: A meta-analysis. *Implant Dentistry*, 25(3), 409–415. <https://doi.org/10.1097/ID.0000000000000411>
- Albrektsson, T., Zarb, G., Worthington, P., & Eriksson, A. R. (1986). The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success. *International Journal of Oral and Maxillofacial Implants*, 1(1), 11–25.
- American Academy of Implant Dentistry. (2023). Dental implants facts and figures. AAID. https://www.aaid.com/about/Press_Room/Dental_Implants_FAQ.html
- Apple Inc. (2024). ARKit documentation. <https://developer.apple.com/documentation/arkit>
- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355–385. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
- Bangor, A., Kortum, P. T., & Miller, J. T. (2008). An Empirical Evaluation of the System Usability Scale. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 24(6), 574–594. <https://doi.org/10.1080/10447310802205776>
- Bardin, L. (2011). *Análise de conteúdo* (4^a ed.). Edições 70.
- Barrientos-Lezcano, F. J., Corchero-Martín, G., González-Núñez, A. B., & Soler-Presas, F. (2021). Life-threatening sublingual hematoma after mandibular implant placement: A case report. *Annals of Maxillofacial Surgery*, 11(1), 169–172. https://doi.org/10.4103/ams.ams_33_21
- Bartolomeu, A. F. R. (2024). O canal nasopalatino na implantologia oral. Dissertação de Mestrado. Orientadores: Gaspar, J. & Lima, L. Disponível

- em: <https://comum.rcaap.pt/entities/publication/ad46ae67-8e01-4d0a-90c6-207711eee25c>
- Bevizova, K., Falougy, H.E., Thurzo, A. et al. (2024). Is virtual reality enhancing dental anatomy education? A systematic review and meta-analysis. *BMC Med Educ* 24, 1395. <https://doi.org/10.1186/s12909-024-06233-0>
- Bjelovucic, R., Wolff, J., Nørholt, S. E., Pauwels, R., & Taneja, P. (2025). Effectiveness of mixed reality in oral surgery training: A systematic review. *Sensors*, 25(13), 3945. <https://doi.org/10.3390/s25133945>
- Blanchard, J., Koshal, S., & Morley, S. (2022). The use of mixed reality in dentistry. *British Dental Journal*, 233(4), 261–265. <https://doi.org/10.1038/s41415-022-4451-z>
- Blanchard, R., & Koshal, P. (2024). Augmented reality: A new perspective in dental education. *Faculty of Dental Journal*, 15(2), 102–109. <https://doi.org/10.1308/rcsfdj.2024.20>
- Blender Foundation. (2024). Blender 4.2 reference manual. Blender Foundation. <https://docs.blender.org/>
- Blum, T., Kleeberger, V., Bichlmeier, C., & Navab, N. (2012). Miracle: An augmented reality magic mirror system for anatomy education. In *Proceedings of the 2012 IEEE Virtual Reality Conference (VR)* (pp. 115–116). IEEE. <https://doi.org/10.1109/VR.2012.6180909>
- Böckers, A., Jerg-Bretzke, L., Lamp, C., Brinkmann, A., Traue, H. C., & Böckers, T. M. (2010). The gross anatomy course: an analysis of its importance. *Anatomical Sciences Education*, 3(1), 3–11. <https://doi.org/10.1002/ase.124>
- Bornstein, M. M., Horner, K., & Jacobs, R. (2016). Use of cone beam computed tomography in implant dentistry: current concepts, indications and limitations for clinical practice and research. *Periodontology 2000*, 73(1), 51–72. <https://doi.org/10.1111/prd.12161>
- Brånemark, P.-I., Hansson, B. O., Adell, R., Breine, U., Lindström, J., Hallén, O., & Ohman, A. (1977). Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw: Experience from a 10-year period. *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery. Supplementum*, 16, 1–132.

- Brånemark, P.-I. (1983). Osseointegration and its experimental background. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 50(3), 399–410. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(83\)80101-2](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(83)80101-2)
- Brooke, J. (1996). SUS: A quick and dirty usability scale. In P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester, & I. L. McClelland (Eds.), *Usability evaluation in industry* (pp. 189–194). Taylor & Francis.
- Burdea, G. C., & Coiffet, P. (2003). *Virtual Reality Technology* (2nd ed.). Wiley-IEEE Press.
- Cawood, J. I., & Howell, R. A. (1988). A classification of the edentulous jaws. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 17(4), 232–236. [https://doi.org/10.1016/s0901-5027\(88\)80047-x](https://doi.org/10.1016/s0901-5027(88)80047-x)
- Chen, C. K., Yuh, D. Y., Cheng, G. L., & Ni, C. W. (2011). Hemorrhaging associated the floor of the mouth with implant surgery in the anterior mandible. *Journal of the Taiwan Academy of Periodontology*, 16, 205–214.
- Chrcanovic, B. R., Albrektsson, T., & Wennerberg, A. (2017). Complications with dental implants: a systematic review. *Journal of Oral Rehabilitation*, 44(8), 632–649. <https://doi.org/10.1111/joor.12508>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
- Cowley, B., Charles, D., Black, M., & Hickey, R. (2008). Toward an understanding of flow in video games. *Computers in Entertainment*, 6(2), Article 20. <https://doi.org/10.1145/1371216.1371229>
- Csikszentmihalyi, M. (1990). *Flow: The psychology of optimal experience*. Harper & Row.
- Cutting, J. E., & Vishton, P. M. (1995). Perceiving layout and knowing distances. In W. Epstein & S. Rogers (Eds.), *Perception of Space and Motion* (pp. 69–117). Academic Press.
- Denoyelles, A., Brown, T., Seilhamer, R., & Chen, B. (2023). The evolving landscape of students' mobile learning practices in higher education. *EDUCAUSE Review*. <https://er.educause.edu/articles/2023/1/the-evolving-landscape-of-students-mobile-learning-practices-in-higher-education>

- Derks, J., & Tomasi, C. (2015). Peri-implant health and disease. A systematic review of current epidemiology. *Journal of Clinical Periodontology*, 42(S16), S158–S171. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12334>
- Drake, R. L., Vogl, A. W., & Mitchell, A. W. M. (2008). *Gray's Atlas de Anatomia* (1.^a ed.). Elsevier.
- Estai, M., & Bunt, S. (2016). Best teaching practices in anatomy education: A critical review. *Annals of Anatomy*, 208, 151–157. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2016.02.010>
- Federative International Programme on Anatomical Terminologies (FIPAT). (2019). *Terminologia Anatomica* (2nd ed.). Thieme.
- Field, A. (2018). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (5th ed.). SAGE Publications.
- Flanagan, D. (2003). Important arterial supply of the mandible, control of an arterial hemorrhage, and report of a hemorrhagic incident. *Journal of Oral Implantology*, 29(4), 165–173. [https://doi.org/10.1563/1548-1336\(2003\)029<0165:IASOTM>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1563/1548-1336(2003)029<0165:IASOTM>2.3.CO;2)
- Gahleitner, A., Hofschneider, U., Tepper, G., et al. (2001). Lingual vascular canals of the mandible: evaluation with dental CT. *Radiology*, 220, 186–189.
- García-Robles, P., Cortés-Pérez, I., Nieto-Escámez, F. A., García-López, H., Obrero-Gaitán, E., & Osuna-Pérez, M. C. (2024). Immersive virtual reality and augmented reality in anatomy education: A systematic review and meta-analysis. *Anatomical Sciences Education*, 17(3), 514–528. <https://doi.org/10.1002/ase.2397>
- Gaudy, J. F. (2007). *Anatomie clinique* (2.^a ed.). Elsevier Masson.
- Ghosh, S. K. (2017). Cadaveric dissection as an educational tool for anatomical sciences in the 21st century. *Anatomical Sciences Education*, 10(3), 286–299. <https://doi.org/10.1002/ase.1649>
- Google LLC. (2024). ARCore overview. <https://developers.google.com/ar>
- Greenstein, G., & Tarnow, D. (2006). The mental foramen and nerve: clinical and anatomical factors related to dental implant placement: a literature review. *Journal of periodontology*, 77(12), 1933–1943. <https://doi.org/10.1902/jop.2006.060197>

- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *Advances in Psychology*, 52, 139–183. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9)
- Haynes, A. B., et al., for the Safe Surgery Saves Lives Study Group. (2009). A surgical safety checklist to reduce morbidity and mortality in a global population. *New England Journal of Medicine*, 360(5), 491–499. <https://doi.org/10.1056/NEJMsa0810119>
- Hegarty, M., & Waller, D. (2004). A dissociation between mental rotation and perspective-taking spatial abilities. *Intelligence*, 32(2), 175–191. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2003.12.001>
- Hess, R. (2024). *The essential guide to Blender graphics: Computer modeling & animation* (8.^a ed.). CRC Press.
- Hofschneider, U. B., Tepper, G., Gahleitner, A., & Ulm, C. (1999). Assessment of the blood supply to the mental region for reduction of bleeding complications during implant surgery in the interforaminal region. *International Journal of Oral and Maxillofacial Implants*, 14(3), 379–383.
- Hung, Y.-H., & Parsons, P. (2017). Assessing user engagement in information visualization. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1708–1717). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3027063.3053113>
- Jacobs, R., Mraiwa, N., van Steenberghe, D., Gijbels, F., & Quirynen, M. (2002). Appearance, location, course and morphology of the mandibular incisive canal. *Dentomaxillofacial Radiology*, 31, 322–327.
- Joda, T., Gallucci, G. O., Wismeijer, D., & Zitzmann, N. U. (2019). Augmented and virtual reality in dental medicine: A systematic review. *Computers in Biology and Medicine*, 108, 93–100. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2019.03.012>
- Juodzbalsys, G., Wang, H. L., & Sabalys, G. (2011). Injury of the inferior alveolar nerve during implant placement: a literature review. *Journal of Oral and Maxillofacial Research*, 2(1), e1. <https://doi.org/10.5037/jomr.2011.2101>
- Kalpidis, C. D. R., & Setayesh, R. M. (2004). Hemorrhaging associated with endosseous implant placement in the anterior mandible: A review of the

- literature. *Journal of Periodontology*, 75(5), 631–645. <https://doi.org/10.1902/jop.2004.75.5.631>
- Katsumi, Y., Tanaka, R., Hayashi, T., Koga, T., Takagi, R., & Ohshima, H. (2013). Variation in arterial supply to the floor of the mouth and assessment of relative hemorrhage risk in implant surgery. *Clinical Oral Implants Research*, 24(4), 434–440. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2011.02348.x>
- Kugelmann, D., Stratmann, L., Nühlen, N., Bork, F., Hoffmann, S., Samarbarksh, G., & Waschke, J. (2018). An augmented reality magic mirror as additive teaching device for gross anatomy. *Annals of Anatomy*, 215, 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2017.09.011>
- Kwon, H.-B., Park, Y.-S., & Han, J.-S. (2018). Augmented reality in dentistry: A current perspective. *Acta Odontologica Scandinavica*, 76(7), 497–503. <https://doi.org/10.1080/00016357.2018.1441437>
- La Monaca, G., Pranno, N., Polimeni, A., Annibali, S., Di Carlo, S., Pompa, G., & Cristalli, M. P. (2023). Hemorrhagic complications in implant surgery: A scoping review on etiology, prevention, and management. *Journal of Oral Implantology*, 49(4), 414–427. <https://doi.org/10.1563/aaid-joi-D-22-00130>
- Laboda, G. (1990). Life-threatening hemorrhage after placement of an endosseous implant: report of case. *Journal of the American Dental Association*, 121(5), 599–600. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1990.0231>
- Lekholm, U., & Zarb, G. A. (1985). Patient selection and preparation. In P. I. Branemark, G. A. Zarb, & T. Albrektsson (Eds.), *Tissue-integrated prostheses: Osseointegration in clinical dentistry* (pp. 199–209). Quintessence Publishing.
- Lin, P. Y., Chen, T. C., Lin, C. J., Huang, C. C., Tsai, Y. H., Tsai, Y. L., & Wang, C. Y. (2024). The use of augmented reality (AR) and virtual reality (VR) in dental surgery education and practice: A narrative review. *Journal of Dental Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2024.10.011>
- Loukas, M., Kinsella, C. R., Kapos, T., Tubbs, R. S., & Ramachandra, S. (2008). Anatomical variation in arterial supply of the mandible with special regard to implant placement. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 37(4), 367–371. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2007.11.007>

- Lúcio, I. M., Raidou, R. G., Rodrigues, P., & Lopes, D. S. (2024). Your face, your anatomy: Flashcard lenses enriched with knowledge maps for anatomy education. In Proceedings of the 23rd IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR) (pp. 495–504). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISMAR62088.2024.00064>
- Mardinger, O., Abba, M., Hirshberg, A., & Schwartz-Arad, D. (2007). Prevalence, diameter and course of the maxillary intraosseous vascular canal with relation to sinus augmentation procedure: a radiographic study. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 36(8), 735–738. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2007.04.009>
- Mardinger, O., Chaushu, G., Garty, A., Dayagi, S., & Sandu, L. (2008a). Anatomic variations of the lingual vascular canals of the mandible. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 106(4), e13–e17. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2008.03.016>
- Mardinger, O., Namani-Sadan, N., Chaushu, G., & Schwartz-Arad, D. (2008b). Morphologic changes of the nasopalatine canal related to dental implantation: a radiologic study in different degrees of edentulism. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 66(11), 2353–2358. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2008.06.020>
- Martins, J. N. R., Worldwide Anatomy Research Group, & Versiani, M. A. (2023). Worldwide Prevalence of the Lingual Canal in Mandibular Incisors: A Multicenter Cross-sectional Study with Meta-analysis. *Journal of endodontics*, 49(7), 819–835. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2023.05.012>
- Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*, E77-D(12), 1321–1329.
- Monnet-Corti, V., Santini, A., Glise, J. M., Fouque-Deruelle, C., Donnio, A., Liebart, M. F., & Borghetti, A. (2006). Connective tissue graft for gingival recession treatment: assessment of the maximum graft dimensions at the palatal vault as a donor site. *Journal of Periodontology*, 77(5), 899–902. <https://doi.org/10.1902/jop.2006.050324>
- Monterubbianesi, R., Tosco, V., Vitiello, F., Orilisi, G., Fraccastoro, F., Putignano, A., & Orsini, G. (2022). Augmented, virtual and mixed reality in dentistry: A narrative review on the existing platforms and future challenges. *Applied Sciences*, 12(2), 877. <https://doi.org/10.3390/app12020877>

- Moraschini, V., Poubel, L. A. C., Ferreira, V. F., & Barboza, E. S. P. (2015). Evaluation of survival and success rates of dental implants reported in longitudinal studies with a follow-up period of at least 10 years: A systematic review. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 44(3), 377–388. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2014.10.023>
- Moro, C., Phelps, C., Redmond, P., & Stromberga, Z. (2021). HoloLens and mobile augmented reality in medical and health science education: A randomised controlled trial. *British Journal of Educational Technology*, 52(2), 680–694. <https://doi.org/10.1111/bjet.13049>
- Mortimore, S., & Wormald, P. J. (1997). The Groote Schuur hospital classification of the orbital complications of sinusitis. *Journal of Laryngology and Otology*, 111(8), 719–723. <https://doi.org/10.1017/s0022215100138380>
- Moy-Anegon, L., et al. (2023). Z-Anatomy: Free, open-source 3D atlas for human anatomy education [Software]. <https://www.z-anatomy.com>
- Mraiwa, N., Jacobs, R., Van Cleynenbreugel, J., Sanderink, G., Scroën, P., van Steenberghe, D., Suetens, P., & Quirynen, M. (2004). The nasopalatine canal revisited using 2D and 3D CT imaging. *Dentomaxillofacial Radiology*, 33(6), 396–402. <https://doi.org/10.1259/dmfr/14140281>
- Netter, F. H. (2022). *Atlas of Human Anatomy* (7th ed.). Elsevier.
- Nickenig, H. J., Eitner, S., Rothamel, D., Wichmann, M., & Zöller, J. E. (2012). Possibilities and limitations of implant placement by flapless surgery with simultaneous insertion of prefabricated temporary crowns (iTOP). *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 40(6), e172–e177.
- Nielsen, J. (1994). Estimating the number of subjects needed for a thinking aloud test. *International Journal of Human-Computer Studies*, 41(3), 385–397. <https://doi.org/10.1006/ijhc.1994.1023>
- Öhman, A., & Mineka, S. (2001). Fears, phobias, and preparedness: Toward an evolved module of fear and fear learning. *Psychological Review*, 108(3), 483–522. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.108.3.483>
- Parnia, F., Moslehifard, E., Hafezeqoran, A., Mahboub, F., & Mojaver-Kahnamoui, H. (2012). Characteristics of anatomical landmarks in the mandibular interforaminal region: a cone-beam computed tomography study. *Medicina oral, patologia oral y cirugía bucal*, 17(3), e420–e425. <https://doi.org/10.4317/medoral.17520>

- Pascoe, M. A. (2021). The effect of Snapchat on learner satisfaction and anatomical knowledge retention: Preliminary observations. *FASEB BioAdvances*, 3(11), 909–917. <https://doi.org/10.1096/fba.2021-00052>
- Peñarrocha, D., et al. (2014). Rehabilitation of severely atrophic maxillae with fixed implant-supported prostheses using nasopalatine implants. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 43(8), 992–997.
- Peters, M., Laeng, B., Latham, K., Jackson, M., Zaiyouna, R., & Richardson, C. (1995). A redrawn Vandenberg and Kuse mental rotations test: Different versions and factors that affect performance. *Brain and Cognition*, 28(3), 39–58. <https://doi.org/10.1006/brcg.1995.1032>
- Pollock, R. A., Huber, K. M., & Van Sickels, J. E. (2011). Degloving Injuries of the Oral Cavity Change the Operative Approach to Fractures of the Anterior Segment of the Mandible. *Craniomaxillofacial Trauma & Reconstruction*, 4(3), 137–143. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1286116>
- Preim, B., Meuschke, M., & Weiß, V. (2024). A survey of medical visualization through the lens of metaphors. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 30(10), 6639–6664. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2023.3330546>
- Puleio, F., Tosco, V., Pirri, R., Simeone, M., Monterubbianesi, R., Lo Giudice, G., & Lo Giudice, R. (2024). Augmented Reality in Dentistry: Enhancing Precision in Clinical Procedures-A Systematic Review. *Clinics and practice*, 14(6), 2267–2283. <https://doi.org/10.3390/clinpract14060178>
- Reason, J. (1990). Human error. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139062367>
- Reiser, S. J. (1978). *Medicine and the reign of technology*. Cambridge University Press.
- Reiser, G. M., Tucker, A., Holt, L. A., & Farida, M. A. (1996). Palatal anatomy for the harvesting of a subepithelial connective tissue graft. *Quintessence International*, 27(2), 91–98.
- Reznick, R. K., & MacRae, H. (2006). Teaching surgical skills — changes in the wind. *New England Journal of Medicine*, 355(25), 2664–2669. <https://doi.org/10.1056/NEJMr054785>
- Rodrigues, P., Esteves, A., Botelho, J., Machado, V., Zagalo, C., Zorzal, E. R., Mendes, J. J., & Lopes, D. S. (2022). Usability, acceptance, and

- educational usefulness study of a new haptic operative dentistry virtual reality simulator. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 221, 106831. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2022.106831>
- Romanos, G. E., Gupta, B., & Crespi, R. (2012). Endosseous arteries in the anterior mandible: literature review. *International Journal of Oral and Maxillofacial Implants*, 27, 90–94.
- Rosano, G., Taschieri, S., Gaudy, J. F., & Del Fabbro, M. (2009). Anatomic assessment of the anterior mandible and relative hemorrhage risk in implant dentistry: A cadaveric study. *Clinical Oral Implants Research*, 20(8), 791–795. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2009.01713.x>
- Russell, W. M. S., & Burch, R. L. (1959). *The Principles of Humane Experimental Technique*. Methuen.
- Seuntiens, P., Meesters, L., & IJsselsteijn, W. (2006). Perceptual attributes of crosstalk in 3D images. *Displays*, 27(5), 233–240. <https://doi.org/10.1016/j.displa.2006.09.001>
- Sfondrini, D., Marelli, S., Patriarca, R., Scribante, A., Preda, L., Savioli, G., & Bardazzi, A. (2024). Floor of the mouth hemorrhage following dental implant placement or guided bone regeneration (GBR) in the atrophic interforaminal mandible: Two case reports. *Case Reports in Dentistry*, 2024, Article 5576106. <https://doi.org/10.1155/crid/8413875>
- Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3/4), 591–611. <https://doi.org/10.2307/2333709>
- Snap Inc. (2024). *Lens Studio documentation*. <https://docs.snap.com/lens-studio/>
- Solar, P., Geyerhofer, U., Traxler, H., Windisch, A., Ulm, C., & Watzek, G. (1999). Blood supply to the maxillary sinus relevant to sinus floor elevation procedures. *Clinical Oral Implants Research*, 10(1), 34–44. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0501.1999.100105.x>
- Stojanovska, M., Tingle, G., Tan, L., Ulrey, L., Simonson-Shick, S., Mlakar, J., Eastman, H., Gotschall, R., Boscia, A., Enterline, R., Henninger, E., Herrmann, K. A., Simpson, S. W., Griswold, M. A., & Wish-Baratz, S. (2019). Mixed Reality Anatomy Using Microsoft HoloLens and Cadaveric Dissection: A Comparative Effectiveness Study. *Medical science educator*, 30(1), 173–178. <https://doi.org/10.1007/s40670-019-00834-x>

- Straumann Group. (2024). Annual report 2023. Institut Straumann AG.
<https://www.straumann.com/group/en/discover/investor-relations/reports.html>
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285.
https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4
- Tagaya, A., Matsuda, Y., Nakajima, K., Seki, K., & Okano, T. (2009). Assessment of the blood supply to the lingual surface of the mandible for reduction of bleeding during implant surgery. *Clinical Oral Implants Research*, 20(4), 351–355.
- Tepper, G., Hofschneider, U. B., Gahleitner, A., & Ulm, C. (2001). Computed tomographic diagnosis and localization of bone canals in the mandibular interforaminal region for prevention of iatrogenic bleeding complications during implant surgery. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 16(1), 68–72.
- Turhani, D., Grün, P., Pfaffeneder-Mantai, F., et al. (2025). Smartphone-based augmented reality application for dental implant placement: A technical innovation. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 83(12), 1519–1525.
<https://doi.org/10.1016/j.joms.2025.04.001>
- Tyndall, D. A., & Price, J. B. (2012). Positional relationships of the mandibular canal and lingual foramen to the apices of mandibular posterior teeth: a cone-beam computed tomography analysis. *Journal of Endodontics*, 38(5), 601–604. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.01.016>
- Tyng, C. M., Amin, H. U., Saad, M. N. M., & Malik, A. S. (2017). The influences of emotion on learning and memory. *Frontiers in Psychology*, 8, 1454.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01454>
- Van Breemen, T. M. (2025). Simplified Anatomy - Leveraging Augmented Reality and Social Media to Assist Anatomy Education [Master of Science Degree in Biomedical Engineering, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa].
- Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R. (1978). Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 47(2), 599–604. <https://doi.org/10.2466/pms.1978.47.2.599>

- Vávra, P., Roman, J., Zonča, P., Ihnát, P., Němec, M., Kumar, J., Habib, N., & El-Gendi, A. (2017). Recent development of augmented reality in surgery: a review. *Journal of Healthcare Engineering*, 2017, 4574172. <https://doi.org/10.1155/2017/4574172>
- Vesalius, A. (1543). *De humani corporis fabrica libri septem*. Ioannis Oporini.
- Von Arx, T., Lozanoff, S., & Bornstein, M. M. (2011a). The lingual foramina, canals and bony landmarks of the midline of the mandible: A systematic review. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 69(8), e321–e335. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2011.02.049>
- Von Arx, T., Matter, D., Buser, D., & Bornstein, M. M. (2011b). Prevalence, location, and dimensions of lingual foramina of the mandible: A cone-beam computed tomography study. *Journal of Periodontology*, 82(12), 1700–1711. <https://doi.org/10.1902/jop.2011.110037>
- Vyas, R., & Tadinada, A. (2023). A three-dimensional (3D) evaluation unveiling if the anterior mandible is truly a safe zone for implant placement. *Cureus*, 15(4), e38084. <https://doi.org/10.7759/cureus.38084>
- Ware, C. (2004). *Information visualization: Perception for design* (2nd ed.). Morgan Kaufmann/Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-1-55860-819-1.X5000-3>
- Wessel, J. R., & Tatakis, D. N. (2008). Patient outcomes following subepithelial connective tissue graft and free gingival graft procedures. *Journal of Periodontology*, 79(3), 425–430. <https://doi.org/10.1902/jop.2007.070325>
- Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(4), 625–636. <https://doi.org/10.3758/BF03196322>
- World Health Organization. (2011). *Patient Safety Curriculum Guide: Multi-professional Edition*. WHO Press. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241501958>
- Younis, R. T., Lazar, R. H., & Anand, V. K. (2002). Intracranial complications of sinusitis: a 15-year review of 39 cases. *Ear, Nose & Throat Journal*, 81(9), 636–644.
- Zafar, S., & Zachar, J. J. (2020). Evaluation of HoloHuman augmented reality application as a novel educational tool in dentistry. *European Journal of Dental Education*, 24(2), 259–265. <https://doi.org/10.1111/eje.12492>

- Zarb, G. A., & Albrektsson, T. (1990). Consensus report: Towards optimized treatment outcomes for dental implants. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 64(6), 729–730. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(90\)90203-V](https://doi.org/10.1016/0022-3913(90)90203-V)
- Zevin, B., Aggarwal, R., & Grantcharov, T. P. (2012). Surgical simulation in 2013. *World Journal of Surgery*, 36(7), 1440–1450. <https://doi.org/10.1007/s00268-012-1465-3>
- Zhang, R.-L., Yu, S., Gao, R.-F., Wang, L.-F., & He, X.-C. (2025). How does technology-based embodied learning affect learning effectiveness? A systematic literature review and meta-analytic approach. *Interactive Learning Environments*, 33(6), 4135–4158. <https://doi.org/10.1080/10494820.2025.2479176>

ANEXOS

ANEXO 1 - Carta de aprovação da Comissão de Ética



Caparica, 24 de fevereiro de 2026

Ex.mo Senhor / Ex.ma Senhora
Jean Lino Le Roux

Plataforma: PT-504/25

Processo Interno: 1703

Assunto: Emissão de parecer sobre o estudo intitulado “Uma aplicação Móvel de Realidade Aumentada para Mapeamento Arterial em Implantologia: Uma Ferramenta de Formação e Pedagógica”

Pela presente, informa-se que o projeto citado em epígrafe obteve parecer favorável da Comissão de Ética da Egas Moniz (CEEM), na reunião realizada em 20 de fevereiro de 2026.

A avaliação foi efetuada no âmbito das competências previstas nos Estatutos da Egas Moniz e no Regulamento Interno da CEEM, tendo sido apreciados os aspetos éticos, científicos e metodológicos relevantes para a proteção dos participantes.

A Comissão considerou que o estudo cumpre os princípios éticos aplicáveis à investigação envolvendo seres humanos, em conformidade com a Declaração de Helsínquia e demais orientações internacionais pertinentes, assegurando o respeito pela dignidade, autonomia, integridade e confidencialidade dos participantes.

O presente parecer é emitido nos termos das competências atribuídas à Comissão de Ética enquanto órgão independente de avaliação ética da investigação desenvolvida nesta instituição.

A CEEM conclui que o projeto reúne as condições éticas necessárias para a sua realização, nos termos apresentados.

A Presidente da Comissão de Ética da Egas Moniz


Prof. Doutora Filipa Vicente

Estiveram presentes na reunião os seguintes membros:

Profª. Doutora Ana Filipa Vicente, Profª. Doutora Ana Filipa Chasqueira, Prof. Doutor António Faria Vaz, Profª. Doutora Sónia Vicente, Profª. Doutora Cátia Caneiras, Profª. Doutora Dora Ladislau, Prof. Doutor Luciano Maia, Profª. Doutora Joana Costa, Profª. Doutora Maria João a Hilário, Profª. Doutora Ma do Rosário Dias

Os membros presentes na reunião declararam não existir qualquer conflito de interesse, real ou potencial, relativamente à apreciação e deliberação do presente projeto.

ANEXOS

ANEXO 2 - Modelo de Consentimento Informado (IMP-EM-PE-17)

EGAS MONIZ SCHOOL
of HEALTH & SCIENCE

Consentimento Informado

Código | IMP-EM-PE-17_03**Monte de Caparica, ____ de _____ de 2026**

Estudo: **IMPLANTARTERY** – Uma Aplicação Móvel de Realidade Aumentada para Mapeamento Arterial em Implantologia: Uma Ferramenta de Formação e Pedagógica (*A Mobile-Based Augmented Reality Application for Arterial Mapping in Dental Implantology: A Training and Educational Tool*)

Investigador Principal: Jean Le Roux**Docente Responsável:** Prof. Doutor Pedro Rodrigues**Instituição:** Egas Moniz School of Health and Science**Exmo.(a) Sr.(a),**

No âmbito do projeto de investigação conducente ao grau de Mestre, vimos por este meio solicitar a sua participação num estudo sobre a aplicação de tecnologias de Realidade Aumentada (RA) no ensino e planeamento em Implantologia.

Objetivo do Estudo:

O objetivo principal é avaliar a aceitação, usabilidade e utilidade clínica de uma nova ferramenta móvel (Lente Snapchat) com Realidade Aumentada (RA) desenhada para visualizar e identificar estruturas arteriais vitais em cirurgia para a colocação de implantes dentários (como por exemplo as artérias incisivas, submentoniana, sublingual, milo-hioideia, grande palatina, lingual e alveolar inferior) diretamente sobre a face do modelo. Pretendemos compreender se esta visualização com Realidade Aumentada 3D *in situ* pode auxiliar na perceção de riscos anatómicos vasculares a evitar durante a cirurgia para colocação de implantes dentários.

A sua participação consistirá em:

- Preenchimento de um questionário demográfico.



Consentimento Informado

Código | IMP-EM-PE-17_03

- Experimentação da Lente de RA num modelo ou colega (Tarefa de Visualização Arterial).
- Preenchimento de três questionários de avaliação: **NASA-TLX** (Carga de Trabalho), **SUS** (Usabilidade do Sistema) e **VisEngage** (Envolvimento do Utilizador).
- Participação numa breve sessão de recolha de feedback qualitativo (*debriefing*).

Duração Estimada:

20 a 25 minutos.

Todas as fases do estudo decorrerão nas instalações da Egas Moniz Cooperativa de Ensino Superior.

Condições de Participação e Ética:

- A participação neste estudo é voluntária, não tendo componente de avaliação académica.
- A sua não participação ou desistência não lhe trará qualquer prejuízo pessoal ou académico.
- A participação acarreta riscos mínimos. No entanto, a utilização de dispositivos de Realidade Aumentada pode causar uma ligeira fadiga ocular ou desorientação temporária. Caso sinta qualquer desconforto, poderá interromper a sessão de imediato sem prejuízo.
- A participação decorrerá sem prejuízo do seu horário lectivo e horas formativas.

Proteção de Dados, Pseudonimização e Armazenamento:

- A confidencialidade é garantida através de um processo de pseudonimização: o seu nome será substituído por um código alfanumérico. A lista que associa o seu nome ao código será mantida num ficheiro encriptado, acessível apenas aos investigadores.



EGAS MONIZ SCHOOL
of HEALTH & SCIENCE

Consentimento Informado

Código | IMP-EM-PE-17_03

- Os dados serão armazenados de forma segura no Google Workspace institucional da Egas Moniz, sob responsabilidade do Investigador Principal e do Orientador.
- O período de conservação dos dados será de 5 (cinco) anos, findo o qual serão eliminados definitivamente.
- O tratamento dos dados respeita integralmente o Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (RGPD).
- Este estudo foi aprovado pela Comissão de Ética da Egas Moniz School of Health and Science.

Consentimento (Riscar o que não interessa):

- Li e compreendi o propósito do estudo em questão. **Autorizo / NÃO Autorizo**
- Li e compreendi como será realizada a sessão. **Autorizo / NÃO Autorizo**
- Autorizo o uso da informação recolhida durante a sessão. **Autorizo / NÃO Autorizo**
- Compreendi que poderei ter acesso aos meus dados através do email: jeanlrx@hotmail.com. **Autorizo / NÃO Autorizo**
- Autorizo o processamento dos dados no âmbito deste projeto para fins de análise e disseminação em publicações científicas. **Autorizo / NÃO Autorizo**
- Compreendi que posso desistir a qualquer momento e os meus dados serão destruídos. **Autorizo / NÃO Autorizo**

ACEITO / NÃO ACEITO participar neste estudo, confirmando que fui esclarecido(a) sobre as condições do mesmo.



EGAS MONIZ SCHOOL
of HEALTH & SCIENCE

Consentimento Informado

Código | IMP-EM-PE-17_03

(Assinatura do Participante)

Monte de Caparica, ____ de _____ de 2026

Egas Moniz - Cooperativa de Ensino Superior, CRL
Campus Universitário - Quinta da Granja
2829-511 Monte da Caparica, Portugal
NIF 504 218 611

ANEXO 3 – Consentimento Informado – Declaração de autorização para recolha e utilização de imagens e gravações



EGAS MONIZ SCHOOL
of HEALTH & SCIENCE

Consentimento Informado - DECLARAÇÃO DE AUTORIZAÇÃO PARA RECOLHA E UTILIZAÇÃO DE IMAGENS E GRAVAÇÕES

Código | IMP-EM-PE-17_03

Título do Projeto: IMPLANTARTERY - Uma Aplicação Móvel de Realidade Aumentada para |
Mapeamento Arterial em Implantologia: Uma Ferramenta de Formação e Pedagógica

Investigador Principal: Jean Lino Le Roux (jeanlrx@hotmail.com) **Orientador Científico e
Docente Responsável:** Professor Doutor Pedro Rodrigues **Instituição:** Egas Moniz School of
Health & Science

No âmbito do projeto de investigação acima mencionado, solicita-se a sua autorização para
a recolha de registos audiovisuais durante a sessão de teste da ferramenta de Realidade
Aumentada.

Finalidade e Confidencialidade: Os registos obtidos destinam-se exclusivamente a fins de
comunicação académica, ilustração do fluxo de trabalho e apresentação dos resultados
durante a defesa da tese de mestrado. Estes dados serão conservados de forma segura e
confidencial, sob a custódia exclusiva do Investigador Principal e do Orientador Científico,
não sendo partilhados com terceiros ou utilizados para fins comerciais.

Autorização de Recolha (Por favor, assinale a sua opção para cada item):

1. Autorizo a recolha de informação em formato de **Imagens (fotografias)**.

☐ AUTORIZO ☐ NÃO AUTORIZO

2. Autorizo a recolha de informação em formato de **Vídeo**. ☐ AUTORIZO ☐ NÃO
AUTORIZO

3. Autorizo a recolha de informação em formato de **Gravação de Ecrã (Screen
Recording)** do dispositivo. ☐ AUTORIZO ☐ NÃO AUTORIZO



**Consentimento Informado - DECLARAÇÃO DE AUTORIZAÇÃO PARA
RECOLHA E UTILIZAÇÃO DE IMAGENS E GRAVAÇÕES**

Código | IMP-EM-PE-17_03

Declaração de Consentimento: Tomei conhecimento de que os meus dados audiovisuais serão tratados com o máximo rigor e segurança, sendo armazenados no Google ~~Workspace~~ institucional da Egas Moniz. Compreendo que a minha identidade será protegida sempre que possível e que poderei retirar esta autorização a qualquer momento, sem qualquer prejuízo, através de contacto direto com o Investigador Principal.

Monte de Caparica, ____ de ____ de 2026.

Assinatura do Participante: _____

ANEXO 4 - (Copyright Clearance Center – RightsLink®, Licença n.º 1740137-1 ELSEVIER GRAY'S ATLAS ANATOMY).

Manage Account

18/06/26 12:41



Order Number: 1740137
Order Date: 14 Jun 2026

Payment Information

Jean Le Roux
jeanlr@hotmail.com
Payment method: Invoice

Billing Address:
Mr. Jean Le Roux
X
4 rue des écoles
Vignoc
France

+33 602153096
jeanlr@hotmail.com

Customer Location:
Mr. Jean Le Roux
X
4 rue des écoles
Vignoc
France

Order Details

1. Gray's atlas of anatomy : and, Gray's anatomy for students package

Billing
Of

Order License ID	1740137-1	Type of Use	Republish in a thesis/dissertation
Order detail status	Completed	Publisher	ELSEVIER
ISBN-13	9780443067211	Portion	Image/photo/illustration
			0, Republishing Pe

LICENSED CONTENT

Publication Title	Gray's atlas of anatomy : and, Gray's anatomy for students package	Country	United States of America
Author / Editor	DRAKE, RICHARD	Rightsholder	Elsevier Science & Technology Jc
Date	01/01/2008	Publication Type	Book
Language	English		

REQUEST DETAILS

Portion Type	Image/photo/illustration	Distribution	Worldwide
Number of Images / Photos / Illustrations	6	Translation	Original language of publication
Format (select all that apply)	Print, Electronic	Copies for the Disabled?	No
Who Will Republish the Content?	Academic institution	Minor Editing Privileges?	No
Duration of Use	Life of current edition	Incidental Promotional Use?	No
Lifetime Unit Quantity	Up to 499	Currency	EUR
Rights Requested	Main product		

NEW WORK DETAILS

Title	IMPLANTARTERY - Uma aplicação Móvel de Realidade Aumentada para Mapeamento Arterial em Implantologia: Uma Ferramenta de Formação e Pedagógica	Institution Name	Egas Moniz School of Health & S
Instructor Name	Jean Lino Le Roux	Expected Presentation Date	2026-06-15

ADDITIONAL DETAILS

Order Reference Number	Gray's Anatomy Copyright 2008	The Requesting Person / Organization to Appear on the License	Jean Lino Le Roux, Egas Moniz S Health & Science
------------------------	-------------------------------	---	--

REQUESTED CONTENT DETAILS

Title, Description or Numeric Reference of the Portion(s)	Figures of Maxillary artery (infratemporal course, alveolar branches to teeth, greater palatine to palate, nasopalatine to septum) and Facial artery (submental branch and mylohyoid muscle relation).	Title of the Article / Chapter the Portion Is From	Head and Neck
Editor of Portion(s)	Richard L. Drake, A. Wayne Vogl, Adam W. M. Mitchell	Author of Portion(s)	DRAKE, RICHARD
Volume / Edition	1	Publication Date of Portion	2008-01-01
Page or Page Range of Portion	740-990		

Elsevier Science & Technology Journals Terms and Conditions

Elsevier publishes Open Access articles in both its Open Access journals and via its Open Access articles option in subscription journals, for which an author selects a use permitting certain types of reuse without permission. Before proceeding please check if the article is Open Access on <http://www.sciencedirect.com> and refer to the user for the individual article. Any reuse not included in the user license terms will require permission. You must always fully and appropriately credit the author and source. If part of the material to be used (for example, figures) has appeared in the Elsevier publication for which you are seeking permission, with credit or acknowledgement to a source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder. Please contact permissions@elsevier.com with any queries.