

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



Leonardo Frajhof

**PROPEDÊUTICA COM VISUALIZAÇÃO 3D: TECNOLOGIAS
PARA SUPORTE À TOMADA DE DECISÃO**

Tese de Doutorado

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Design do Departamento de Artes e Design da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Jorge Roberto Lopes dos Santos
Co-orientador: Prof. Mariano Pimentel

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2020



Leonardo Frajhof

**PROPEDÊUTICA COM VISUALIZAÇÃO 3D: TECNOLOGIAS
PARA SUPORTE À TOMADA DE DECISÃO**

Tese apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Doutor pelo Programa de
Pós-Graduação em Design da PUC-Rio. Aprovada
pela Comissão Examinadora abaixo.

Prof. Jorge Roberto Lopes dos Santos

Orientador

Departamento de Artes & Design — PUC-Rio

Prof. Mariano Pimentel

Co-orientador

Departamento de Informática Aplicada — Unirio

Claudio Freitas Magalhães

Departamento de Artes & Design — PUC-Rio

Alberto Barbosa Raposo

Departamento de Informática — PUC-Rio

Denise Filippo

ESDI — UERJ

José H. R. Suassuna

Academia Nacional de Medicina — UERJ

Rio de Janeiro, 12 de fevereiro de 2020

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Leonardo Frajhof

Formado em medicina pela Unirio, Professor Adjunto de Clínica Médica no Hospital Universitário Gaffrée e Guinle.

Ficha Catalográfica

Frajhof, Leonardo

Propedêutica com visualização 3D : tecnologias para suporte à tomada de decisão / Leonardo Frajhof ; orientador: Jorge Roberto Lopes dos Santos ; co-orientador: Mariano Pimentel. – 2020.

271 f. : il. color. ; 30 cm

Tese (doutorado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Artes e Design, 2020.

Inclui bibliografia

1. Artes e Design – Teses. 2. Realidade aumentada. 3. Realidade virtual. 4. Linguagem tomada de decisão clínica. 5. Tecnologias 3D. 6. Medicina. I. Santos, Jorge Roberto Lopes dos. II. Pimentel, Mariano. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Artes e Design. IV. Título.

CDD: 700

Agradecimentos

Família é algo especial para minha vida pessoal e foi importante durante todo o processo de produção desta tese. Cada qual de sua maneira me auxiliou nesta jornada: Chris minha musa inspiradora, que muito me apoiou, Isabella, companheira de PUC e caminhos montanhosos, Nicolas, junto e longe, mas sempre por perto e Chloe, minha menina que no fundo gosta dessas coisas do seu pai. Apesar de ausente, sempre presente na minha vida, a meu pai Nuchym, mais conhecido como Natan. E, sempre, minha mãe Margot. Sem essa galera, nada tem sentido.

Aos meus companheiros da PUC, Gerson, Daniel Radetic e Daniel 2.0.

Aos professores e orientadores Jorge Lopes e Mariano Pimentel por me aceitarem como aluno e enfrentarem os desafios, disponibilizando seu tempo para orientação.

Ao Professor Alberto Raposo pelo suporte no desenvolvimento do artefato e boas ideias.

E, Mister, Mister!

Resumo

Frajhof, Leonardo; Lopes dos Santos, Jorge Roberto (Orientador); Pimentel, Mariano (Co-orientador). **Propedêutica com visualização 3D: Tecnologias para suporte à tomada de decisão.** Rio de Janeiro, 2020. 271p. Tese de Doutorado - Departamento de Artes e Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O objetivo desta pesquisa é projetar serviços da propedêutica clínica considerando o uso da tecnologia de visualização tridimensional como linguagem e fonte de dados para apoiar o raciocínio das decisões clínicas. Visando projetar esse serviço, avaliamos o potencial de algumas tecnologias de visualização tridimensional que poderiam ser úteis para apoiar a propedêutica: visualização de modelos em ambientes virtuais (imersão em Realidade Virtual); projeção de modelos tridimensionais na realidade visualizados por smartphones (Realidade Aumentada); modelos impressos em 3D. Optamos por projetar um produto que seria o objeto de investigação aprofundada nesta pesquisa: um ambiente virtual para a visualização de casos clínicos reais por meio de óculos de realidade aumentada. Para realizar esta pesquisa um artefato para a visualização de casos clínicos reais por meio de Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA) foi projetado. O artefacto foi nomeado como ProVis3D e foi desenvolvido para que os médicos assistentes visualizassem, de forma tridimensional, imagens médicas em posição anatômica, mantendo as relações espaciais entre órgãos e vasos de forma fidedigna, para o que é proposto como precisão pelo método, e correspondendo a sua posição no mundo real, ou seja, como estas estão dispostas no interior do corpo humano. Além de poderem ser visualizadas, há possibilidade de interação com as imagens, simulando a percepção tátil, e de produzir sua movimentação: tocar em órgãos segmentados, vasos e vísceras, separar estas estruturas, aumentar seu tamanho e fazer a rotação do objeto em torno de seu eixo. Uma avaliação empírica foi realizada nesta pesquisa, na perspectiva epistemológica-metodológica projetiva Design Science Research (DSR), utilizando como metodologia projetando diferentes casos, com cinco unidades de análise (cada médico convidado para usar o artefato da pesquisa consiste em uma unidade de análise nesta pesquisa). A abordagem foi observacional e interpretativa, com a finalidade de compreender e refletir sobre o comportamento do médico, especialmente a sua tomada de decisão, quando utiliza

o artefato desenvolvido nesta pesquisa. Foram projetadas diferentes cenas para possibilitar a observação das experiências dos usuários do ProVis3D (médicos especialistas e não especialistas) ao visualizar imagens médicas em contextos anatômicos reais (reconstrução 3D a partir de exames de tomografia computadorizada e modelos 3D coloridos com todas as estruturas nas suas posições reais) e ao interagir com essas imagens por meio de Realidade Aumentada. A cena virtual consiste em uma imagem tridimensional dinâmica, que pode ser manipulada para apoiar um cirurgião no seu planejamento cirúrgico ou apoiar um radiologista a complementar seu laudo na estação de trabalho (workstation). Os médicos visualizam a cena inicialmente em RV e posteriormente em RA. Duas questões foram elaboradas para o estudo: 1) Será que o artefato realmente possibilita obter informação de valor para a tomada de decisão clínica?; 2) Será que essa tecnologia de visualização realmente cria uma linguagem que possibilita aos médicos produzirem novos conhecimentos? A partir desse estudo, foi demonstrado que artefato ProVis3D tem potencial para apoiar a decisão clínica e que a tecnologia interativa de visualização tridimensional, em Realidade Aumentada, cria uma linguagem, faz os médicos conversarem de um modo diferente, sobre coisas que não estão habituados, possibilitando aos médicos produzirem novos conhecimentos.

Palavras-chave

Realidade Aumentada — Realidade Virtual; Linguagem; Tomada de Decisão Clínica; Tecnologias 3D; Medicina.

Abstract

Frajhof, Leonardo; Lopes dos Santos, Jorge Roberto (Advisor); Pimentel, Mariano (Co-advisor). **3D Propedeutics visualization: technologies to support clinical decision-making**. Rio de Janeiro, 2020. 271p. Tese de Doutorado – Departamento de Artes e Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The objective of this research is to design a clinical propaedeutic services considering the use of three-dimensional visualization technology as a language and data source to support the reasoning of clinical decisions. In order to design this service, we evaluated the potential of some three-dimensional visualization technologies that could be useful to support the propaedeutics: visualization of models in virtual environments (immersion in Virtual Reality); projection of three-dimensional models in reality viewed by smartphones (Augmented Reality); 3D printed models. We opt to design a product that should be the object of further investigation in this research: a virtual environment for viewing real clinical cases through augmented reality glasses. In order to accomplish this research, an artifact for visualization of real clinical cases through Virtual Reality (VR) and Augmented Reality (AR) was designed. The artifact was named as ProVis3D and was designed for assisting physicians to view medical images in an anatomical position and three-dimensional manner, maintaining spatial relationships between organs and vessels reliably as corresponding to their position in the real world and arranged within the human body. Besides being able to be visualized, there is a possibility for interact with the images, simulating the tactile perception, and producing its movement: touching segmented organs, vessels and viscera, separating these structures, increasing their size and rotating the object around them. its axis. An empirical evaluation was performed in this research, in the projective epistemological-methodological perspective Design Science Research (DSR), designing different cases with five units of analysis (each physician invited to use the research artifact consists of one unit of analysis in this research). The approach was observational and interpretative, with the purpose of understanding and reflecting on the physician's behavior, especially his decision making, when using the artifact developed in this research. Different scenes have been designed in order to observe experiences on ProVis3D's users (medical specialists and non-specialists) when

viewing medical images in real anatomical contexts (3D reconstruction from CT scans and full-color 3D models with all structures in place) and interacting with these images through augmented reality. The virtual scene consists of a dynamic three-dimensional image that can be manipulated to support a surgeon on his surgical planning or support a radiologist to complement his workstation report. Doctors view the scene initially in RV and later in RA. Two questions were elaborated for the study: 1) Does the artifact really make it possible to obtain valuable information for clinical decision making? 2) Does this visualization technology really create a language that enables doctors to produce new knowledge? It has been demonstrated that ProVis3D artifact has the potential to support clinical decision making and that the augmented reality interactive three-dimensional visualization technology creates a language; it makes doctors talk differently about things they are not used to, enabling doctors to produce new knowledge.

Keywords

Augmented Reality - Virtual Reality; Language; Clinical Decision Making; 3D technologies.; Medicine.

Sumário

Introdução.....	17
1.1. Itinerância do pesquisador: sendo médico e professor, como vim parar em um doutorado em Design envolvendo computação?.....	17
1.2. Problema a ser mitigado: incerteza na tomada de decisão clínica.....	24
1.3. Questões de pesquisa e avaliação empírica	36
1.4. Abordagem epistemológico-metodológica: Design Science Research (DSR).....	36
1.5. Organização da escrita desta tese	38
2. Metodologia.....	39
2.1. Design e pesquisa científica	40
2.2. Design Science Research (DSR)	46
2.3. Estudo de Caso Interpretativo.....	55
2.4. Triangulação de dados: observação do uso e entrevista com os usuários.....	59
2.5. Interpretação dos dados: Análise do Discurso e técnica de codificação da Teoria Fundamentada em Dados	60
3. Tecnologias de visualização que foram disruptivas no campo da Medicina: criação de linguagens que provocaram mudanças da cultura médica	62
3.1. Período da medicina pré-visual, a medicina baseada em conhecimentos mágico-religiosos.....	62
3.2. Medicina Visual, a medicina baseada no olho nu: estabelecimento da anatomia humana pela dissecação	65
3.3. Medicina da Micro-Visão baseada na ótica: visão obtida a partir do microscópio, óptico, eletrônico e atômico.....	88
3.4. Medicina Além-da-visão baseada na Física: raios de partículas, ultrassom e campos magnéticos: o conhecimento da física para visualizar por dentro de forma não invasiva.....	101
3.5. Medicina Virtual baseada nos computadores: ver a realidade por meio de modelos gerados por computador.....	115
3.6. Tecnologias de visualização criam linguagem, que criam novos conhecimentos, que modificam a cultura médica.....	117
4. Tecnologias 3D e algumas potencialidades de aplicação nas práticas médicas	119
4.1. Impressão 3D: tocando um vaso, um coração e outros órgãos impressos	119

4.2. Realidade Aumentada e Realidade Misturada: um coração projetado na palma da mão.....	136
4.3. Realidade Virtual: imergindo num mundo de órgãos segmentados	154
4.4. Óculos para Realidade Aumentada: vendo e manipulando um coração projetado no peito	161
5. ProVis3D: PROpedêutica com VISualização tri(3)Dimensional.....	164
5.1. ProVis3D é um Sistema de Informação	166
5.2. Quais óculos de Realidade Aumentada usar?.....	172
5.3. Modelos virtuais tridimensionais de casos clínicos.....	176
5.4. Ambiente virtual para visualização e interação com os casos clínicos ..	177
5.5. Testes de verificação (do funcionamento) do ProVis3D.....	180
6. Avaliação empírica: análises e achados da pesquisa.....	182
6.1. Estudos realizados	182
6.2. Codificação.....	192
6.2.1. Bricolagem de técnicas	193
6.2.2. Contexto real.....	194
6.2.3. Contribuição científica.....	196
6.2.4. Entre sistemas linguísticos que interagem	197
6.2.5. Experiência	197
6.2.6. Fenômeno.....	198
6.2.7. Impacto da solução	199
6.2.8. Incertezas.	201
6.2.9. Informação	202
6.2.10. Interação.....	203
6.2.11. Linguística.....	204
6.2.12. Protocolos e recomendações	205
6.2.13. Robótica	206
6.2.14. Tomada de decisão	207
6.2.15. Trabalhos futuros.....	210
6.2.16. Técnica	212
6.2.17. Vigotsky	213
6.3. Noções emergentes da codificação.....	215
6.3.1. Problema: a incerteza na tomada de decisão clínica.....	215
6.3.2. Linguagem e comunicação	216
6.3.3. Técnicas e tecnologias	218

6.3.4. Critério de avaliação	219
6.3.5. Novos conhecimentos.....	219
6.4. Respondendo as questões	221
6.4.1. Questão para Avaliação do Artefato	221
6.4.2. Questão para Avaliação das Conjecturas.....	222
7. Conclusão	228
7.1. Principais contribuições.....	228
7.2. Limitações e Trabalhos Futuros	229
Referências bibliográficas	232
Apêndice 1: Questionário respondido por e-mail no dia 7/3/2017 pelo Dr. Rui Hadad.....	239
Apêndice 2: Transcrição da entrevista com Dr. Rui Haddad, 6 de março de 2018	241
Apêndice 3: Transcrição de vídeo: Entrevista com Dr. Rui Haddad.....	249
Apêndice 4: Transcrição de vídeo: Entrevista com Dr. Rui Haddad (continuação)	253
Apêndice 5: Transcrição de vídeo: Entrevista com Dr. Heron Werner.....	255
Apêndice 6: Transcrição de vídeo: Entrevista com Dr. Dalton Castro	261
Apêndice 7: Transcrição de vídeo: Entrevista com Dr. Eduardo Viana.....	265
Apêndice 8: Transcrição de vídeo: Entrevista com Dr. Vitor Sardenberg	269

Lista de figuras e quadros

Figura 1. Participação em projeto de Telemedicina da RUTE.	20
Figura 2. LES.	21
Figura 3. NEXT.	23
Figura 4. Modelo para o raciocínio diagnóstico baseado na teoria de processo dual.	27
Figura 5. Tecnologias produzem linguagem, que modifica a forma de pensar, que resulta em novos conhecimentos capazes de mudar a cultura de uma área.	33
Figura 6. Separação-e-relação entre artefato e teoria.	48
Figura 7. Principais elementos de uma pesquisa em DSR.	48
Figura 8. Elementos centrais do modelo DSR.	50
Figura 9. Revisão de literatura necessária para fundamentar os elementos centrais do modelo DSR.	51
Figura 10. Modelo DSR.	52
Figura 11. Instância do Modelo DSR representando a pesquisa aqui projetada e realizada.	53
Figura 12. Linha do tempo.	62
Figura 13. Hippocratic Corpus.	64
Figura 14. Mapa do Mediterrâneo.	67
Figura 15. Metope nas cenas de mármore do Partenon (442-438 a.C).	72
Figura 16. Crucifixo (1304-1306). Giotto di Bondone.	73
Figura 17. Estudos Anatômicos de Leonardo da Vinci.	75
Figura 18. Fases Lunares, Galileu Galilei.	76
Figura 19. Anathomia, Mondino Luzzi.	77
Figura 20. Frontispício do <i>De Humani corporis fabrica</i> , Vesalius.	79
Figura 21. <i>De humani corporis fabrica</i> .	80
Figura 22. William Harvey, <i>Experiments on the valves</i> .	81
Figura 23. Crânio, La Specola.	83
Figura 24. La Specola.	84

Figura 25. Atlas de anatomia humana.	86
Figura 26. Anatomia. Gray, 1977.	87
Figura 27. Microscópio de Leeuwenhoek.	90
Figura 28. Microscópio de Hooke.	91
Figura 29. Estrutura celular da cortiça ilustrada por Robert Hooke.	92
Figura 30. Visualização do microscópio de células da cortiça.	93
Figura 31. Um corte de cortiça realizado à mão livre. Examinada ao microscópio, a cortiça pode ser vista como sendo constituída por numerosos compartimentos pequenos e vazios, separados, uns dos outros, por paredes delgadas.	94
Figura 32. O microscópio composto representado por Hooke na Micrographia.	96
Figura 33. Desenho de uma pulga, da Micrographia.	97
Figura 34. Primeiro microscópio eletrônico: Ruska e Knoll.	98
Figura 35. Microscópio moderno.	99
Figura 36. Microscópio moderno.	100
Figura 37. Imagem microscópio eletrônico da epiderme da folha de Nicotiana glauca.	100
Figura 38. Visualização microscópica.	101
Figura 39. Espectro eletromagnético.	102
Figura 40. Primeiro Raio-X, 1896.	103
Figura 41. Negatoscópio.	104
Figura 42. Raio X de dente.	105
Figura 43. Radiografia de um pé adulto.	106
Figura 44. Tomógrafo.	107
Figura 45. Paciente em um tomógrafo.	108
Figura 46. Visualização de tomografia na sala de exame.	108
Figura 47. Imagem de tomografia.	109
Figura 48. Imagem de tomografia.	110
Figura 49. Imagem de tomografia.	111
Figura 50. Imagem de tomografia. The Cambridge Illustrated History of Medicine.	112

Figura 51. Impressão 3D de uma aorta.	120
Figura 52. Layout do software de segmentação Mimics. A, Coronal, B Axial, em C, Sagital e em D, modelo tridimensional.	121
Figura 53. Imagem sagital e coronal de tomografia computadorizada.	122
Figura 54. Segmentação da aorta tóraco-abdominal e exclusão do aneurisma.	124
Figura 55. Processo de Sinterização Seletiva a Laser.	125
Figura 56. Modelos 3D produzidos no NEXT.	126
Figura 57. Protótipo flexível da aorta.	129
Figura 58. Protótipo flexível da aorta, detalhes.	130
Figura 59. Válvula mitral.	131
Figura 60. Prótese aórtica (CoreValve).	132
Figura 61. Simulação da inserção da CoreValve no coração.	133
Figura 62. Impressão 3D do coração a partir da minha própria coronariotomografia.	134
Figura 63. Corações em diferentes escalas.	135
Figura 64. Coração fantasma.	136
Figura 65. Realidade Aumentada.	141
Figura 66. Óculos de RV. No monitor à esquerda, o ambiente virtual em 2D.	141
Figura 67. Interação virtual com o modelo 3D.	142
Figura 68. O software para desktop é responsável por preparar os modelos para serem impressos e também aqueles a serem enviados ao dispositivo móvel. Nesse caso de pelve, foi impresso um modelo contendo a extremidade do fêmur e o acetábulo. Já o modelo para visualização contempla a pelve como um todo.	143
Figura 69. Impresso 3D e o modelo para visualização apresentados separadamente, bem como eles unidos no mesmo espaço físico para proporcionar um experiência cognitiva de Realidade Misturada.	144
Figura 70. Interface do software para desktop onde os modelos para impressão e visualização são preparados.	144
Figura 71. Aplicativo em modo de Realidade Misturada. Na parte superior está visível apenas o modelo impresso e na parte inferior o resultado final da sobreposição.	145
Figura 72. Telas do modo virtual do aplicativo, onde camadas de informação podem ser selecionadas pelo usuário.	146
Figura 73. Aplicativo móvel operando no modo virtual. Visualização de um estudo de PET/CT.	147
Figura 74: Exemplo de experiência em RA com o uso do aplicativo móvel.	148

Figura 75. Processo de segmentação e renderização do volume da imagem da válvula cardíaca.	149
Figura 76. Método para visualização e impressão das imagens 3D em ultrassonografia cardíaca.	150
Figura 77. Animação cinética da abertura e fechamento da válvula cardíaca com simulação do posicionamento da prótese de válvula mitral genérica.	150
Figura 78. Três formas de visualização das imagens 3D ecográficas.	151
Figura 79. Imagem 3D da válvula tricúspide.	151
Figura 80. Malha poligonal da válvula tricúspide.	152
Figura 81. Meu coração virtual no aplicativo M3DMIX.	153
Figura 82. Impressão de tecidos vascularizados espessos.	154
Figura 83. Modelo impresso em plástico, por manufatura aditiva.	156
Figura 84. RA sobreposta sobre o modelo impresso 3D. Em verde, o tumor, em vermelho e azul, vasos pulmonares e em amarelo, brônquio.	156
Figura 85. Modelo em RV.	157
Figura 86. Cubo com o fiduciário.	158
Figura 87. A RA através do cubo.	159
Figura 88. A imagem em RA sobreposta sob o corpo da paciente no ato cirúrgico.	160
Figura 89. Reportagem sobre o ProVis3D no Bom Dia Brasil (TV Globo).	164
Figura 90. Reportagem sobre o ProVis3D no TvBrasil.	165
Figura 91. Sistemas de informação.	168
Figura 92. Sistemas de Informação desenvolvido nesta pesquisa.	170
Figura 93. Google Glass.	172
Figura 94. Hololens.	173
Figura 95. Meta 2.	174
Figura 96. Meta 2.	175
Figura 97. Cenário para os objetos sejam importados no Unity.	177
Figura 98. Modelo visualizado no ambiente.	178
Figura 99. Usuário testando a cena com o Meta 2.	179
Figura 100. Objeto e controle virtual visualizado. Círculo com halo azul não ativado.	179
Figura 101. Interação das mãos com a projeção dos objetos.	180

Figura 102. Entrevista gravada com cirurgião.	183
Figura 103. Impressão 3D do corpo do pesquisador.	185
Figura 104. Codificação bloco a bloco.	193
Figura 105. Noção: problema.	215
Figura 106. Noção: Linguagem e comunicação.	217
Figura 107. Noção: Técnicas e tecnologias.	218
Figura 108. Noção: Novos conhecimentos.	220
Figura 109. Pensamento médico tridimensional.	221
Quadro 1. Aspectos da pesquisa científica.	39

1 Introdução

A tecnologia é um modo de revelar. Isso exige que pensemos de outra maneira. (Heidegger, 1977)

Nesta pesquisa a tecnologia é abordada como um instrumento mediador entre o homem e o mundo, produzindo linguagem. No entanto, a linguagem, por si só, não produz novos conhecimentos, mas, sim, o pensamento; a comunicação do pensamento induzido pela linguagem, produzida pelo uso de tecnologia é o resultado desta tese.

Neste capítulo, apresento a pesquisa que documento nesta tese, que é um requisito parcial para obtenção do título de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Design da PUC-Rio. Começo, na Seção 1.1, explicando como eu, um médico, vim parar nesta pós-graduação em Design. Contar minha história de vida, a itinerância que me trouxe até aqui, possibilita apresentar o contexto em que estou inserido em que esta pesquisa faz sentido, incluindo as oportunidades que venho buscando e minhas dúvidas. Em seguida, apresento os elementos mais importantes desta pesquisa científica aplicada: o problema com que estou lidando nesta pesquisa (Seção 1.2); o quadro teórico e as conjecturas que faço para tentar resolver o problema (Seção 1.3); o artefato que desenvolvi, com base nas conjecturas, visando a contribuir para mitigar o problema (Seção 1.4); as questões de pesquisa relacionadas ao artefato e às conjecturas teóricas (Seção 1.5); e a abordagem epistemológico-metodológica desta pesquisa (Seção 1.6). Encerro o capítulo, na Seção 1.7, expondo como estruturei a apresentação da pesquisa em capítulos desta tese.

1.1 **Itinerância do pesquisador: sendo médico e professor, como vim parar em um doutorado em Design envolvendo computação?**

Em 1984, me formei em Medicina na Escola de Medicina e Cirurgia do Rio de Janeiro, Unirio. Pouco após o final do curso, em 1986, me especializei em Gastroenterologia apresentando a monografia de conclusão de curso *Imunodeficiência local gastrointestinal na AIDS*. Meu interesse em

Gastroenterologia era colateral, pois nos últimos anos da graduação acompanhei um dos grandes marcos na medicina no final do século XX, o início da epidemia de AIDS no Brasil. O hospital onde estudava, Hospital Universitário Gaffrée e Guinle (HUGG), tornou-se referência no tratamento e, como desde do início do curso, tinha um interesse particular em imunologia, a doença me interessava por suas particularidades; a total incapacidade dos doentes portadores de AIDS combaterem infecções, chamadas de oportunistas devido à oportunidade de proliferação dos microrganismos, eram corriqueiras.

Fui admitido como Professor Substituto, em 1986 (logo após minha especialização), na disciplina de Clínica Médica do Departamento de Medicina Geral do Curso de Medicina do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde no HUGG da Unirio. Um ano depois, fui habilitado em concurso público de provas e títulos, homologado em dezembro de 1987, na função de Professor Auxiliar.

Após um ano de docência, em 1988, surgiu a oportunidade de fazer pesquisa básica na área imunológica; fui convidado a participar do curso de pós-graduação da Unit for Applied Cell and Molecular Biology na University of Umea, Suécia. Meu projeto de pesquisa estava centrado nos mecanismos de regulação imune, especialmente os aspectos regulatórios em ensaios de biologia celular e biologia molecular, com foco no estudo dos mecanismos moleculares da expressão de imunoglobulinas. Durante esse período, fui supervisionado pelo Professor Pascalis Sideras e realizei três cursos e seminários que foram importantes para a minha formação acadêmica:

- Curso de graduação na University of Uppsala Biomedical Center, Department of Immunology, Jalla. O curso discutiu os aspectos básicos da regulação do sistema imune e suas atividades eram aulas e seminários com participação ativa de estudantes de diversas nacionalidades. O curso concedia 3 pontos no programa de graduação sueco;
- “Genteknik” na Stockholms Universitet, curso teórico, com palestras, com validade de 5 pontos no programa de pós-graduação sueco;
- “Immunology workshop, current concepts” em Holmsund, Suécia. O curso discutiu aspectos regulatórios e evolutivos do sistema imune, com participação ativa dos estudantes de diferentes centros nórdicos de pesquisas, com validade de 3 pontos no programa de pós-graduação sueco.

Voltei ao Brasil, em 1988, após dois anos de experiência em pesquisa básica, por decisão profissional: não me senti envolvido nem estimulado em seguir uma carreira acadêmica como pesquisador e, em 1990, reassumi o cargo de Professor Auxiliar na disciplina de Clínica Médica do HUGG.

Como resultado do período na Suécia, consegui minha primeira publicação científica: “Transcription of Unrearranged Ig H chain genes Human B cell malignancies”, artigo que publiquei no *The Journal of Immunology*. Este artigo teve dupla importância na minha carreira acadêmica e no entendimento da produção científica. Por um lado, o artigo documentava o trabalho realizado durante o período que estive na Suécia, em parceria com meu orientador e outros pesquisadores locais. Por outro lado, o mais importante foi entender que um resultado negativo em pesquisa não significa fracasso ou uma não contribuição à ciência; a finalidade da investigação científica é gerar conhecimento, não apenas resultados positivos.

No período após minha volta, me dediquei à clínica particular, concentrado na assistência dos meus pacientes no Hospital Samaritano. No HUGG, continuei com minhas atividades docentes na enfermagem e tive participação em comissões de controle de infecção hospitalar e padronização de medicamentos; além disso, durante seis anos (2005-2011), fui o Chefe da Residência da Oitava Enfermagem do HUGG.

Em 1999, o Prof. Hugo Fuks, do Departamento de Informática da PUC-Rio e coordenador do AulaNet, me convidou a participar da disciplina Tecnologias da Informação Aplicadas à Educação (TIAE). Essa era uma disciplina realizada totalmente a distância pelo AulaNet, um Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA) que estava sendo desenvolvido e investigado pelo Hugo. Foi um marco importante, pois a partir desse evento eu voltei a me interessar por pesquisa, mas não pesquisa básica, e sim aplicada e relacionada à tecnologia.

Como desdobramento do meu interesse em Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), em 2007 fui convidado pela direção do HUGG a estruturar o projeto de Telemedicina da rede RUTE, Rede Universitária de Telemedicina. Fui nomeado Coordenador RUTE na Unirio com a aprovação do projeto pela Rede Nacional de Pesquisa (RNP).

Em 2008, fui selecionado pela reitoria da minha universidade para cursar o MBA em Executivo em Saúde na Universidade Federal do Rio de Janeiro / COPPEAD. Foi uma ótima oportunidade de aprender sobre gestão na saúde e

auxiliar a montagem do Núcleo de Telemedicina como unidade de pesquisa na universidade. Finalizei o curso com a monografia *Sistemas Colaborativos: tecnologia baseada em simulação e colaboração voltada para qualificação da atenção da saúde*, tendo como orientadora a Professora Heloísa Barbosa Leite, coordenadora do curso.

Em agosto de 2009 inauguramos oficialmente o Núcleo de Telemedicina da Unirio no HUGG e fui nomeado Chefe do Núcleo de Telemedicina da Unirio. Com a experiência adquirida no MBA, adotei, como estratégia de autossustentação, a participação em editais de fomento à pesquisa.



Figura 1 - Participação em projeto de Telemedicina da RUTE. Fonte: do autor.

Desde 1999, quando fui cursar a disciplina TIAE pelo AulaNet, mantive o contato com o Departamento de Informática da PUC-Rio, no Laboratório de Engenharia de Software (LES), coordenado pelo Professor Lucena. A partir de 2010, iniciamos uma colaboração bastante produtiva por meio de editais. Essas experiências no LES criaram oportunidades de conhecer outros pesquisadores da informática e comecei a interagir com outros grupos. Em 2014, submetemos o projeto “Amplificando a vigilância entomológica da dengue: Redes Sociais e dispositivos móveis”, que foi aprovado. Com o mesmo grupo, em 2015, desenvolvemos, com colaboração internacional, o projeto “Software Infrastructure for Promoting Efficient Entomological Monitoring of Dengue Fever”, que teve a

FAPERJ e o Newton Fund, no Reino Unido, como fontes de financiamento. Meu último edital com o Departamento de Informática foi em 2015, com a Chamada Universal — MCTI/CNPq. Submetemos o “Projeto e desenvolvimento de uma plataforma móvel baseada em uma arquitetura multiagente aplicada ao atendimento e monitoramento remoto em telemedicina”, aprovado como uma proposta de pesquisa com o objetivo do desenvolvimento experimental de uma plataforma móvel para o apoio ao atendimento médico e monitoramento remoto por meio da investigação, modelagem e prototipação, fazendo uso da tecnologia Engenharia de Software para Sistemas Multiagentes (ESSMA) aplicada à Telemedicina. Foi proveitosa a colaboração com o LES, que resultou em minha volta à pesquisa acadêmica, incentivando-me a dar um novo passo na carreira como pesquisador.

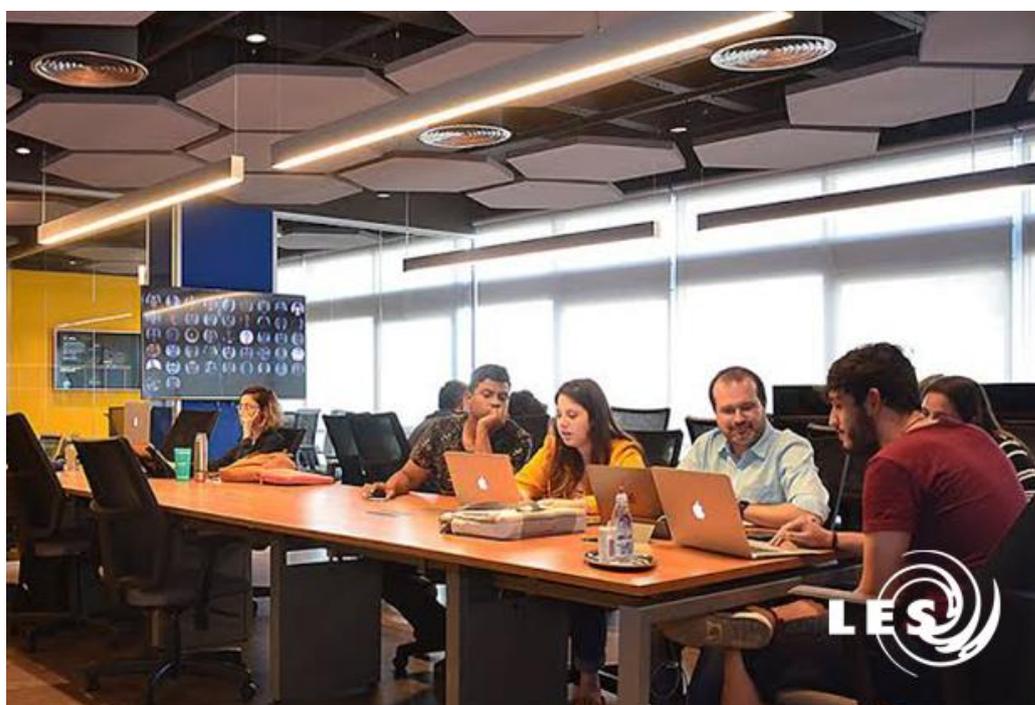


Figura 2- LES.

Considero essas passagens importantes para explicar meus interesses e competências em relação à Informática aplicada à Medicina. Quanto às andanças que me levaram ao encontro do Design, as narro a seguir.

No primeiro semestre de 2010, iniciei uma linha de pesquisa em Telemedicina junto ao LES, uma consequência do projeto que estruturei no HUGG, onde implantei o Núcleo de Telemedicina com apoio da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e da RNP. Como resultado desse projeto, o hospital tornou-se membro da Rede RUTE, da qual sou o coordenador desde 2008, assim como

responsável pela telemedicina na Unirio. Devido ao meu envolvimento com a Telemedicina e a Informática, tive acesso a diferentes tecnologias, entre elas a impressão 3D.

Em 2011, nosso grupo do LES enviou a proposta “Modelos computacionais para apoio a avaliação do ergodesign de interfaces para Telemedicina: usabilidade em informações móvel”, que foi contemplado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), com verba e bolsas para o projeto. O interessante do projeto era o seu caráter multidisciplinar, envolvendo pesquisadores do Design, da Informática e da Medicina. Após uma de nossas reuniões, encontrei, no campus da PUC-Rio, o Professor Claudio Magalhães, do Departamento de Artes e Design (DAD), e conversamos sobre o projeto em curso e sobre o Núcleo de Experimentação Tridimensional (NEXT), um laboratório de pesquisa coordenado por ele e pelo Professor Jorge Lopes. Essa foi a primeira vez que soube que existia um grupo de pesquisadores que trabalhava com pesquisa em modelagem 3D no Brasil e que uma das linhas de pesquisa era impressão 3D na área da medicina fetal. No final daquele ano, conversei com o Professor Jorge Lopes sobre a possibilidade de pesquisas conjuntas e participação em editais para o financiamento de pesquisas na área da Medicina. Mencionei que eu teria interesse em fazer pós-graduação em tecnologias 3D para uso em Medicina no DAD e me foi sugerido concorrer a uma vaga no processo seletivo para o ano de 2012. Fiz as provas e entrevistas e fui selecionado para cursar e iniciar o mestrado.

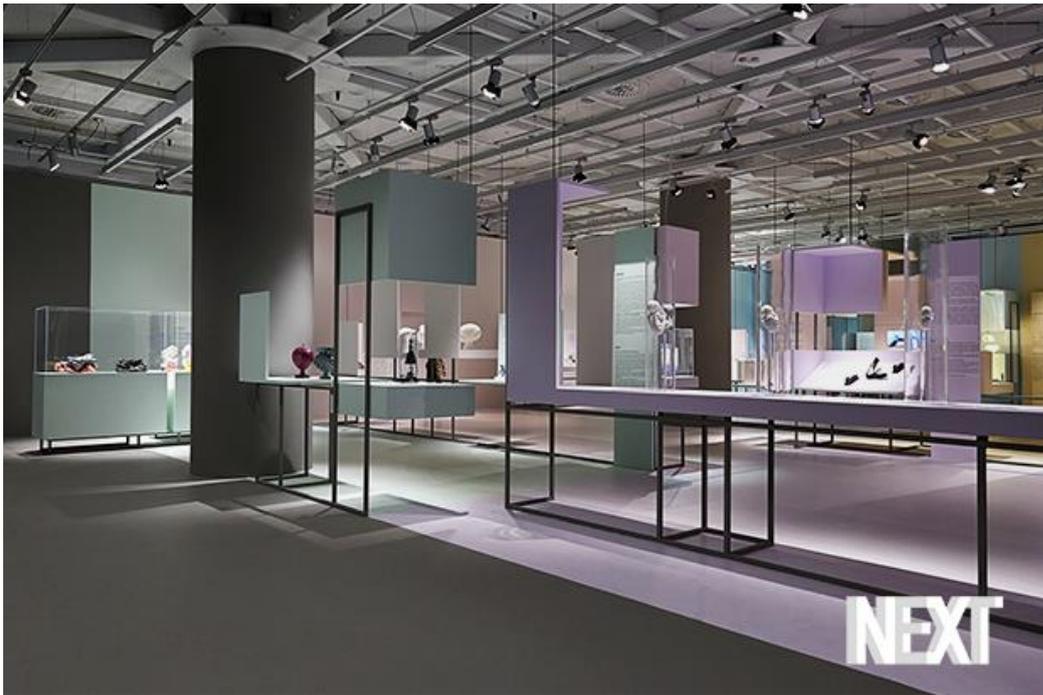


Figura 3- NEXT.

No meu primeiro ano de mestrado em Design, fui selecionado para participar do FutureMed 2013, conhecido atualmente como Exponencial Medicine, da Singularity University em San Diego, Califórnia. Durante os quatro dias, os aproximadamente 120 participantes vivenciaram uma experiência única, interagindo com professores, inovadores e organizações de todo o mundo, em especial da Stanford University. O objetivo da conferência é preparar líderes e organizações para o futuro, com eventos e programas transformadores, explorando a convergência das tecnologias na área biomédica.

Em julho de 2013, apresentei o meu trabalho Usability of a Social Network as a Collaborative Learning Platform Tool for Medical Students na sessão Putting together Computer Science, Ergonomics and Medicine: a multidisciplinary study about e-health interfaces no HCI 2013, Las Vegas, Nevada, o mais importante evento na área de interface humano-máquina. Neste congresso, conheci, participando como ouvinte de uma sessão, a utilização da Realidade Aumentada e Realidade Virtual como interface de interação e fiquei bastante interessado na utilização deste tipo de tecnologia na área do design.

Em 2015, três eventos foram importantes, além de todo o meu aprendizado no mestrado. Participei, junto com professores do DAD da PUC-Rio, de uma visita ao laboratório Healthkit Apple Developer, Cupertino, e ao Stanford Center for

Biodesign, Palo Alto, Califórnia. Foram experiências importantes para minha avaliação profissional sobre as possibilidades existentes, em centros de referência em pesquisa de Design e Medicina, na minha área de atuação e pesquisa. Interagir com os pesquisadores, observar a forma com que aplicam o pensamento do Design em inovação de produtos, conhecer locais de excelência em pesquisa e produtos inovadores, além da convivência com pesquisadores da PUC-Rio, foram fatos determinantes na minha posterior decisão. Completando meu ano de 2015, auxiliei e participei do I Seminário Internacional de Inovação 3D em Saúde e Biodesign, promovido pelo NEXT. Neste seminário tive a oportunidade de apresentar o trabalho desenvolvido no mestrado e, o mais importante, percebi que estava realmente envolvido e interessado em pesquisa nesta área; continuar minhas investigações na forma de um doutorado, me pareceu uma oportunidade interessante de aprofundar meus conhecimentos e complementar minha formação com pesquisador na universidade.

1.2

Problema a ser mitigado: incerteza na tomada de decisão clínica

A tomada de decisão clínica é a base do raciocínio médico, integrando habilidades cognitivas e conhecimento clínico para a análise das informações. É uma atividade regular para a maioria dos médicos e seu estudo faz parte da análise do julgamento e das ações humanas. Nesta pesquisa, a tomada de decisão será abordada como uma habilidade cognitiva necessária para uma boa prática clínica, um conhecimento tácito construído a partir de uma série de valores, experiências e acesso a técnicas e tecnologias de avaliação e tratamento. O entendimento da importância da cognição no raciocínio clínico e os avanços da moderna ciência do cérebro, demonstrando que ocorre uma interação da visão, tato e emoção no processamento da informação visual (KANDEL, 2016, p. 37), apontam novas direções para compreensão e entendimento das habilidades cognitivas no processo de tomada de decisão.

Frequentemente a tomada de decisão ocorre em um contexto de incertezas diagnósticas e o médico necessita de uma série de recursos materiais e imateriais para obter informação de valor que possa auxiliar a sua decisão diagnóstica. A propedêutica clínica é um método para obtenção de dados por meio da observação, anamnese, exame físico e outros exames simples e inespecíficos, que constitui a

base do raciocínio clínico e orienta as decisões clínicas. Exames não invasivos são solicitados de forma a complementar o raciocínio clínico para confirmar a decisão tomada, ou orientar na utilização de técnicas invasivas para apoiar o diagnóstico.

O julgamento é um aspecto crítico no raciocínio clínico, sendo essencial na formulação de um diagnóstico. Julgamento e tomada de decisão vêm sendo investigados por diferentes abordagens, de forma multidisciplinar e com pesquisas de campo e modelos matemáticos para sua avaliação. Melhorar o raciocínio diagnóstico é um objetivo importante e duas abordagens, a analítica e a intuitiva, são utilizadas para apoiar a tomada de decisões conforme a teoria do processo dual (CROSKERRY, 2009, p. 1022).

A Teoria do Processo Dual é um dos modelos mais aceitos para entender o raciocínio clínico diagnóstico e fundamenta a abordagem desta pesquisa. Esta teoria foi desenvolvida pelos psicólogos Amos Tversky e Daniel Kahneman através de suas pesquisas em tomada de decisão, julgamentos, vieses cognitivos e decisões sob incerteza. Kahneman (2011) dividiu o processo de tomada de decisão em dois sistemas, duas linguagens distintas utilizadas para apoiar o julgamento e a escolha:

O Sistema 1 é rápido e intuitivo, baseado no reconhecimento de padrões, eficiente na maioria dos casos do dia a dia. No entanto, o Sistema 1 pode nos induzir a erros — especialmente quando não temos tanta experiência assim, ou quando o problema à nossa frente é atípico. É provável que o Sistema 1 seja nossa principal fonte de erros. (KAHNEMAN, 2011)

O Sistema 2 é lento e analítico; pode ser mais seguro, mas exige esforço. Requer mais tempo e exige maior gasto de energia. Este sistema é quem pensamos que somos, articulando julgamentos e fazendo escolhas, mas com frequência endossa ou racionaliza ideias e sentimentos que foram gerados pelo Sistema 1. O Sistema 2 impede ideias e impulsos inadequados de se expressarem abertamente. (KAHNEMAN, 2011)

Existem distinções entre as operações automáticas do Sistema 1 e as operações controladas do Sistema 2. A memória associativa é o âmago do Sistema 1, continuamente construindo uma interpretação coerente do que está acontecendo em nosso mundo a qualquer instante. Pensamos associativamente com facilidade, pensamos metaforicamente, pensamos causalmente, mas estatísticas requerem que pensemos muitas coisas de uma só vez, e o Sistema 2 auxilia nestas tarefas (KAHNEMAN, 2011).

As dificuldades do pensamento estatístico contribuem para uma limitação da nossa mente: nossa confiança excessiva no que acreditamos saber, nossa incapacidade de admitir a verdadeira extensão da nossa ignorância e a incerteza do mundo que vivemos. Somos inclinados a superestimar quanto compreendemos sobre o mundo e subestimar o papel do acaso nos eventos. Kahneman (2011) demonstra em seus estudos, que a confiança exacerbada é alimentada pela certeza ilusória da percepção tardia, demonstrando que a última experiência é a que conta para nossa mente, criando a ilusão de certeza.

Como descrito por Kahneman (2011), os dois sistemas interagem. O Sistema 1 funciona automaticamente e o Sistema 2 está normalmente em um confortável modo de pouco esforço, em que apenas uma fração de sua capacidade está envolvida. O Sistema 1 gera continuamente sugestões para o Sistema 2: impressões, intuições, intenções e sentimentos. Se endossado pelo Sistema 2, impressões e intuições se tornam crenças e impulsos se tornam ações voluntárias. Quando tudo funciona suavemente, o que acontece na maior parte do tempo, o Sistema 2 adota sugestões do Sistema 1 com pouca ou nenhuma modificação. Geralmente acreditamos em nossas impressões e agimos segundo seus desejos e, normalmente, tudo bem.

Quando o Sistema 1 funciona com dificuldade, ele recorre ao Sistema 2 para fornecer um processamento mais detalhado e específico que talvez solucione o problema do momento. O Sistema 2 é mobilizado quando surge uma questão para qual o Sistema 1 não oferece uma resposta e ativado quando se detecta um evento que viola o modelo de mundo mantido pelo Sistema 1. Ao Sistema 2 também é atribuído o contínuo monitoramento de seu próprio comportamento — o controle que nos mantém educados quando furiosos e alertas quando dirigindo. O Sistema 2 é mobilizado para aumentar o esforço quando detecta um erro prestes a ser cometido. Em resumo, a maior parte do que nós (nosso Sistema 2) pensamos e fazemos origina-se de nosso Sistema 1, mas o Sistema 2 assume o controle quando as coisas ficam difíceis e ele normalmente tem a última palavra.

Na área da Medicina, a capacidade de tomar decisões racionais que levam a resultados terapêuticos, com métodos e cálculos envolvidos na análise de um problema clínico complexo, muitas vezes traz mais incerteza ao médico e o faz abrir mão da experiência intuitiva adquirida durante uma longa curva de aprendizado.

Seguindo o modelo de Sistema 1 e 2 proposto por Kahneman, Donald Redelmeier (SAPOSNICK, 2016, p. 1-2) propõe que o elemento principal para determinar qual sistema iremos usar na tomada de decisão é o reconhecimento de padrões (Figura 4). Quando nós, médicos, somos defrontados com um problema clínico, padrões são automaticamente processados para a tomada de decisão e, dependendo do reconhecimento, teremos acesso a um raciocínio intuitivo (Sistema 1); ou, em caso negativo, será necessário um raciocínio analítico para processar as informações (Sistema 2). Em um contexto de uso excessivo do Sistema 1, as técnicas do Sistema 2 poderiam neutralizar esses vieses e, assim, melhorar a precisão do diagnóstico e diminuir os erros de gerenciamento.

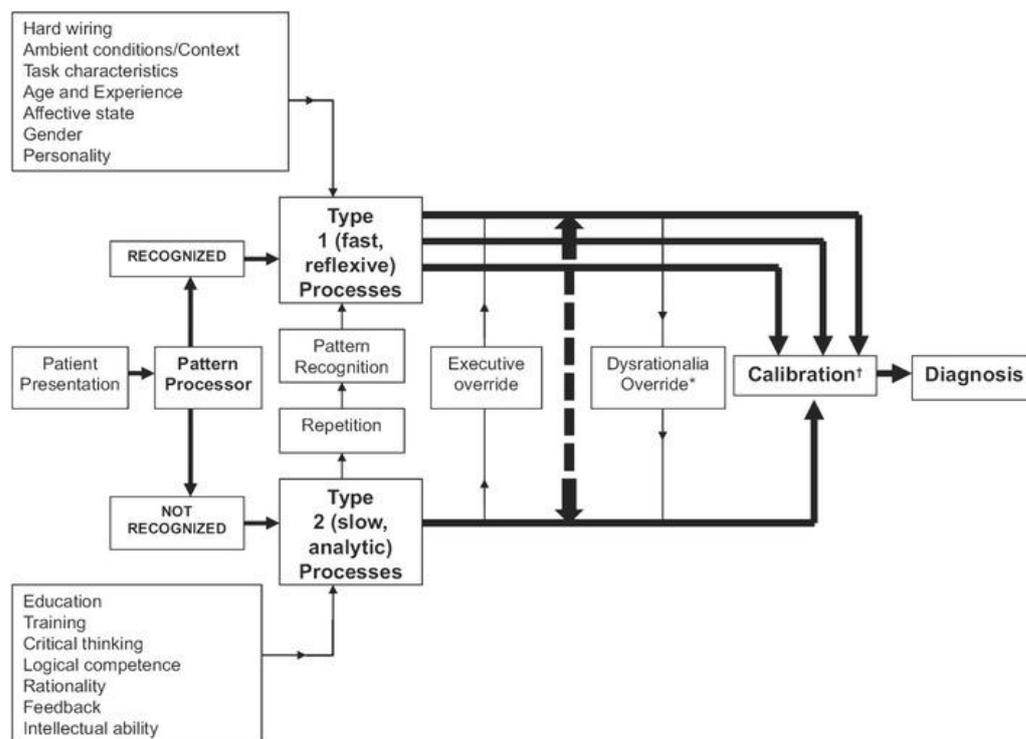


Figura 4 - Modelo para o raciocínio diagnóstico baseado na teoria de processo dual. Fonte: SAPOSNICK, 2016, p. 1-2.¹

O pensamento do Sistema 1 pode ser influenciado por múltiplos fatores, muitos deles subconscientes: polarização emocional em relação ao paciente, experiência recente sendo considerada com o diagnóstico, vieses cognitivos ou afetivos. Dessa forma, os processos do Sistema 1 são representados por múltiplos canais, enquanto os processos do Sistema 2 são, em uma determinada instância,

¹ Notas: “Dysrationalia” denota a incapacidade de pensar racionalmente, apesar da inteligência adequada. “Calibration” indica o grau de precisão com que o diagnóstico é percebido e correspondido de forma real.

canalizados individual e linearmente. O Sistema 2 substitui o Sistema 1 (ser o executor mais importante) quando os médicos fazem um intervalo para refletir sobre seu pensamento, possivelmente com a ajuda de listas de verificação. Em contraste, o Sistema 1 pode irracionalmente anular o Sistema 2 quando os médicos insistem em seguir o próprio caminho, ignorando regras de decisão clínicas baseadas em evidências que geralmente podem superá-lo.

Outro tipo de abordagem vem sendo utilizada no campo da psicologia e neurociências. Alfano (2016, p. 99-102) explora a Teoria do Processo Dual do ponto de vista da psicologia moral. Ele identifica o Sistema 1, por suas características (rápido, automático, afetivo, inconsciente e incorrigível), como sendo um sistema emocional. Este sistema, segundo o autor, evoluiu para nos ajudar a lidar com situações que nossos ancestrais frequentemente enfrentavam e eram capazes de resolver. Como forma de vantagem adaptativa, essas reações passaram a ser automatizadas e repassadas evolutivamente, sendo utilizadas atualmente por nós quando enfrentamos e desenvolvemos nossas estratégias automáticas para lidar com dificuldades. O Sistema 2 evoluiu para nos ajudar a lidar com situações novas e complicadas, nas quais o Sistema 1 falhou em produzir uma resposta ou produziu uma resposta não adaptativa.

Recentemente, começaram a surgir evidências neurocientíficas que justificam as divergências entre o Sistema 1 e o Sistema 2:

Os correlatos neurais do processo do Sistema 1 geralmente são ativados mais cedo do que os correlatos neurais dos processos do Sistema 2. Além de separados temporalmente, muitos dos correlatos neurais dos processos do Sistema 1 tendem a ocorrer em partes específicas do cérebro, como amígdala, ínsula, córtex orbitofrontal, córtex cingulado anterior e córtex pré-frontal ventromedial (vmPFC). Os processos do Sistema 2, parece ocorrer mais tipicamente no córtex pré-frontal dorsal (dIPFC). Ou seja, Sistema 1 e Sistema 2 parecem ser diferentemente ativados no tempo e espaço (ALFANO, 2016, p. 100-101).

O cérebro tornou-se a nova fronteira do conhecimento científico, sendo explorado por diferentes técnicas não invasivas. Nesse sentido, identifiquei uma mudança em curso na maneira como as habilidades cognitivas estão sendo investigadas. Estudos são elaborados com o viés de abordagem biológica do sistema de decisão, como forma de pesquisa do comportamento humano.

O conhecimento científico transformou a Medicina, como uma atividade que produz ciência e tecnologia para o desenvolvimento humano. Mesmo com todo o avanço tecnológico na área da saúde, com o conseqüente aumento da produção de evidências clínicas, isso não se traduziu como diminuição de incerteza devido ao acesso a essas tecnologias; o paradigma da Medicina baseada em evidências

científicas consegue padronizar as decisões, mas há outros fatores que interferem na base de conhecimento das evidências. Cada vez mais recebemos informações sobre estudos enviesados, frequentemente pela indústria diagnóstica e farmacêutica, assim como pelo conflito de interesse dos autores desses estudos, sem falar da questão das fraudes. Há uma discussão a respeito dos métodos estatísticos utilizados nos estudos que referenciam as evidências recomendada pelas sociedades médicas. As evidências muitas vezes trazem mais incerteza.

Nós, médicos, adotamos, de forma sistemática, um conjunto limitado de regras informais para o julgamento médico, que funcionam bem em geral, mas possuem uma lógica própria. Frequentemente esta lógica choca-se com a lógica racional e as leis estatísticas; quando isso acontece, erros de julgamento ocorrem. Estes julgamentos estão todos baseados em dados de validade limitada, que são processados de acordo com regras heurísticas (TVERSKY & KAHNEMAN, 1974, p. 1124).

Médicos muitas vezes tentam classificar as condições clínicas dos pacientes baseados em sua similaridade com as condições de outros pacientes. Embora muitas vezes seja útil na formulação de diagnósticos, a heurística de representatividade pode, ao concentrar-se de forma inadequada em componentes enganosos ou não informativos da apresentação clínica, levar a probabilidades mal calculadas a não se considerar a prevalência de possibilidades alternativas. Da mesma forma, o erro de avaliação no tamanho da amostra de estudos clínicos e concepções errôneas sobre o acaso podem superestimar o valor do teste diagnóstico em detrimento de evidências clínicas observáveis (BRAUNWALD, 2005, p. 28).

A principal atividade na prática diária dos médicos é a coleta e análise das informações médicas, seja ela beira do leito, investigação eletrônica em dispositivos portáteis, computadores ou livros. A informação médica é volumosa, dispersa, com mudanças de resultados frequentes e conflitantes, com validade incerta e transitória; constantemente a informação importante não está disponível. Vários métodos são utilizados nesta análise de decisão; os principais desfechos são considerados e probabilidade e utilidade são atribuídas a todos os desfechos, possibilitando um cálculo de valor; dessa forma, uma decisão racional pode ser tomada (KASSIRER, 1976, p. 160).

O julgamento médico, enquanto processo de inferência para uma avaliação e formação da tomada de decisão no contexto de incerteza e informação incompleta,

requer dados observacionais e métodos diagnósticos, tendo como contexto o conhecimento do processo da doença, um arsenal terapêutico para tratar esta doença e evidências científicas. A atividade de julgar consiste em um processo de raciocínio complexo, envolvendo uma combinação de heurística, probabilidade e processos dedutíveis e indutivos. Muitas decisões são baseadas em crenças sobre probabilidade de eventos incertos (BRAUNWALD, 2005, p. 27).

Por outro lado, a questão da experiência clínica tem seus vieses cognitivos já bastante estudados, mas ao mesmo tempo há evidências de que esse tipo de comportamento, rápido e intuitivo, é relevante na prática da tomada de decisão. A questão, de um modo geral, ao meu ver, tem mais relação com a mudança cultural da medicina centrada no médico para uma medicina praticada em instituições, direcionando a utilização da tecnologia como método diagnóstico. De qualquer forma, é um bom problema para ser investigado no contexto de mudança que vivemos nos tempos atuais.

A prática clínica em ambiente hospitalar difere bastante da ambulatorial. É no hospital, durante a internação dos pacientes, que os desafios diagnósticos se apresentam e situações clínicas complexas exigem tomada de decisão a partir de um alto grau de incerteza. Exames de imagem nos ajudam e apoiam, como método complementar ao raciocínio clínico, no diagnóstico. Os radiologistas, médicos especialistas em imagens médicas, são fundamentais nesta etapa, quando um exame de imagem é solicitado. Frequentemente clínicos e radiologistas trocam informações nas suas áreas de trabalho, *workstations*, onde as imagens médicas são visualizadas, com recursos que normalmente não estão disponíveis em ambulatório. A interação e comunicação entre clínico e o radiologista é fundamental para o diagnóstico e planejamento terapêutico e, frequentemente, radiologistas comunicam informações que não estão disponíveis em laudos e imagens; as imagens são apresentadas de forma dinâmica, facilitando a construção mental 3D do médico clínico assistente, e as reconstruções virtuais tridimensionais, feitas de forma automática nos equipamentos de imagens não invasivas, também podem ser vistas de forma dinâmica e com interação limitada nas telas da *workstation* do médico radiologista, facilitando a tridimensionalização mental do clínico.

Essas situações complexas também ocorrem no ambulatório ou consultório, onde esses recursos não estão disponíveis. Nesses momentos, não há possibilidade de conversação interativa entre médico clínico e especialista; o

isolamento do clínico no seu ambiente de trabalho e a visualização de imagens incompreensíveis, imagem 2D e um laudo descritivo, não acrescentam valor ao seu julgamento e trazem incerteza para a tomada de decisão.

Seguindo a lógica das minhas ponderações, havia duas formas de abordar o problema da incerteza na tomada de decisão clínica. Melhorar o raciocínio clínico seria uma abordagem interessante. Outra forma seria investigar quais melhorias podem ser obtidas a partir da tecnologia, tendo como conjectura que apenas o acesso à tecnologia avançada não é o fato que determina necessariamente uma informação de valor. Qual o instrumento ou meio com que a tecnologia auxilia o raciocínio médico?

Considerando o complexo processo de tomada de decisão clínica e seu grau de incerteza, nesta pesquisa investigamos a visualização de imagens computacionais tridimensionais como um meio para fornecer informações de valor para apoiar a decisão, seja para apoiar a intuição característica do Sistema 1, seja para apoiar a análise racional do Sistema 2.

1.3

Conjectura teórica: tecnologias de visualização criam linguagem que produz conhecimentos que apoiam a tomada de decisão clínica

Ao longo dos anos, a medicina se desenvolveu de forma científica, principalmente na segunda metade do século XX, e obteve resultados importantes na melhoria na saúde, de forma universal, obtendo a diminuição de taxas de mortalidade infantil e aumentando a expectativa de vida graças a avanços tecnológicos. Esses avanços transformaram a prática clínico-cirúrgica e alavancaram o conhecimento médico, colocando a medicina em um elevado patamar científico. Muito do conhecimento clínico-cirúrgico e de suas práticas são consequências do desenvolvimento das técnicas de imagem não invasivas para o diagnóstico.

Desde o século XIX, a propedêutica e o seu estudo, a semiologia ou semiótica médica, organizam, coordenam e sistematizam a construção do diagnóstico e da dedução prognóstica (ROMEIRO, 1980, p. 3), uma abordagem tradicional para resolver problemas clínicos ditada quase exclusivamente pela

experiência e pelo raciocínio lógico do clínico. Ao longo do tempo, a percepção clínica muda, do ponto de vista epistemológico, conforme as técnicas e os métodos utilizados para obter o diagnóstico (FOUCAULT, 1977, p. 121).

No livro *Nascimento da clínica*, Foucault (1977), com sua análise da narrativa histórica do discurso médico, revela como o olhar clínico criou uma nova linguagem a partir da localização dos sintomas; agora médicos conseguem localizar e enxergar a doença, seja por meio da dissecação dos cadáveres ou dos dispositivos engenhosamente desenvolvidos pelo conhecimento iluminista. A teoria dos humores, predominante durante os séculos anteriores à anatomia patológica, se dissipa quando corpos são abertos e expostos ao olhar do observador, um médico que possui, além do seu conhecimento adquirido por meio da dissecações de dezenas de cadáveres, dispositivos que auxiliam o olhar, como microscópios óticos ou estetoscópios. Estes dispositivos ampliam sua percepção, comunicando o som dos órgãos internos ao olhar dos sinais e sintomas de corpos dispostos ao olho clínico ou localizando a doença em um tecido exposto ao olhar médico, amplificado por um microscópio.

Desde o final do século XX, as técnicas de visualização médicas vêm transformando o conhecimento, devido à sua capacidade de definir o diagnóstico por meio de técnicas não invasivas. Ao penetrar o corpo e visualizar órgãos internos através dos orifícios anatômicos com os modernos equipamentos óticos, ou pela produção de imagens pela aquisição da estrutura corporal de forma digital e não invasiva, as tecnologias para visualização possibilitaram o estudo do corpo humano de forma tridimensional, revelando a relação anatômica entre os órgãos visualizados e permitindo um diagnóstico clínico mais preciso ou adequado.

A conjectura que faço, nesta pesquisa, é que as atuais técnicas não invasivas de visualização tridimensional computacional criam uma linguagem que possibilita novas formas de comunicação e faz emergir novos conhecimentos que apoiam a tomada de decisão clínica. Esses novos conhecimentos irão transformar a cultura médica. Represento esquematicamente na Figura 5 a sequência de inferências que faço para conjecturar que as tecnologias de visualização tridimensional já estão mudando e irão mudar ainda mais a cultura médica.

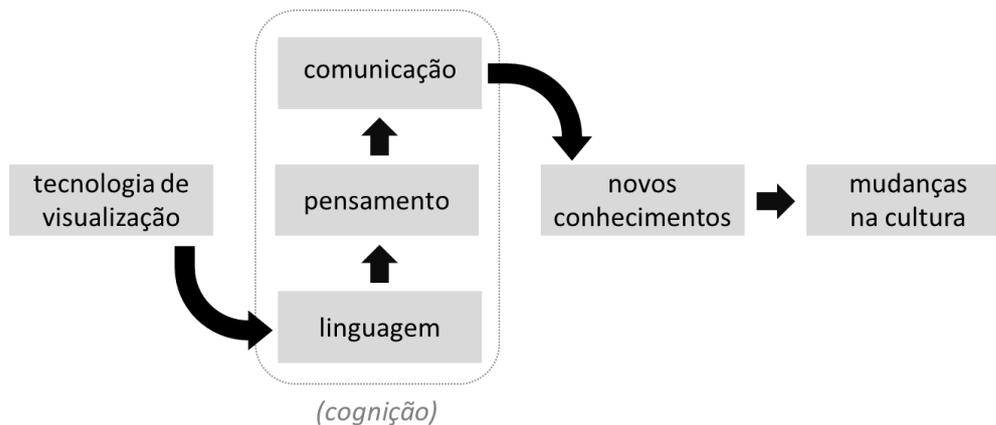


Figura 5 - Tecnologias produzem linguagem, que modifica a forma de pensar, que resulta em novos conhecimentos capazes de mudar a cultura de uma área. Fonte: do próprio autor.

O avanço das tecnologias digitais de visualização tridimensional de imagens clínicas tem potencial para tornar-se um instrumento para apoiar o diagnóstico e o planejamento terapêutico, acessível ao conhecimento de médicos não especialistas. A linguagem visual tridimensional possibilitada por essas tecnologias deve permitir que equipes multidisciplinares discutam casos clínicos com apoio das imagens tridimensionais. Não deverá ser absolutamente necessário um especialista para traduzir os achados imagéticos; médicos de diferentes especialidades conversarão com apoio das imagens tridimensionais coordenando a estratégia diagnóstica e facilitando a tomada de decisão e o planejamento cirúrgico.

1.4

Artefato desenvolvido: ProVis3D — propedêutica com visualização tridimensional interativa

Atualmente, ambientes virtuais interativos são utilizados para o planejamento de intervenções cirúrgicas (ZHU, 2017, p. 1). De forma geral, os ambientes virtuais são alimentados por meio das informações geradas pelas técnicas de imagem não invasivas dos próprios pacientes, sendo possível adicionar elementos externos, como modelos de algumas próteses ou modelos genéricos, e, em maior ou menor grau, simular o procedimento cirúrgico. Também há a possibilidade destes mesmos ambientes gerarem guias cirúrgicos a serem utilizados no período intraoperatório.

As tecnologias de visualização acrescentam informação de valor para a tomada de decisão, possibilitam novas maneiras para compreender e avaliar o caso clínico, auxiliam a interpretação da imagem e dão sentido a elas. As imagens 3D interativas constituem uma linguagem, uma forma de expressão que produz outra

forma de pensar, dando sentido a informações complementares e dispersas, exames laboratoriais, imagens e sinais vitais, e tem potencial de produzir novos conhecimentos e melhorar a comunicação entre médicos, especialistas e pacientes. Conseqüentemente, essas tecnologias, ao criar novas formas de se expressar, têm potencial para facilitar a comunicação entre médicos não especialistas, apoiando a tomada de decisão. Essas conjecturas tornaram-se o referencial da abordagem e direcionaram o design do artefato desenvolvido nesta pesquisa.

Para materializar e possibilitar a investigação da conjectura teórica (de que imagens tridimensionais computacionais apoiam a tomada de decisão clínica), nesta pesquisa projetei um artefato para a visualização de casos clínicos reais por meio de Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA). As imagens médicas foram configuradas em uma cena virtual como réplica virtual tridimensional do ambiente a ser aumentado. Essa réplica está alinhada com a visão do ambiente dos usuários, para que os elementos virtuais apareçam como sobrepostos aos elementos correspondentes no mundo real.

Para o artefato funcionar como uma plataforma de visualização em RV e RA, um painel de controle foi desenvolvido para participar na mesma cena onde a imagem é visualizada, com interação virtual e hierárquica, facilitando a curva de aprendizagem dos usuários. Após avaliação da cena em RV, com o controle virtual e modelos 3D, um sistema para dar suporte à programação foi desenvolvido para o artefato estar preparado para uso e avaliação da pesquisa.

A escolha feita para a interação com o objeto 3D no cenário virtual, interação com as próprias mãos, sem controle manual, organizou a estratégia para a avaliação da experiência do usuário, da mesma forma que a utilização de um controle virtual simplificado foi criado para avaliação da usabilidade. Após testes no ambiente em RV, avaliamos ser possível a migração do cenário para o uso com um óculos de RA. A cena para o óculos de RA foi programada para ser iniciada com a simulação da retirada dos órgãos virtuais de dentro do meu corpo virtual, com um painel de controle simplificado, devido à menor qualidade de interação e usabilidade do óculos de RA.

Decidi nomear o artefacto como ProVis3D. Minha escolha foi feita a partir da ideia de que as tecnologias 3D para visualização das imagens médicas será parte integrante da propedêutica clínica no futuro. Este acrônimo é a palavra formada pela junção das primeiras letras de Propedêutica para Visualização Tridimensional,

o tema e título da tese que representa o sistema criado para visualização de imagens médicas. Normalmente as imagens médicas são apresentadas ao médico em um suporte plano e, no caso de tomografia computadorizada ou ressonância magnética, as imagens são apresentadas em mais de um plano. O artefacto ProVis3D foi desenvolvido para que os médicos assistentes visualizassem, de forma tridimensional, imagens médicas em posição anatômica, mantendo as relações espaciais entre órgãos e vasos de forma fidedigna, pelo que é proposto pelo método, e correspondendo a sua posição no mundo real, ou seja, como estas estão dispostas no interior do corpo humano. Além de poderem ser visualizadas, há possibilidade de interação com as imagens, simulando a percepção tátil, e de produzir sua movimentação: tocar em órgãos segmentados, vasos e vísceras, separar estas estruturas, aumentar seu tamanho e fazer a rotação do objeto em torno de seu eixo. Desta forma, o ProVis3D cria a experiência que ocorre mentalmente através da visualização das imagens médicas em telas planas e potencializa os recursos de interação restritos em suas funcionalidades na área de trabalho do radiologista.

Esta forma de visualização e interação com o ProVis3D cria uma nova experiência na tomada de decisão clínica e no planejamento cirúrgico. Inicialmente, não há o esforço cognitivo de criar mentalmente imagens tridimensionais para o entendimento anatômico, estando elas disponíveis de forma direta no ProVis3D. Há a possibilidade de interação com o modelo anatômico representado, potencializando o entendimento das imagens médicas como linguagem visual. Por fim, o ProVis3D cria uma nova linguagem, relacionando a visualização à sensação tátil, produzindo novos conhecimentos das relações anatômicas e outra forma de comunicação entre equipes médicas multidisciplinares.

Durante toda minha carreira médica, acompanhei meus pacientes durante suas cirurgias. Aprendi com a anatomia cirúrgica como as patologias correspondem aos achados clínicos e radiológicos. O campo cirúrgico, com a visão real e tridimensional, representa com total fidedignidade a tomada de decisão correta. Eu acredito que o ProVis3D apoiará a tomada de decisão clínica, auxiliando o julgamento do médico assistente e diminuindo suas incertezas, devido à potência cognitiva do artefato de representar os órgãos de forma anatômica e fidedigna, de acordo com o que proposto pelo método, simulando mentalmente o procedimento cirúrgico e produzindo informação de valor.

1.5

Questões de pesquisa e avaliação empírica

Para avaliar se o artefato ProVis3D tem potencial para apoiar a tomada de decisão clínica, foi concebido um cenário em que médicos devem discutir casos clínicos reais a partir das imagens médicas 3D, realistas e interativas, visualizadas através de um óculos de RV e de RA, experimentando uma interface de interação. Esse é um cenário completamente inovador para os médicos, pois não utilizam essas tecnologias em suas atividades práticas rotineiras.

Foram realizados estudos de casos com o uso do ProVis3D para avaliar se a visualização tridimensional interativa de um caso clínico produz informação de valor para a tomada de decisão clínica. O roteiro do estudo de caso foi elaborado para que o usuário iniciasse a experiência com a RV, para posteriormente visualizar a mesma cena em RA.

Para avaliar se tecnologias criam linguagem e desenvolvem novas formas de se expressar e de pensar, assim produzindo informações de valor para apoiar a tomada de decisão clínica, na presente pesquisa busquei investigar, por meio de observação participante, o comportamento de médicos clínicos e cirurgiões ao utilizarem o artefato ProVis3D para visualizar e interagir com imagens médicas. Após a experiência de uso, entrevistei cada médico sobre a experiência vivida. Os relatos produzidos nas entrevistas foram interpretados para avaliar se as informações visuais tridimensionais e interativas têm potencial para diminuir a incerteza na tomada de decisão clínica.

Portanto, considerando a interpretação dos dados qualitativos, ressaltamos que essa é uma pesquisa científica concebida no paradigma epistemológico interpretativo. Também ressaltamos que esta pesquisa está fundamentada no paradigma epistemológico-metodológico Design Science Research por promover o conhecimento científico atrelado ao desenvolvimento tecnológico, conforme apresentado na próxima seção.

1.6

Abordagem epistemológico-metodológica: Design Science Research (DSR)

Design Science Research (DSR) é o paradigma epistemológico-metodológico da presente pesquisa. Essa abordagem visa apoiar a conceber e

realizar pesquisas científicas úteis e rigorosas que objetivem o desenvolvimento de artefatos inovadores atrelados à produção de conhecimento científico.

DSR é uma abordagem de pesquisa que tem por objetivo produzir conhecimento científico aliado ao desenvolvimento de artefatos úteis para resolver um problema num dado contexto. Este contexto pode ser o de uma instituição, como uma empresa, uma escola ou um hospital, ou pode estar relacionado a um grupo de indivíduos, como moradores de um bairro ou pessoas que se unem para agir em busca de um objetivo comum pela internet. Portanto, DSR é uma abordagem para a concepção e realização de pesquisas aplicadas, que visam produzir algo de útil para a sociedade. Ao mesmo tempo, essa abordagem visa aliar o desenvolvimento de artefatos com o conhecimento teórico, garantindo assim o rigor teórico-metodológico típico das pesquisas científicas. (PIMENTEL et al., p. 48, 2017)

Essa abordagem epistemológica-metodológica relaciona o desenvolvimento tecnológico (artefatos) ao desenvolvimento científico (conjecturas teóricas relacionadas ao comportamento humano). A separação e interrelação entre tecnologia e ciência (artefato e teoria) é a base de DSR: o projeto de um artefato deve estar fundamentado em uma teoria e o uso do artefato, por meio de uma avaliação empírica, possibilita investigar as conjecturas teóricas que direcionaram o projeto do artefato.

A produção de um artefato por si só não se caracteriza como pesquisa científica. É preciso teorizar para fazer avançar o conhecimento científico. Em DSR, conhecimento técnico e científico estão inter-relacionados para a produção de novos conhecimentos (técnicos e científicos): um artefato é concebido a partir de conjecturas teóricas e as conjecturas teóricas podem ser avaliadas a partir do uso do artefato. O pesquisador precisa teorizar para projetar, e teorizar a partir do uso do artefato, o que promove o rigor teórico esperado de uma pesquisa científica. Esta dupla função — avançar o conhecimento científico com rigor teórico-metodológico e promover o conhecimento tecnológico que tenha utilidade prática para a sociedade — é o que caracteriza a DSR.

Na presente pesquisa, projetei o artefato ProVis3D conforme apresentado na seção 1.4. Esse artefato foi projetado para promover informações úteis para a tomada de decisão clínica, o que tem potencial para diminuir a incerteza da decisão, que é o problema que busco diminuir com esta pesquisa aplicada, conforme apresentei na seção 1.2. O artefato ProVis3D foi projetado partindo da conjectura de que tecnologias de visualização produzem linguagem que, por sua vez, produz novas formas de conhecimento que produzem informações úteis para a tomada de decisão clínica, conforme apresentei na seção 1.4. Com o desenvolvimento deste artefato, foi possível avaliar essa conjectura teórica por meio de avaliação empírica,

conforme apresentei na seção anterior.

A discussão em mais detalhes sobre a abordagem epistemológico-metodológica desta pesquisa encontra-se no próximo capítulo.

1.7 Organização da escrita desta tese

Esta tese esta organizada em sete capítulos. No primeiro capítulo apresento a pesquisa.

O segundo capítulo foi organizado de forma a apresentar a metodologia utilizada na pesquisa. Inicio discutindo pesquisa científica em Design para posteriormente descrever como utilizei o modelo DSR na pesquisa desta tese. Como em DSR não se estabelece um método específico para avaliação empírica, explico a decisão tomada para utilizar Estudo de Caso Interpretativo como método escolhido. A forma como os dados foram produzidos e interpretados é descrita na ultima seção.

No terceiro capítulo, descrevo as tecnologias 3D e algumas potencialidades de aplicação nas práticas médicas: manufatura aditiva, Realidade Virtual, Realidade Aumentada e óculos para Realidade Aumentada. No quarto capítulo faço uma narrativa histórica da medicina em função das tecnologias de visualização desenvolvidas em períodos determinados. No quinto capítulo descrevo a construção do ProVis3D e, no sexto capítulo, as análises e achados da pesquisa. Finalizo com a conclusão, no sétimo capítulo.

2 Metodologia

Neste capítulo, apresento as opções epistemológico-metodológicas desta pesquisa, resumidas no Quadro 1, caracterizadas em função de: posição epistemológica, método de pesquisa, finalidade, abordagem de pesquisa, técnica de coleta de dados e técnica de análise de dados (FILIPPO; PIMENTEL; WAINER, 2019, p. 383).

Quadro 1. Aspectos da pesquisa científica.

Posição epistemológica:	Projetiva-interpretativa
Método de pesquisa:	Modelo DSR (embora não seja um método propriamente dito)
Finalidade:	Exploratória
Abordagem de pesquisa:	Qualitativa
Técnica de coleta de dados:	Observação participante do pesquisador sobre o uso do artefato (desenvolvido nesta pesquisa) por médicos; Entrevistas com os médicos que usaram o artefato
Técnica de análise de dados:	Interpretação dos discursos apoiada na técnica de codificação da Teoria Fundamentada em Dados

Esta pesquisa se caracteriza como uma “Pesquisa *através* de Design” (RtD), como justifico na Seção 2.1 a seguir, e foi pensada e realizada na perspectiva epistemológico-metodológica projetiva “Design Science Research” (DSR), conforme apresento na Seção 2.2. DSR não estabelece um modo específico para se fazer estudos empíricos, cabendo ao pesquisador bricolar essa abordagem com algum método de pesquisa científica — optamos por realizar um Estudo de Caso Interpretativo, como apresento na Seção 2.3, em que o artefato desenvolvido nesta pesquisa foi usado por médicos. A observação do uso que os médicos fizeram do artefato e os relatos que eles deram durante as entrevistas que realizei após a sessão de uso constituem as fontes de dados desta pesquisa, conforme discuto na Seção 2.4. Os relatos foram interpretados com auxílio da técnica de codificação de dados da Teoria Fundamentada em Dados, conforme apresentado na Seção 2.5. Realizando a triangulação de dados e buscando elaborar interpretações plausíveis

para os efeitos do uso do artefato, busco construir novos conhecimentos técnicos e teóricos como contribuições desta pesquisa.

Cada escolha metodológica tem potencialidades e limitações. Estamos cientes de que a pesquisa positivista-quantitativa-laboratorial é útil para determinados objetivos, mas igualmente reconhecemos que os estudos interpretativos, realizados em contexto e com múltiplas fontes de evidência, envolvendo dados qualitativos a serem interpretados pelo pesquisador, são uma abordagem também válida, desde que atendidos os critérios que garantem o rigor científico (diferente do rigor estatístico e dos relacionados ao desenho experimental). Fizemos escolhas epistemológico-metodológicas que nos pareceram mais alinhadas ao modo como os pesquisadores envolvidos nesta pesquisa desejam produzir conhecimento. São essas escolhas que apresentamos e justificamos nas seções a seguir.

2.1 Design e pesquisa científica

A presente pesquisa foi concebida e realizada em um programa de pós-graduação em Design. A primeira pergunta que me faço e busco aqui responder é: como se faz uma pesquisa científica em Design? A busca por uma resposta para essa pergunta simples e fundamental para esta tese é surpreendentemente complicada. A dificuldade ocorre porque o próprio conceito do que é Design não é consensual — o entendimento desta noção ainda está em construção e em disputa e, por isso, dependendo da acepção considerada, falar de pesquisa científica nem faz sentido: “A partir da literatura sobre design, aprendemos que existem várias noções concorrentes sobre o que é design. Para alguns, é uma arte, para outros, é uma ciência, e para outros é uma prática reflexiva” (BLEVIS, 2004, p. 1). Por isso, antes de tentar responder “como se faz pesquisa”, preciso discutir a definição do que é Design e o que é pesquisa em Design e apresentar meus posicionamentos, para só então conseguir justificar o modo como escolhi fazer a presente pesquisa.

Quando falamos em Design, em geral as pessoas pensam na forma e nos valores estéticos de um produto: “O design desta cadeira é lindo”, “O design deste carro é arrojado e cheio de detalhes, como os faróis em formato de olhos de felinos”. Essa é a acepção de Design como desenho e como produto. No senso comum, há uma certa confusão entre o produto e a atividade de sua criação. Miller (2004)

afirma que o produto é uma saída do design, mas não é o design em si: uma cadeira é uma cadeira, não é um design. Com esse exemplo, Miller está indicando que Design se refere ao processo de criação, a ação de projetar produtos e também serviços, o conjunto de pensamentos e atividades pelas quais um artefato é projetado e realizado. Outra concepção de Design é a da prática profissional (FRIEDMAN, 2003).

Partindo da aceção mais aceita de design como processo de projetar produtos e serviços, a presente pesquisa tem por objetivo (re)projetar serviços da propedêutica clínica considerando o uso de tecnologias de visualização tridimensional como linguagem e fonte de dados para apoiar o raciocínio nas decisões clínicas. Visando (re)projetar esse serviço, nesta pesquisa avaliamos o potencial de algumas tecnologias de visualização tridimensional que poderiam ser úteis para apoiar a propedêutica: visualização de modelos em ambientes virtuais (imersão em realidade virtual); projeção de modelos tridimensionais na realidade visualizados por smartphones (realidade aumentada); modelos impressos em 3D; dentre outras tecnologias que investiguei em estudos exploratórios iniciais, relatados no Capítulo 4. Depois optamos por projetar um produto que seria o objeto de investigação aprofundada nesta pesquisa: um ambiente virtual para a visualização de casos clínicos reais por meio de óculos de Realidade Aumentada, artefato apresentado no Capítulo 5.

Podemos compreender, portanto, que a presente pesquisa envolve o design de um serviço e de um produto em particular. Contudo, consideramos essa uma visão estreita do que é Design; estamos mais alinhados a Escobar (2018), pois consideramos que Design visa a projetar novas realidades, novos modos de pensar, novas socializações, novas culturas:

Uma coisa deve ficar clara desde o início: embora qualquer discussão sobre design invoque inevitavelmente imaginários de design estabelecidos, deve ficar claro que neste livro o design se refere a muito mais do que a criação de objetos (torradeiras, cadeiras, dispositivos digitais), edifícios famosos, serviços sociais funcionais, ou produção ecologicamente correta. O que a noção de *design* sinaliza neste trabalho — apesar dos significados múltiplos e variados do *design* — são diversas formas de vida e, muitas vezes, noções contrastantes de sociabilidade e do mundo. [...] A digitalização de tantas dimensões da vida social é um dos fatos sociais mais importantes das últimas décadas. As tecnologias digitais e as tecnologias de informação e comunicação têm a ver com todos os aspectos da vida cotidiana, e o papel do design nos territórios digitais em constante expansão e sempre em mudança é uma das questões mais comoventes para estudos críticos de design. De maneira sucinta, “fazer design digital também significa projetar a sociedade, e os designers devem se posicionar como um impulsionador da mudança social” (Kommonen n.d., 2). Para Kari-Hans Kommonen, um teórico do Laboratório de Mídia da Aalto University, em Helsinque, o princípio do design digital deve ser a consciência crítica de que “os produtos digitais também vivem no mundo social e o

mudam. O design digital não pode operar fora de seu contexto social, porque arquivos, sistemas e mídias só ganham significado como parte da prática de uma comunidade. Design eficaz e significativo é uma atividade social, na qual o designer é um ator entre muitos. Além de computadores, software, informação digital e mídia, os materiais do design digital também incluem comunidades, processos, práticas e cultura, e os designers precisam estar equipados com a habilidade correta para lidar com esses elementos . (ESCOBAR, 2018, p. 2-41, tradução nossa)

Eu, enquanto médico por formação inicial, optei por realizar pesquisas em Design envolvendo sistemas computacionais por me considerar capaz de contribuir para impulsionar mudanças na cultura médica, que considero ainda não ter se apropriado adequadamente do potencial das tecnologias computacionais de visualização tridimensional. Minha aposta nesta pesquisa é que as tecnologias de visualização tridimensional irão revolucionar o campo da Medicina, como outras tecnologias de visualização já revolucionaram no passado, conforme argumento no Capítulo 3. Portanto, realizo esta pesquisa em Design com a intenção de contribuir para dar significado para o uso das tecnologias de visualização tridimensional pela comunidade médica.

Justificado que, em termos de Design, estou projetando um serviço (propedêutica) e um produto (um ambiente virtual para visualização de casos clínicos reais por meio de óculos de realidade aumentada) com a intenção de contribuir para mudar a nossa sociedade (redesenhando algumas das práticas da medicina com a intenção de mudar a cultura médica), preciso ainda me questionar se estou fazendo pesquisa científica. Afinal, o que é fazer pesquisa científica em Design?

Durante muito tempo houve uma discussão sobre como fazer pesquisa científica nesta área de conhecimento, havendo questionamento se a pesquisa em Design necessitaria de uma metodologia científica própria. Sob o ponto de vista histórico-epistemológico, o conhecimento em Design teve sua origem na prática artesanal e na experimentação, seguida da criação de produtos de massa em sua fase industrial — as reflexões acadêmicas não pareciam ser necessárias na construção de projetos. Contudo, nas últimas décadas, à medida que áreas como Design de Interação e outras formas de Design passaram a ter mais base acadêmica, tornando-se mais difundidas como disciplinas nas universidades e desenvolvendo uma cultura em pesquisa, dois eventos ocorreram. Primeiro, fazer pesquisas se tornou uma parte reconhecida do Design de Produtos. Segundo, as atividades de Design, juntamente com os artefatos projetados, se estabeleceriam como os principais

elementos no processo de geração e comunicação de conhecimento (GIACCARDI, 2018). Findeli (2004), com base em Frayling (1993), reconheceu três relações entre pesquisa e Design: “pesquisa *para* design” (research *for* design), “pesquisa *sobre* design” (research *into* design) e “pesquisa *através* do design” (research *through* design, RtD):

- **“Pesquisa para design”** visa ajudar, orientar e desenvolver a prática de design. Essas pesquisas documentam os processos e preocupações dos designers profissionais e tratam os designers e sua prática como objeto de seu estudo.
- **“Pesquisa sobre design”** é encontrada principalmente em universidades e centros de pesquisa que contribuem para uma disciplina científica que estuda o design. Documenta objetos, fenômenos e história do design.
- **“Pesquisa através do design”** é o mais próximo da prática real de design, reformulando o aspecto de design da criação como pesquisa. Designers/pesquisadores que usam o RtD [do inglês Research through Design], na verdade criam novos produtos, experimentando novos materiais, processos, etc. (GIACCARDI, 2018, p. 2, tradução nossa)

A pesquisa *para* design é a pesquisa que se faz para que se consiga projetar um produto, a pesquisa sobre os aspectos técnicos, ergonômicos, econômicos e sociológicos, dentre outros, que estão relacionados ao projeto do produto. A pesquisa *para* design não gera conhecimento científico nem publicação científica, porque esses não são seus objetivos (pelo contrário, em centros de Pesquisa & Desenvolvimento, os resultados da pesquisa *para* design são geralmente mantidos em segredo):

Se não há dúvida para seus artesãos que a pesquisa para design é pesquisa, isso não é o mesmo para a comunidade científica. Por quê? Bem, porque na maioria das vezes, utiliza conhecimentos que já estão disponíveis e não levam à produção de novos conhecimentos que podem enriquecer o corpus científico. É constantemente refeito, durante cada projeto, porque não há acúmulo de conhecimento, apenas know-how, experiência prática. Portanto, não é sua utilidade, seu interesse ou sua necessidade que está em questão, mas seu caráter não científico. (FINDELI, 2004, p. 6, tradução nossa)

No presente trabalho, tive que fazer muita pesquisa para conseguir desenvolver o ProVis3D, especialmente em termos de conhecimentos técnicos. Tive, inclusive, que contar com o trabalho de profissionais especializados em

determinadas áreas para que fosse possível construir o artefato projetado. Foi preciso compreender como construir modelos 3D de órgãos reais (utilizamos a técnica de segmentação), como reproduzir fisicamente o órgão em diferentes tamanhos e materiais (utilizando impressoras 3D), como construir um ambiente em realidade virtual, como integrar os óculos de realidade aumentada ao ambiente virtual, como possibilitar a interação no ambiente virtual por meio da captura da imagem dos movimentos das mãos do usuário dos óculos, dentre outros conhecimentos que foram necessários no projeto do ProVis3D. Todos esses conhecimentos técnicos, contudo, já estavam disponíveis e não caracterizam a minha “pesquisa científica”.

A pesquisa *sobre* design é a pesquisa sobre objetos e fenômenos no mundo do Design, como geralmente encontramos na história da arte e na ergonomia (FINDELI, 2004, p.7). De certo modo, o Capítulo 3 desta tese pode ser entendido como uma “história do design”, em que faço uma historiografia da medicina a partir do desenvolvimento de certas tecnologias de visualização que revolucionaram a área. Não sou um historiador, mas ousei contar uma história sobre as tecnologias na medicina para justificar o artefato desenvolvido nesta tese, um argumento histórico-material sobre a tese que aqui defendo: as tecnologias de visualização tridimensional irão revolucionar a cultura médica, assim como outras tecnologias de visualização revolucionaram a Medicina no passado.

Por fim, a pesquisa *através* do design é a abordagem que visa produzir conhecimento científico atrelada ao desenvolvimento de projetos. Através das práticas já utilizadas em Design, pode-se produzir conhecimento ao se projetar com intencionalidade para resolver problemas e construir um produto para ser utilizado no mundo (GODIN, 2014). Durante um projeto, o designer-pesquisador precisa dialogar com a situação e aprender com ela, desenvolvendo um saber-fazer necessário para a criação de um artefato, e esse conhecimento aprendido pode ser transformado em conhecimento técnico e científico. Esse é o tipo de pesquisa que visamos realizar na presente tese.

Findeli (2004, p. 9, tradução nossa) destaca que a pesquisa *através* do design tem potencial para compreender a condição humana: “consideramos que a dimensão humana do design é central, porque por trás de produtos e objetos sempre há humanos”. Conforme discuto na próxima seção, na presente pesquisa visamos produzir conhecimento científicos sobre o comportamento humano relacionado ao

artefato ProVis3D.

Findeli (2004, p. 10, tradução nossa) apresenta alguns apontamentos sobre como esse tipo de pesquisa pode ser feita:

Essas reservas [sobre a epistemologia positivista e quantitativista] vêm de pesquisadores que promovem ativamente métodos e visões mais respeitadas sobre a especificidade, complexidade e dignidade do ser humano: métodos qualitativos e interpretativos (hermenêutica, fenomenologia, histórias de vida etc.), 'métodos ativos' e engajados (pesquisa participativa, pesquisa-ação, teoria fundamentada, etc.). Encontramos nessas reservas o argumento antropológico precedente, aumentado por um convite à instituição universitária para se envolver mais voluntariamente em questões sociais. Este diagnóstico, necessariamente rápido e que exigiria um argumento mais sutil, me permite caracterizar mais precisamente o que a pesquisa abrange por design e o que quero dizer com projeto de pesquisa e justificar seu uso. Esse é um tipo de pesquisa 'ativa', localizada e comprometida no campo de um projeto de design... Desejamos indicar, assim, que para pensar apenas no design, é necessário pensar "em ação" e não em uma torre de marfim. Em resumo, o projeto de pesquisa está, portanto, intimamente relacionado a: 1) pesquisa-ação, sem necessariamente adotar sistematicamente a dimensão política que isso implica devido ao seu patrimônio teórico e ideológico; 2) teoria fundamentada, que é uma versão contemporânea e distorcida da dialética platônica, sem descuidar da dimensão da ação em favor da produção teórica, nem a dimensão reflexiva frequentemente esvaziada pela inclinação neo-positivista desse método; 3) pesquisa participativa, especialmente nos casos em que a participação do usuário é ativamente procurada (co-design); 4) fenomenologia, pelo menos de acordo com a interpretação que Merleau-Ponty oferece à de Husserl. Todos esses métodos agora adquiriram o direito de estar no arsenal de métodos disponíveis nas ciências antro-po-sociais, ainda que a disputa metodológica contemporânea entre métodos quantitativos e qualitativos continue enfurecida. O projeto de pesquisa irá, portanto, extrair dele o rigor metodológico essencial à sua credibilidade científica e o pesquisador tomará o cuidado de escolher a variante ou a entonação específica mais adequada para apreender o fenômeno sob investigação, sem distorcê-lo ou reduzir sua complexidade. Podemos afirmar, portanto, o que seria impossível até quinze anos atrás, que o aspecto estritamente metodológico do projeto de pesquisa, conforme aqui descrito, pode ser dominado sem dificuldades particulares.

Com essas considerações de Findeli, começamos a responder a pergunta inicial desta seção: “como se faz uma pesquisa científica em Design?”. Não existe uma única forma de fazer pesquisa científica, e em Design não seria diferente. Devemos, portanto, apresentar e justificar como nós optamos por fazer a presente pesquisa. Assim como Findeli, reconhecemos a dimensão humana como central nas pesquisas em design. Assim como Findeli, reconhecemos também que a epistemologia interpretativa-qualitativa é mais adequada para se realizar pesquisas sobre aspectos humanos. Todavia, não seguimos todas as indicações apontadas por esse pesquisador, por exemplo, não realizamos uma pesquisa-ação; em vez disso, realizamos uma Pesquisa em Ciência do Design (Design Science Research), como discutimos na próxima seção. Algumas outras opções metodológicas apontadas por Findeli, como Pesquisa Participativa e Teoria Fundamentada em Dados, coincidem com nossas escolhas metodológicas, como apresento nas seções posteriores.

2.2 Design Science Research (DSR)

Design Science Research (DSR), que pode ser traduzido como “Pesquisa em Ciência do Design”, é uma abordagem epistemológico-metodológica para se pensar-fazer² pesquisas científicas centradas no desenvolvimento de artefatos. Um artefato pode ser um produto, mas essa noção não se restringe a objetos físicos. Um artefato é algo projetado, um engenho, uma artificialidade; por ser tanto um produto quanto um serviço, e de maneira ainda mais geral, considera-se um artefato qualquer coisa projetada para alcançar um objetivo (PEFFERS et al., 2007).

Desenvolver um artefato, contudo, não garante o fazer científico, como alerta Pimentel (2018, p. 54):

Custei a compreender que desenvolver sistemas computacionais não é fazer pesquisa científica. [...] Essa confusão entre desenvolver um artefato e fazer uma pesquisa científica me perseguiu por muitos anos. Uma confusão que assombra muitos pesquisadores em computação: “Em computação, os termos ciência e tecnologia quase sempre andam tão juntos que muitas pessoas têm dificuldade em distingui-los. [...] Observa-se que, algumas vezes, dissertações e teses em computação, bem como artigos científicos, ainda são fortemente caracterizados como apresentações meramente tecnológicas: sistemas, protótipos, frameworks, arquiteturas, modelos, processos, todas essas construções são técnicas, e não necessariamente ciência”(Wazlawick, 2008, n.p.).

Ciência, cuja origem etimológica significa “conhecimento”, busca produzir explicações sobre o mundo, o que é operacionalizado por meio de elaboração de teorias. Portanto, teoria é a base e a finalidade do fazer científico. Toda pesquisa, para ser reconhecida como científica, deveria partir de uma teoria e objetivar contribuir novos conhecimentos teóricos, seja corroborando com conhecimentos existentes ou colocando-os em dúvida (FILIPPO; PIMENTEL; WAINER, 2011).

Ciência é a busca do conhecimento e das explicações. A ciência constrói teorias para explicar os fatos observados. [...] Ao contrário da ciência, a tecnologia não tem por vocação explicar o mundo. Ela é prática e existe para transformar o mundo, não para teorizar sobre ele. (WAZLAWICK, 2008, n.p.)

Desenvolver artefatos não implica necessariamente em desenvolvimento da ciência. O desenvolvimento de artefatos envolve conhecimentos técnicos, não necessariamente conhecimentos científicos. Não que o conhecimento técnico seja

² Como recorrentemente praticado nas Pesquisas com Cotidianos (ALVES, 2001), esses termos foram aqui grafados juntos para indicar a não separação entre o fazer e o pensar, uma licença ortográfica para desconstruir as dicotomias que organizaram o pensamento das ciências na Modernidade.

menos importante que o conhecimento científico, apenas são conhecimentos distintos. Ainda que artefatos inovadores frequentemente sejam resultados de descobertas científicas, e ainda que seja preciso conhecimento sobre o mundo (ciência) para se projetar bons artefatos, esses tipos de conhecimento são distintos, embora relacionados.

Design Science Research baseia-se nessa distinção-e-relação entre conhecimento técnico e conhecimento científico, tecnologia e ciência, artefato e teoria. O desenvolvimento de artefatos pode apoiar o desenvolvimento de pesquisa científica sobre o comportamento humano, pois, assim como disse Findeli (2004, p. 9, tradução nossa), “por trás de produtos e objetos sempre há humanos”. Hevner e Chatterjee (2010) representaram a separação-e-relação entre Design Science Research e Behavioral Science Research apresentada na Figura 6.

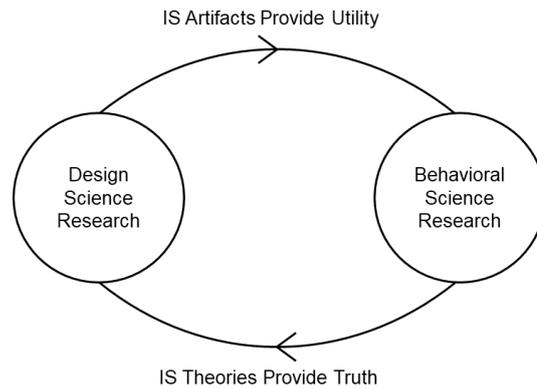


Figura 6 - Separação-e-relação entre artefato e teoria. Fonte: HEVNER; CHATTERJEE, 2010, p.11.

Com base nessa figura, Pimentel, Filippo e Santoro (2019) elaboraram a Figura 7 caracterizando a relação entre artefato e teoria e a dinâmica que possibilita o desenvolvimento de conhecimento científico atrelado ao conhecimento técnico:

Na DSR, o pesquisador está comprometido com dois objetivos: (1) resolver um problema prático num contexto específico por meio de um artefato e (2) gerar novo conhecimento científico. Portanto, dois ciclos de pesquisa estão inter-relacionados na DSR: um sobre o projeto do artefato, denominado Ciclo de Design (HEVNER, 2007) ou Ciclo de Engenharia (WIERINGA, 2014), cujo objetivo é projetar um artefato para solucionar um problema real em um determinado contexto; e outro denominado Ciclo de Conhecimento ou Ciclo do Rigor, sobre a elaboração de conjecturas teóricas relacionadas ao comportamento humano ou organizacional. A inter-relação entre esses dois ciclos, representada na Figura 2, indica que as conjecturas teóricas subsidiam o projeto do artefato, e o uso do artefato, por sua vez, possibilita investigar as conjecturas teóricas.

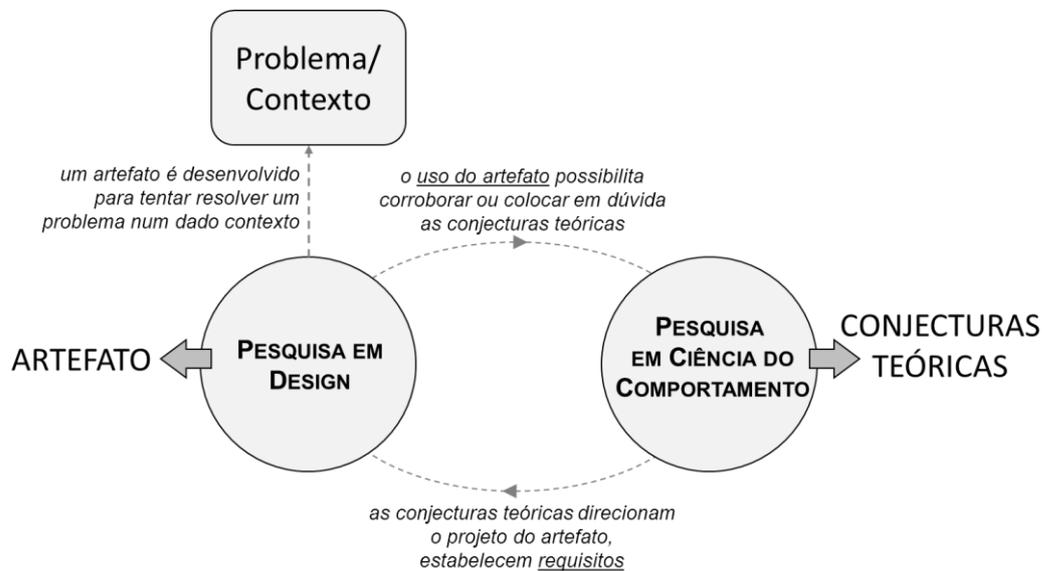


Figura 7 - Principais elementos de uma pesquisa em DSR. Fonte: PIMENTEL; FILIPPO; SANTORO, 2019, p. 7, adaptado de HEVNER; CHATTERJEE, 2010, p. 11 e WIERINGA; 2014, p. 14.

Nessa perspectiva, para se produzir conhecimento científico atrelado ao desenvolvimento de artefatos, deve-se fundamentar o projeto de um artefato em uma teoria científica considerando algumas conjecturas comportamentais sobre como as pessoas trabalham, pensam, se relacionam, aprendem, se comunicam etc. O artefato, ao estar construído (ainda que seja na forma de um protótipo), pode ser colocado em uso. O uso do artefato, por sua vez, possibilita avaliar a validade das conjecturas que fundamentaram o desenvolvimento do artefato (Avaliação Empírica). Sendo assim, o processo de desenvolvimento de um artefato e a investigação sobre o seu uso possibilitam produzir conhecimentos sobre o mundo, tanto técnico (sobre a arte-de-fazer) quanto científico (comportamento humano).

Em DSR, portanto, busca-se compreender fenômenos humanos e sociais atrelado ao desenvolvimento de artefatos. Essa perspectiva epistemológica tem origem na obra de Herbert Simon, *As ciências do artificial*, originalmente publicada em 1969. Nesse livro, Simon caracteriza as ciências do artificial ao mesmo tempo como ciência e paradigma epistemológico, apontando a necessidade de se gerar conhecimento sobre os artefatos, dado que “o mundo em que vivemos hoje é mais feito pelo homem, ou artificial, do que um mundo natural” (SIMON, 1996, p. 2). Como pesquisador e pensador consagrado em diferentes áreas, sua argumentação foi de grande relevância para pesquisas relacionadas a projetos, seja na área do Design, da Engenharia ou dos Sistemas de Informação.

Em DSR, ao se projetar um artefato inovador, emprega-se o método abduutivo para conceber soluções criativas para um problema (DRESCH et al., 2015), que é o pensamento tipicamente empregado no Design, sistematizado como Design Thinking (PIMENTEL et al., 2017). Portanto, Design Science Research é um modo de se fazer pesquisa *através* de Design, sendo essa a abordagem epistemológica-metodológica da presente tese.

É através deles [dos projetos], através de sua originalidade, através de sua fertilidade, através de sua atualidade, através de sua relevância, enfim, através de seu escopo antropológico e científico, que o design pode se estabelecer como uma disciplina acadêmica de pleno direito. Em outras palavras, é dizendo coisas sobre o mundo que nenhuma outra disciplina científica também pode dizer ou dizer, aumentando assim a inteligibilidade — e (portanto?) a beleza — do mundo que a pesquisa em design provará sua necessidade. Entre os muitos fenômenos possíveis do mundo, aqueles que interessam sobretudo ao design são aqueles que constituem o mundo artificial, o mundo construído pelo homem; é o mundo como um projeto, e não o mundo como objeto das ciências descritivas que lhe são familiares. Além disso, é a parte do mundo, humana e não humana, que o design busca construir em suas diversas práticas profissionais. Mais uma razão, portanto, para se esforçar para aumentar a inteligibilidade. [...]. É, em resumo, o mundo como um projeto humano para construir ou preservar e o mundo como um projeto humano para habitar que constituem o objeto privilegiado da pesquisa em

Design, como o entendemos em nosso programa em “Design & complexidade”. (FINDELI, 2004, p. 11-12, tradução nossa)

Para nos apoiar a pensar-fazer a presente pesquisa, utilizamos o Modelo DSR (PIMENTEL, 2019; PIMENTEL; FILIPPO; SANTORO, 2019). Esse modelo não é um método de pesquisa, mas é utilizado como guia para pensar-fazer a pesquisa porque, por meio da representação-e-visualização dos elementos que precisam estar coerentemente inter-relacionados em uma pesquisa em DSR, a instanciação de uma pesquisa nesse modelo apoia o pesquisador a pensar e a planejar o que deve ser feito em sua pesquisa. Os elementos principais do Modelo DSR encontram-se representados na Figura 8.

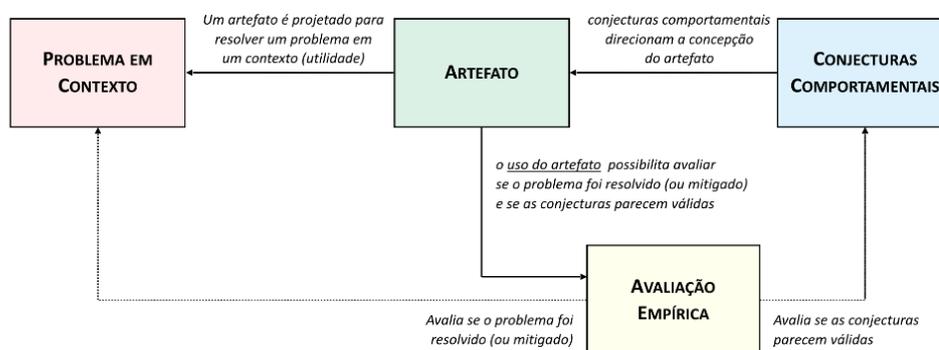


Figura 8 - Elementos centrais do modelo DSR. Fonte: PIMENTEL, 2019.

Este modelo explicita que um artefato deve ser projetado para resolver um problema que ocorre num dado contexto e, para possibilitar a pesquisa científica atrelada ao desenvolvimento do artefato, o artefato deve estar fundamentado em conjecturas comportamentais derivadas de teorias. Uma avaliação empírica deve ser realizada com um duplo objetivo: avaliar se o artefato realmente resolve o problema, e se as conjecturas teóricas parecem válidas.

Os elementos apresentados na Figura 9 explicitam as revisões de literatura que precisam ser feitas para fundamentar uma pesquisa científica em DSR.

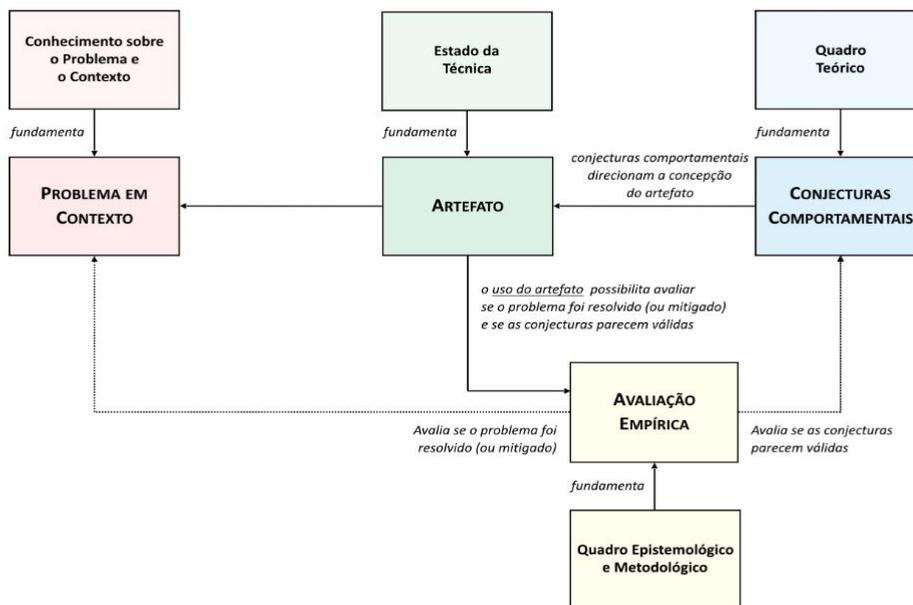


Figura 9 - Revisão de literatura necessária para fundamentar os elementos centrais do modelo DSR. Fonte: PIMENTEL, 2019.

Toda solução planejada, por mais inovadora que seja, necessita de uma pesquisa *para* o Design, especialmente sobre o conhecimento técnico existente (estado da técnica). Mesmo que não haja nada semelhante ao artefato projetado, soluções correlacionadas e técnicas de como-fazer contribuem para pensar e projetar uma solução. É preciso, também, ter conhecimento sobre o problema e o contexto, pois esse conhecimento direciona o projeto do artefato. As conjecturas comportamentais, por sua vez, precisam estar fundamentadas em um quadro teórico. A avaliação empírica precisa ser projetada levando em consideração um quadro epistemológico-metodológico da pesquisa científica.

Outros elementos detalham os quatro elementos principais, conforme apresentado na Figura 10, o que resulta no Modelo DSR completo.

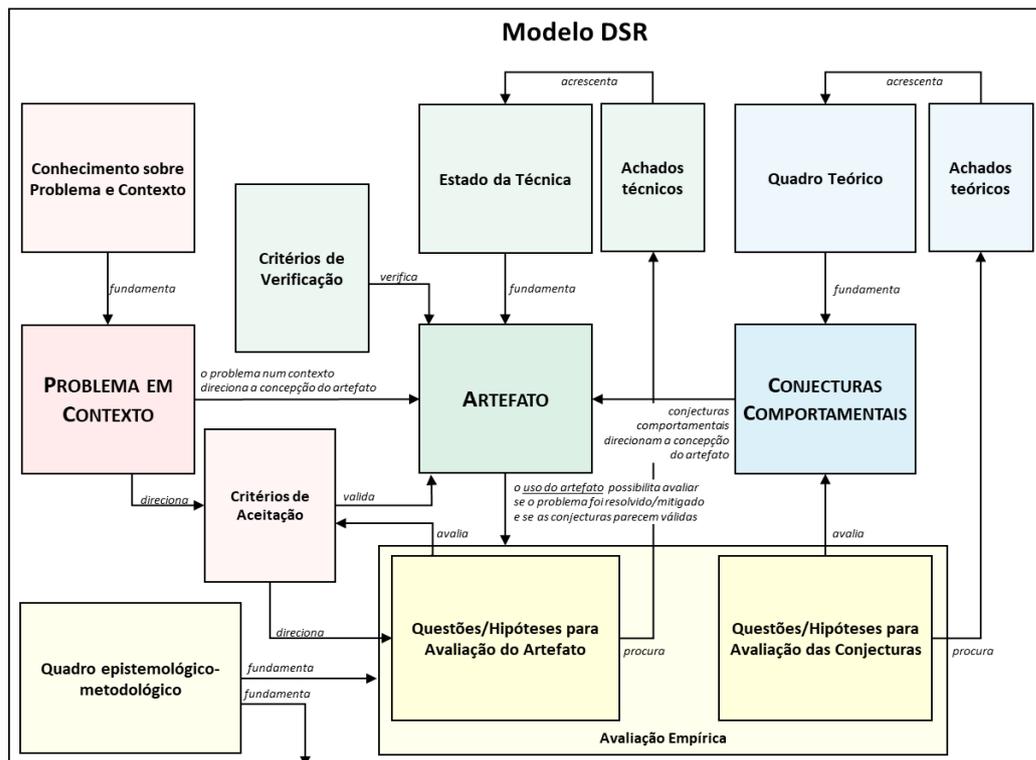


Figura 10 - Modelo DSR. Fonte: adaptado de PIMENTEL, 2019.

Os critérios de verificação estão relacionados ao funcionamento do artefato: são critérios para avaliar se o artefato funciona, se não tem problemas graves que impeçam o seu uso. Já os critérios de aceitação do artefato estão relacionados à validade do artefato, devendo ser indicados para avaliar se um artefato resolve satisfatoriamente o problema no contexto. Os critérios de aceitação em geral estão baseados em algum modelo de aceitação de tecnologia, como TAM (DAVIS, 1989), UTAUT (VENKATESH et al., 2003) e UTAUT2 (VENKATESH et al., 2012). O potencial de aceitação do artefato deve ser investigado por meio de avaliação empírica, que deve buscar responder/confirmar as questões/hipótese de pesquisa. O pesquisador deve definir questões/hipóteses de pesquisa relacionadas à aceitação do artefato (baseadas nos critérios de aceitação), bem como questões/hipóteses de pesquisa relacionadas às conjecturas comportamentais que fundamentaram o design do artefato. A pesquisa empírica visa a produzir conhecimentos técnicos e conhecimentos científicos, que constituem os achados da pesquisa que fazem avançar o estado da técnica e o quadro teórico, as contribuições da pesquisa científica.

Apresentado o Modelo DSR, agora podemos utilizá-lo para explicar o projeto da presente pesquisa científica. A instância do Modelo DSR desta pesquisa

está apresentada na Figura 11. Algumas das informações contidas nessa instância já foram apresentadas nas seções anteriores, mas são aqui retomadas para mostrar que os elementos de pesquisa estão coerentemente relacionados neste projeto.

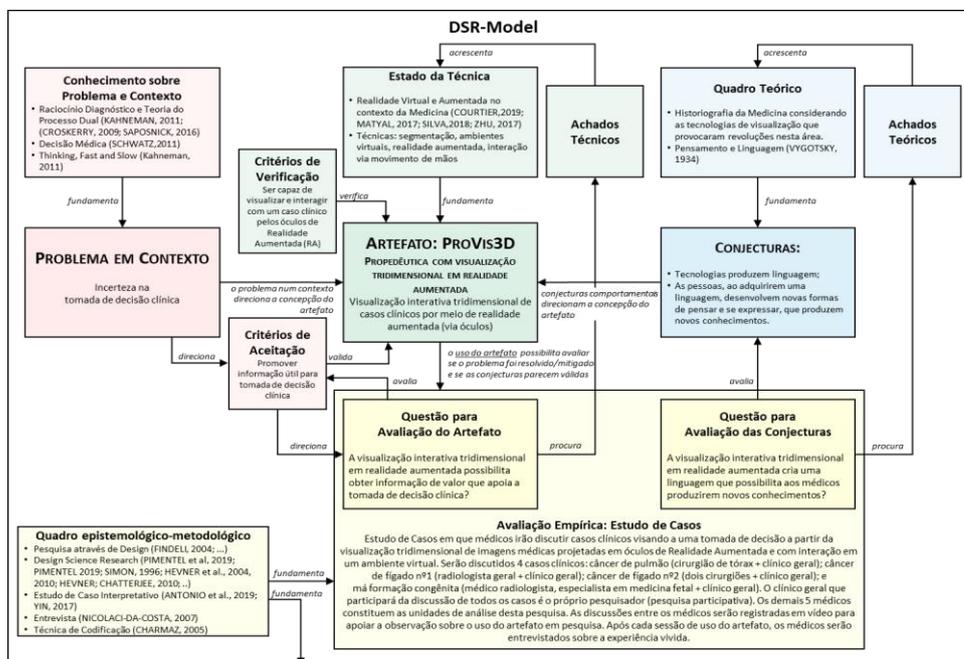


Figura 11 - Instância do Modelo DSR representando a pesquisa aqui projetada e realizada Fonte: do próprio autor.

O problema que buscamos mitigar nesta pesquisa é a incerteza na tomada de decisão clínica. Esse é um problema insolúvel, pois a medicina não é uma ciência exata e algum grau de incerteza sempre vai existir, por mais informado que o médico esteja na hora de tomar uma decisão (conforme fundamentado na Seção 1.2). Dessa forma, como critério de aceitação, nesta pesquisa iremos considerar um artefato válido se ele promover alguma informação de valor para a tomada de decisão. Um artefato que forneça apenas informações que não apoiam a tomada de decisão será considerado inaceitável porque informações desnecessárias atrapalham o médico (problema de sobrecarga de informações). Portanto, o que está em questão nesta pesquisa é saber se o artefato proposto irá de fato promover informações de valor ou se irá atrapalhar o médico com informações inúteis ao processo de tomada de decisão clínica (a antítese da proposição feita nesta pesquisa).

O artefato ProVis3D (apresentado no Capítulo 5) desenvolvido nesta pesquisa visa a reduzir a incerteza na tomada de decisão clínica. Consiste no design

de uma propedêutica que inclua, em seus procedimentos, o uso de tecnologias de visualização tridimensional. Para essa nova propedêutica, após pesquisas exploratórias sobre algumas tecnologias de visualização tridimensional (apresentadas no Capítulo 4, sobre o estado da técnica), optamos por desenvolver um produto específico, uma tecnologia para a visualização tridimensional de modelos virtuais de casos clínicos (construído a partir da técnica de segmentação). O modelo virtual é projetado nas lentes dos óculos de realidade aumentada (RA) e o usuário interage com o modelo por meio de movimentos com as mãos, capturados pela câmera acoplada aos óculos, tornando a experiência do usuário interativa ao possibilitar o usuário ampliar ou reduzir o modelo, rotacioná-lo, adentrar no órgão representado no modelo, ocultar partes dele etc. Dessa forma, um médico pode realizar investigações sobre o modelo virtual tridimensional do caso clínico. Consideramos, como critério para verificar se o artefato está funcionando satisfatoriamente (construído correto, pronto para o uso), que seria necessário um usuário conseguir visualizar e interagir com um caso clínico nos óculos de Realidade Aumentada.

Em termos teóricos, como apresentado na Seção 1.3, conjecturamos que as tecnologias de visualização criam linguagem que, por sua vez, promove novas formas de pensamento que resultam em novos conhecimentos. Por conjecturarmos dessa forma é que estamos apostando que um médico, ao utilizar o artefato desenvolvido nesta tese (interagindo com um modelo virtual tridimensional de um caso clínico), será levado a pensar de maneira diferente da usual e assim obterá informação de valor para uma tomada de decisão clínica. Essa aposta também se baseia no fato de que, ao longo da história da medicina, algumas tecnologias de visualização foram revolucionárias e promoveram novas formas de conhecimento que mudaram a cultura médica, conforme apresentamos no Capítulo 3 (sobre o quadro teórico).

Será que estamos certos e tudo isso faz sentido, ou será que estamos enganados? Precisamos buscar respostas para as questões de pesquisa: será que o artefato realmente possibilita obter informação de valor para a tomada de decisão clínica?; será que essa tecnologia de visualização realmente cria uma linguagem que possibilita aos médicos produzirem novos conhecimentos? Responder essas questões implica em avaliarmos se o artefato é satisfatório e se as conjecturas parecem válidas, o que requer uma pesquisa empírica. Optamos, como método de

pesquisa empírica, realizar um Estudo de Caso Interpretativo, como apresentado na próxima seção (2.3). Resumidamente: no estudo empírico, médicos irão discutir um caso clínico visando a tomar uma decisão a partir da visualização do modelo do caso clínico projetado nos óculos de Realidade Aumentada e com interação no ambiente virtual desenvolvido nesta pesquisa. A partir desse estudo, esperamos conseguir dar uma resposta para as questões de pesquisa, encontrando achados técnicos e achados teóricos que serão as contribuições desta pesquisa.

2.3 Estudo de Caso Interpretativo

DSR não estabelece um método específico para se fazer a avaliação empírica, cabendo ao pesquisador tomar esta decisão (PIMENTEL et al., 2019; WIERINGA, 2014):

Para avaliar se o problema foi resolvido e se as conjecturas teóricas parecem válidas, é preciso fazer uso do artefato proposto no contexto para o qual foi desenvolvido. Para isso, o(a) pesquisador(a) deverá realizar uma pesquisa científica, como Etnografia, Estudo de Caso ou Experimento, fazendo uso das técnicas de coleta/produção de dados como Medição, Questionário, Entrevista, Grupo Focal, Observação Direta, entre outras. Cabe ressaltar que, na DSR, não é pressuposto o uso de um método de pesquisa específico para as avaliações, cabendo ao(à) pesquisador(a) a responsabilidade de bricolar os dispositivos e instrumentos para realizar as investigações empíricas necessárias. (PIMENTEL, FILIPPO, SANTORO, 2019, p. 9).

Na presente pesquisa, optamos por realizar Estudos de Casos. Yin afirma que podemos utilizar o método Estudo de Caso quando o pesquisador busca “conseguir um exame em profundidade (e detalhado) de um ‘caso’ dentro do seu contexto de mundo real” (YIN, 2015, p. 226). Esse é um método útil quando os pesquisadores querem responder questões do tipo “como” e “por quê” e, quando utilizado para realizar pesquisa exploratória, método também é útil para responder questões do tipo “o quê”. A presente pesquisa é exploratória: buscamos compreender o que acontece quando o artefato projetado nesta pesquisa é usado por médicos, especialmente se o uso do artefato possibilita o médico obter alguma informação de valor para uma tomada de decisão clínica.

Outro fator determinante para termos optado pelo uso de Estudo de Caso se deve ao fato de que o próprio Yin (2015, p. 226) argumenta que esse método pode ser usado como técnica de avaliação empírica em outras abordagens de pesquisa científica:

O uso da pesquisa de estudo de caso em avaliações origina-se da característica definidora da pesquisa de estudo de caso destacada no Capítulo 1 deste livro: conseguir um exame em profundidade (e detalhado) de um “caso” dentro do seu contexto de mundo real. [...] Quando aplicada a avaliações, a pesquisa de estudo de caso compartilha as outras características relevantes para qualquer outra forma de pesquisa de estudo de caso.

Um Estudo de Caso pode ser realizado tanto na perspectiva positivista quanto na perspectiva interpretativa (ANTONIO et al., 2018; ANTONIO et al., 2019). De acordo com Antônio e colaboradores:

Nos estudos realizados sob o paradigma interpretativo, não se busca uma análise objetiva do fato científico, mas uma interpretação narrativa. Desse modo, não pressupõe um ambiente estável e bem delimitado para obtenção de medidas objetivas, mas é permitido ao pesquisador compreender um fenômeno em seu contexto social. A visão interpretativa concebe que o conhecimento emerge em meio às interações sociais. Questões do tipo “como um sistema evolui e envolve atores ao longo do tempo”, diferentes das formuladas sob o paradigma positivista, podem ser melhor estudadas por meio de métodos históricos e observacionais que apresentam uma narrativa e se aproximam do paradigma interpretativo. (ANTONIO et al., 2019)

O paradigma positivista parte do princípio que a produção do conhecimento científico deve ser baseada em modelos matemáticos, que os fenômenos devem ser mensuráveis para que possa ser avaliado de forma quantitativa, dedutiva e reducionista. Esse é o modelo de pensamento de origem cartesiana, que produziu ao longo dos anos resultados experimentais importantes no desenvolvimento principalmente das Ciências da Natureza (Física, Química, Biologia etc.). É um procedimento de investigação objetivo.

O paradigma interpretativo assume que o mundo social (i.e., relações sociais, organizações, divisão de trabalho) não são “dadas” pela natureza. Ao contrário, o mundo social é produzido e reforçado pelos humanos por meio de suas ações e interações (ORLIKOWSKI; BAROUDI, 1991). Este paradigma não é um modo recente de fazer pesquisa, já sendo utilizada nas áreas humanas desde o início do século XX. Com o avanço das Ciências Sociais, desde o final do século XX, várias formas de pesquisas se apropriaram desse paradigma para desenvolver investigações qualitativas sobre o comportamento humano. É um procedimento investigativo baseado na subjetividade.

As pesquisas conduzidas sob o paradigma interpretativo trabalham suas investigações no ambiente onde os problemas e as soluções ocorrem, possibilitando o estudo do comportamento das pessoas nos seus contextos sociais. Os conhecimentos são construídos a partir da observação e compreensão, propondo um

diálogo entre teoria e campo, por meio do qual emergem as reflexões e teorizações (KLEIN; MYERS, 1999).

Algumas considerações nos levaram a escolher Estudo de Caso Interpretativo (ECI) para a avaliação empírica desta pesquisa, sob o ponto de vista hermenêutico, entendido como uma teoria geral da compreensão. De acordo com Klein e Myers (1999), em um ECI, o conhecimento da realidade é obtido por meio de construções sociais como linguagem, consciência e significados compartilhados. Em um ECI não se define variáveis que possam ser medidas de modo objetivo, nem são estabelecidas relações de causa e efeito; a investigação que desejamos aqui realizar focaliza na complexidade da tomada de decisão à medida que a situação emerge, e buscamos compreender o fenômeno através dos significados que usuários atribuem a eles.

Para a realização da avaliação empírica a ser conduzida nesta pesquisa, projetamos diferentes casos, com cinco unidades de análise (cada médico convidado para usar o artefato da pesquisa consiste em uma unidade de análise nesta pesquisa). A abordagem é observacional e interpretativa, com a finalidade de compreender e refletir sobre o comportamento do médico, especialmente a sua tomada de decisão, quando utiliza o artefato desenvolvido nesta pesquisa.

Foram projetadas diferentes cenas para possibilitar a observação das experiências dos usuários do ProVis3D (médicos especialistas e não especialistas) ao visualizar imagens médicas em contextos anatômicos reais (reconstrução 3D a partir de exames de tomografia computadorizada e modelos 3D coloridos com todas as estruturas nas suas posições reais) e ao interagir com essas imagens por meio de realidade aumentada. A cena virtual consiste em uma imagem tridimensional dinâmica, que pode ser manipular para apoiar um cirurgião no seu planejamento cirúrgico ou apoiar um radiologista a complementar seu laudo na estação de trabalho (*workstation*). Os médicos visualizam a cena inicialmente em RV e posteriormente em RA.

Antes da realização dos casos planejados para esta pesquisa, um estudo de caso piloto foi realizado com Dr Rui Hadadd em aparelho celular e iPad, conforme documentado no Apêndice. Esse estudo piloto foi realizado visando a melhorar os enunciados da pesquisa, o projeto dos casos, os instrumentos de coleta de dados e praticar a técnica de interpretação dos dados da pesquisa. No estudo piloto, a experiência foi feita antes e durante uma cirurgia real, na qual eu (médico clínico e

pesquisador) interagiu com o desenvolvedor do aplicativo móvel (um físico de formação com pós-graduação em medicina clínica) e um cirurgião especialista. A cirurgia foi planejada utilizando RV e Realidade Mista e, durante a cirurgia, a RA foi experimentada. Para este estudo piloto, foram produzidos modelos tridimensionais que representavam um sítio cirúrgico, em uma escala de 1:1, que seriam abordados cirurgicamente. Neste contexto, as relações anatômicas eram fidedignas, reproduzindo a visualização que o cirurgião encontra quando aborda o campo cirúrgico. Nesse estudo, observei a dificuldade de interação com o objeto virtual, a dificuldade de alinhar os objetos na primeira oportunidade e eventualmente o usuário perder o controle sobre o modelo 3D. No restante do estudo, os controles virtuais, para manipular os modelos, funcionaram a contento e não houve problema algum relacionado a visualização.

Para os estudos de caso, foram selecionados quatro casos para avaliação. O primeiro caso é de um câncer de pulmão em que o objetivo é avaliar as relações anatômicas entre vasos e massa tumoral. Este estudo foi feito após a cirurgia. No segundo caso, um câncer de fígado que não havia sido operado e que as relações entre os segmentos hepáticos necessitavam ser avaliados, assim como a relação da massa tumoral com os vasos. O terceiro caso, uma má formação congênita complexa necessitava de avaliação para indicar a viabilidade de fazer tratamento cirúrgico. O quarto caso, um câncer do fígado, que havia sido operado na mesma semana e deveria ser avaliado para comparar os achados cirúrgicos com a visualização tridimensional. (YIN, 2015)

Esses casos clínicos foram escolhidos por já terem sido avaliados antes dos Estudos de Casos Interpretativos pelo médico assistente em situações reais, centro cirúrgico ou na sua estação de trabalho. Os casos foram projetados para produzir uma conversa entre o clínico geral (eu) e um médico especialista (medicina fetal ou cirurgião torácico) ou médico generalista (cirurgião geral ou radiologista). Eu, enquanto clínico geral, participei da discussão de todos os casos (pesquisa participativa).

2.4

Triangulação de dados: observação do uso e entrevista com os usuários

Nesta pesquisa, por meio dos estudos empíricos, foram produzidos dados para investigar o potencial do artefato e identificar problemas que precisarão ser enfrentados em trabalhos futuros. O objetivo é investigar como os médicos efetivamente usam o artefato em atividades reais, que informações obtêm para a decisão clínica e quais problemas enfrentam.

Foram produzidos dados de diferentes fontes de evidência, visando a triangulação dos dados por meio de uma cadeia de evidências para que a conclusão sobre os estudos tivesse mais credibilidade. Ao projetar os dados a serem produzidos, foram selecionadas duas fontes de informação: a observação do uso do artefato e os discursos produzidos pelos médicos-usuários do artefato. A sessão de uso do ProVis3D por cada médico foi observada por mim e filmada para a consulta posterior. O uso do artefato foi realizado no Instituto Tecgraf de Desenvolvimento de Software Técnico-Científico da PUC-Rio. Após cada sessão de uso do artefato, o médico-usuário foi entrevistado por aproximadamente 20 minutos sobre a experiência vivida. As entrevistas foram gravadas e filmadas no ECOA.³

As entrevistas foram estruturadas utilizando o Método de Explicitação do Discurso Subjacente (MEDS) (NICOLAI, 2007). Um roteiro com tópicos de entrevista foi construído para semiestrutar as entrevistas (os tópicos são fixos, mas a entrevista deve fluir como numa conversa, sem a imposição de uma sequência de perguntas elaboradas previamente). Para questionar os médicos-usuários sobre a aceitação do artefato, foram definidos tópicos da entrevista baseados no Modelo de Aceitação de Tecnologias (TAM), proposto por Davis (1989) e Davis et al. (1989). TAM baseia-se na hipótese de que a aceitação e o uso da tecnologia podem ser explicados em termos de crenças, atitudes e intenções internas de um usuário, influenciadas principalmente por dois fatores: utilidade e facilidade de uso da tecnologia (BUDGEN, 2010). Levando isso em consideração, foram estabelecidos dois tópicos para guiar uma parte da entrevista (sendo que as perguntas

³ O ECOA é uma unidade complementar da PUC-Rio. <http://ecoawordpress.usuarios.rdc.puc-rio.br>. É possível acessar aos vídeos a partir dos seguintes links:
<https://drive.google.com/open?id=1DAaSmHVO2342LZQz9IR-vzKQF4DREuvO>
<https://www.youtube.com/user/leonardofrajhof1/featured>
<https://globoplay.globo.com/v/6786754>
<http://jovs.amegroups.com/article/view/20339/20094>

apresentadas a seguir são apenas para ilustrar o tipo de conversa que eu deveria estabelecer ao entrevistar cada médico):

- **Facilidade de uso percebida:** O que achou dos óculos? O que sentiu ao usar os óculos? Como foi a interação? Quais as facilidades? Quais as dificuldades? O que deveria ser mantido? O que deveria ser modificado?
- **Utilidade da tecnologia:** Qual a utilidade dessa tecnologia para a discussão do caso médico? Que informações a tecnologia nos fornece? De que maneira essa tecnologia poderia ser útil na sua prática? Qual o potencial dessa tecnologia para a tomada de decisão clínica? Qual o potencial dessa tecnologia para alterar as práticas médicas?

Para possibilitar uma avaliação das conjecturas teóricas desta pesquisa (tecnologias produzem linguagem; e as pessoas, ao adquirirem uma linguagem, desenvolvem novas formas de se expressar e de pensar), foi elaborado um tópico para a entrevista:

- **Comunicação/compreensão:** O que esta tecnologia o fez ver/pensar de diferente? Essa tecnologia nos possibilitou conversar de um modo diferente e sobre coisas com as quais não estamos habituados? Qual o potencial desta tecnologia para a comunicação da equipe médica? E para a comunicação médico-paciente?

Esse roteiro foi aplicado de forma flexível para respeitar o fluxo de associações do entrevistado. Posteriormente, as entrevistas gravadas foram transcritas na íntegra (ver Apêndice 3-8 desta tese), servindo como fonte de dados para as interpretações apresentadas no Capítulo 6.

2.5

Interpretação dos dados: Análise do Discurso e técnica de codificação da Teoria Fundamentada em Dados

De acordo com o método MEDS, deve-se interpretar os depoimentos dos entrevistados em duas etapas: (a) análise das respostas dadas pelo grupo como um todo, chamada de análise inter-participantes; e (b) análise detalhada de cada uma das entrevistas individuais, chamada de análise intra-participantes.

Para apoiar a interpretação dos discursos dos entrevistados, foi utilizada a técnica de codificação da Teoria Fundamentada em Dados:

Codificação, nesta técnica, significa nomear segmentos como dados, atribuir uma etiqueta que simultaneamente categoriza, resume e contabiliza cada parte selecionada como códigos. Códigos mostram como selecionar, separar e classificar dados para iniciar uma contabilidade analítica deles. Os códigos qualitativos separam segmentos de dados, nomeiam os em termos de forma concisa e propõem um identificador analítico para desenvolver ideias abstratas e interpretar cada segmento de dados. A codificação funciona como o primeiro passo, definindo o que é considerado significativo nos dados e descrevendo o que achamos que está acontecendo. (CHARMAZ, 2006, p. 43-45).

Para realizar a interpretação dos discursos, busca-se recorrências e dessas recorrências emergem categorias. Esse processo de codificação deve ser feito em duas fases: uma fase inicial envolvendo a nomeação de cada linha ou segmento de dados, e uma fase focada e seletiva, que utiliza os códigos iniciais mais significativos ou frequentes, para classificar, sintetizar, integrar e organizar grandes quantidades de dados. (CHARMAZ, 2006, p. 46)

Para realizar o processo de codificação dos discursos, utilizei O ATLAS.ti,⁴ um software usado em pesquisa qualitativa para apoiar a interpretação de dados. O objetivo do ATLAS.ti é apoiar os a investigação de fenômenos complexos ocultos em dados não estruturados. O programa fornece ferramentas que permitem ao usuário localizar, codificar e anotar descobertas no material de dados primário, para avaliar sua importância e visualizar as relações, muitas vezes complexas entre eles. Também fornece ferramentas analíticas e de visualização, projetadas para abrir novas visões interpretativas do material. Após a codificação dos dados das entrevistas realizada no ATLAS.ti, interpretações foram feitas, "obedecendo o princípio de que elas são sempre parciais e relativas a determinados contextos sociais e que recorrências dos códigos são indicativas de conhecimento social compartilhado ou de ideias e crenças culturalmente difundidas. Métodos qualitativos são especialmente adequados para a apreensão da complexidade dos fenômenos humanos e sociais" (CHARMAZ, 2006, p. 73). As interpretações feitas encontram-se apresentadas no Capítulo 6 desta tese.

⁴ Disponível em: <<https://atlasti.com>>.

3

Tecnologias de visualização que foram disruptivas no campo da Medicina: criação de linguagens que provocaram mudanças da cultura médica⁵

Partindo do pressuposto que tecnologia produz linguagem e promove outras formas de pensar, procuramos identificar neste capítulo os períodos históricos em que as tecnologias de visualização promoveram novos conhecimentos na cultura médica. Cada seção é organizada a partir da perspectiva de que determinado período cultural pode ser delimitado a partir da introdução de uma nova tecnologia de visualização.

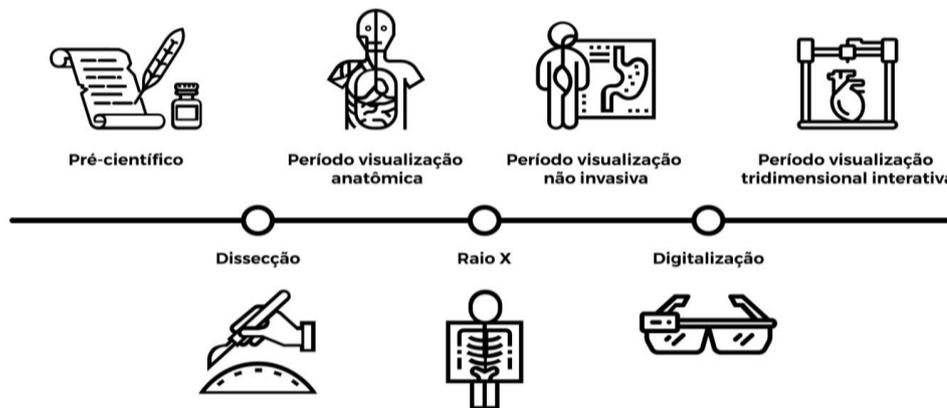


Figura 12 - Linha do tempo. Fonte: do autor.

3.1

Período da medicina pré-visual, a medicina baseada em conhecimentos mágico-religiosos

O conhecimento médico, anterior à abertura dos corpos, foi construído a partir das práticas mágico-religiosas para cura. Sua forma de comunicação, oral e esotérica, foi se organizando ao longo dos séculos como linguagem escrita.

O pensamento especulativo na Grécia Antiga funciona aqui como marco epistemológico e referência cultural para delimitar a ancestralidade desta pesquisa. Não sob o ponto de vista histórico da ascensão de uma cultura médica no mundo

⁵ Este capítulo inclui trechos e paráfrases de minha própria dissertação de mestrado, *Prospecção de tecnologias 3D para uso em medicina*, apresentada em 2015 na PUC-Rio.

antigo, pois esta narrativa já foi feita, mas sim no sentido de criar, a partir daí, uma narrativa histórica da visualização dos corpos para além de suas superfícies visíveis, especulações mágico-religiosas e filosóficas.

Neste mundo antigo, as civilizações do Oriente e Pré-Helênicas já haviam acumulado um progressivo conhecimento sobre suas práticas de cura, organizando um conjunto teórico e prático para tratamento dos males que afligiam os humanos e recomendações para diminuição de seus sofrimentos. Seus escritos, anteriores ao período de grande desenvolvimento científico helênico, revelavam tradições orais de cura, observações a respeito da evolução das doenças e suas práticas de uma forma dispersa, desorganizada e não sistematizada.

Isso não significa que estes conhecimentos da saúde tenham menos ou menor valor, ou que estejam em um estágio cultural inferior, mas simplesmente que correspondem a um período histórico no qual a tradição oral predominava como forma de comunicação e as palavras tinham a força do encantamento e de transformação, possibilitando a cura dos males que afligiam os humanos. Corpos humanos funcionavam como veículo do divino, pertencendo ao campo do sagrado, no qual entender e curar a doença fazia parte do conhecimento mágico-religioso. Segundo este modelo de pensamento, o fundamento da realidade era identificado com um princípio transcendente — tal ou qual divindade teria criado o mundo — e corpos eram dotados de poderes especiais, capazes de se relacionar com este princípio transcendente. Não há neste momento filosofia, ciência, ou outra coisa que não explicações de caráter mágico-religioso para justificar a realidade. As distâncias geográficas, os conflitos territoriais e as diferentes línguas e costumes limitavam a comunicação dos saberes, produzindo um conhecimento hierárquico, restrito aos sacerdotes e elites governantes.

O marco histórico-material da ancestralidade do pensamento helênico desta nossa narrativa ocorre por volta 460 a.C com a organização sistemática dos conhecimentos médicos e a rejeição da superstição como prática da “saúde primitiva”. Os conhecimentos adquiridos ao longo do tempo foram sendo direcionados à um caminho científico através dos registros conhecidos como os compêndios médicos de Hipócrates, *Corpus Hippocraticum*. Estes registros escritos foram realizados através de um processo de racionalização, questionamentos, argumentação e especulação dos filósofos-médicos, que registraram e sistematizaram o conhecimento organizando suas práticas como instrumento de

aprendizado das ações terapêuticas (PORTER, 1996, p. 55).

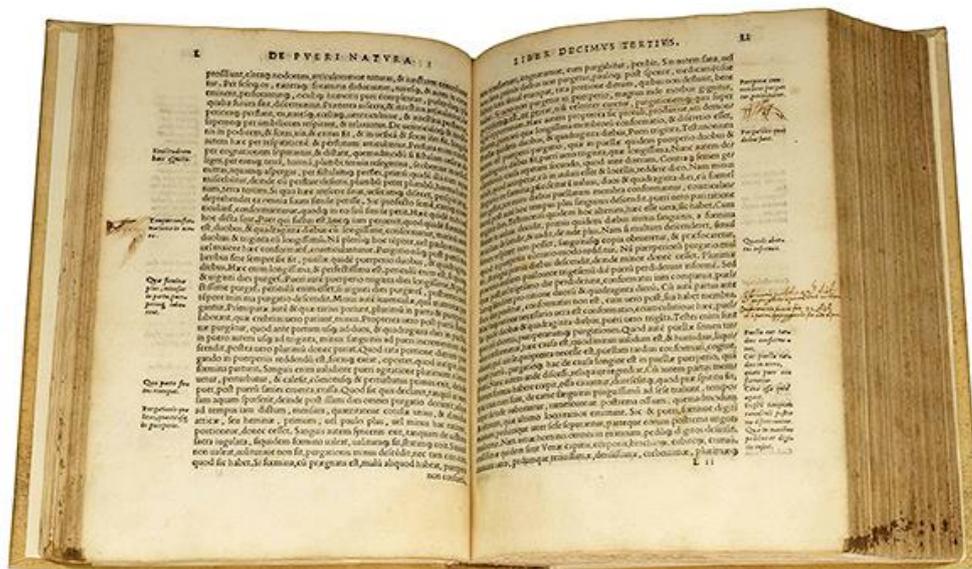


Figura 13 - *Corpus Hippocraticum*. Fonte: HIPOCRATES (c.460 - c.370 a.C., atribuído a). Octoginta volumina. Hippocratic Corpus, traduzido do grego para o latim por Marcus Fabius Calvus (c.1440-1527). Link: <<https://www.christies.com/lotfinder/Lot/hippocrates-c460-c370-bc-attributed-to-6118981-details.aspx>>

O *Corpus Hippocraticum* não é um evento isolado na cultura helênica. Em suas origens, as artes, filosofia e ciência compartilharam a ruptura com o modo religioso de pensamento, que fundamentava a cosmovisão de mundo em explicações de caráter mágico-religioso. O surgimento do pensamento racional na Grécia antiga, por volta do século VI a.C., é o marco desta ruptura; o aparecimento dos primeiros filósofos instaura um novo modo de pensar, pelo qual se procurou explicar a realidade sem precisar reivindicar princípios transcendentes, mas, ao contrário, por meio dos elementos materiais existentes na natureza.

Dessa maneira, filosofia, arte e ciência são formas de linguagem que se opõem, na mesma medida, à religião desde os primórdios da era clássica helênica e os escritos de Hipócrates pertencem a esta cultura. Podemos considerar que a importância do *Corpus Hippocraticum* está relacionada à técnica utilizada para sistematizar seus conhecimentos, a grafia, que produziu uma outra linguagem no campo do saber médico. Representações mentais podem ser escritas e comunicadas aos seus pares, pensamentos e especulações podem ser registrados, descritos e revisados; o corpo visualizado pode ser descrito ou projetado em suporte bidimensional, através de imagens ou desenhos, e, neste contexto, o corpo é

dessacralizado, sujeito a observação, representação e estudo. A anatomia, o conhecimento dos corpos do homem e dos animais, pertence a este campo do saber.

3.2

Medicina Visual, a medicina baseada no olho nu: estabelecimento da anatomia humana pela dissecação

O conhecimento anatômico, o estudo do corpo, ocorre após a organização do *Corpus Hippocraticum* e através da dissecação de animais. O atlas anatômico, visualização gráfica enquanto linguagem para comunicação, conhecimento e cultura, permite compreender essas noções a partir do campo das artes.

Podemos supor que, por si só, a organização da cultura médica em linguagem escrita e racional não foi capaz estabelecer o corpo humano como fonte de conhecimento. Foi necessário um deslocamento geográfico e cultural, conhecido como o período helenístico, para que o corpo humano fosse explorado como origem do conhecimento médico. Dois fatores históricos foram importantes nesta mudança de paradigma, o primeiro no Egito e o segundo em Roma.

Foi no Egito, em Alexandria, que nasceu e se desenvolveu neste período a investigação do interior do homem, a anatomia humana. Apesar de curta na escala de tempo, a cultura helênica exerceu forte influência no conhecimento e na cultura local, particularmente em Alexandria, uma cidade portuária importante para o comércio de sua época e centro acadêmico e intelectual com a sua lendária biblioteca. Livres da proibição das práticas de dissecação e interdição da mutilação dos corpos da cultura helênica, médicos-cientistas começaram a investigar o interior dos corpos, dando nomes a estruturas anatômicas (PORTER, 1996, p. 59).

Ainda não existia uma sintaxe visual do corpo, nem tratados anatômicos. A dissecação do corpo humano, técnica desenvolvida a partir da evisceração dos animais, apenas ocorre quando a desinterdição da inviolabilidade do corpo é transposta, geograficamente, para longe das interdições mágico-espirituais gregas e encontra uma cultura onde corpos podem ser abertos, expostos e mumificados. Não sabemos, ou não há documentação histórica que possa revelar, se houve alguma troca de experiência entre filósofos-cientistas gregos, médicos e sacerdotes egípcios. Mas certo me parece que esta ausência de interdição cultural possibilitou a aquisição da técnica de dissecação à cultura médica de sua época, tornando

possíveis outras formas de visualização do corpo e comunicação dos conhecimentos adquiridos. Podemos considerar que as técnicas de dissecação de animais, somadas à cultura de mumificação na qual os sacerdotes desenvolveram técnicas para sua prática religiosa, propiciaram aos médicos-cientistas uma nova forma de pensar o corpo.

Com a abertura dos corpos, uma nova linguagem se incorpora à escrita; ver os órgãos permite sua descrição de forma não mais especulativa, mas sim visual, e um novo vocabulário é produzido. Docles de Carystos publicou o primeiro livro de dissecação em animais neste período. Por volta por volta de 280 a.C., dois médicos-cientistas gregos começaram a investigar, em Alexandria, o corpo humano internamente. Herófilo examinou o arranjo e a organização dos órgãos do corpo, dando nomes ao duodeno e outras estruturas anatômicas. Ele dissecou o olho e, seguindo seu mestre Praxágoras de Cós, estudou o pulso como um guia para a doença (PORTER, 1996, p. 60).

Erasistratus dissecou o cérebro, tentando estabelecer como o movimento e a sensação eram produzidos e, usando analogias da ciência alexandrina, descreveu o corpo e seus processos em termos mecânicos. Ele desafiou muitas das doutrinas associadas a Hipócrates e rejeitou igualmente a visão aristotélica de que tudo foi criado para um propósito (teleologia), favorecendo um desenvolvimento mecânico (PORTER, 1996, p. 60).

Em Roma, o médico e filósofo Galeno foi nomeado médico da corte de Marcus Aurelius em 169 d.C.. A principal contribuição dos escritos de Galeno, que exerceu influência durante todo primeiro milênio de nossa era, foi a reorganização e síntese dos tratados de Hipócrates e uma ressignificação da importância da anatomia como forma de conhecimento, através de experimentos e dissecação em animais. Com a hegemonia da prática médica galênica, a medicina agora poderia ser testada e experimentada empiricamente, utilizando como base as observações da anatomia comparada e os princípios e práticas organizadas nos escritos de Galeno (PORTER, 1996, p. 64). Os textos de Galeno se tornaram a base do currículo médico em Alexandria e foram traduzidos em siríaco, dialeto do aramaico clássico e um dos principais idiomas literários em todo Oriente Médio, do século IV ao VII, fazendo a difusão e comunicação do conhecimento da medicina grega em outro domínio linguístico (PORTER, 1996, p. 66-67). A medicina tornou-se uma área do conhecimento baseada na observação empírica e centrada no corpo

como fonte.



Figura 14 - Mapa do mediterrâneo. Fonte: The Cambridge Illustrated History of Medicine, p. 74.

Como veremos mais adiante, como na Renascença com Harvey, há sempre latência quando uma tecnologia emerge entre a sua produção como linguagem, modificando a forma de pensar o mundo, e o desenvolvimento de novas praticas profissionais e formação do conhecimento. São ciclos de conhecimentos que se repetem ou se renovam até que uma inovação tecnológica disruptiva instaure um novo paradigma no conhecimento vigente, produzindo uma outra cultura.

Nesse sentido, a historiografia desta pesquisa não produz uma narrativa dos fatos de forma linear, como se houvesse um progresso retilíneo e constante nos avanços do conhecimento. A cultura helênica, com seus ciclos de progresso e retrocessos, foi construída ao longo do tempo através de suas tradições, crenças e, principalmente, do contato com outras civilizações. Não considero que a cultura se constrói através de sua hegemonia, seja ela cultural ou bélica, mas sim através da fricção entre diferentes formas de ver o mundo, quando impérios são construídos e outros destruídos e grandes migrações são produzidas pela conquista de territórios. Podemos considerar que, em cada etapa de ascensão ou declínio de alguma cultura, uma transformação está em curso e este ambiente tem a potência de transformar o conhecimento e a cultura local; busco entender, sob o ponto de vista da linguagem,

onde ocorre este tempo-espaço de transformação.

Dessa forma, podemos considerar que, ao longo desta construção cultural, uma transformação estava em curso quando, a partir de 313 d.C., o cristianismo foi declarado religião oficial do Império Romano. O conhecimento médico, a partir daí, foi dominado pela cosmovisão do cristianismo, implicando em um afastamento do pensamento racional, conforme estabelecido pela antiguidade greco-romana; foram necessários quase mil anos até que a Renascença restabelecesse valor do pensamento racional. Porém, outros princípios e valores religiosos penetraram no campo cultural médico, construindo um novo domínio para prática médica.

Ao mesmo tempo, na Europa, após a conquista Árabe no século VII, houve uma transferência de conhecimento médico: uma expansão maciça do conhecimento devido às traduções dos escritos galênicos para as línguas árabe e hebraica, unificando diferentes saberes em forma de bibliotecas (PORTER, 1996, p. 67).

Esta gestão do conhecimento bibliotecário ficou restrita às camadas mais ricas da sociedade árabe dominante, acessível apenas aos médicos da corte, levando ao privilégio do raciocínio em relação ao trabalho manual; os melhores médicos faziam diagnóstico sem mesmo olhar os pacientes. Houve um conseqüente declínio das práticas cirúrgicas nesta época. Não implicou, necessariamente, no não desenvolvimento de novas técnicas cirúrgicas ou livros cirúrgicos didáticos, porém colocou a cirurgia em desvantagem no conhecimento médico (PORTER 1996, p. 69).

Na Idade Média, o conhecimento médico foi aprisionado nos monastérios; os escritos galênico, e outros saberes médicos dogmáticos, foram traduzidos para o latim com sua circulação restrita aos eclesiásticos (PORTER, 1996, p. 69). Apesar de toda a expansão linguística do conhecimento médico, seu aprendizado ficou restrito às elites e suas práticas de cura se difundiram em um contexto mágico-espiritual, nas cidades medievais, de acordo com a cultura vigente.

Porém, estas sobreposição de culturas tradicionais, muitas vezes antagônicas, relacionadas a religiões de diferentes culturas, locais ou hegemonias, trouxe uma mudança prevalente e crítica para o conhecimento médico ao longo dos próximos anos, relacionada à cultura cristã, com o estabelecimento do hospital filantrópico como local de tratamento e cuidado dos enfermos que não pertenciam às elites político-religiosas locais. Um campo novo de observação das doenças e

doentes se apresenta aos médicos, nas enfermarias dos hospitais, para suas práticas e produção de conhecimento (PORTER 1996, p. 69).

Podemos considerar que o confronto entre estes dois mundos, Oriente e Ocidente, produziu um campo uniforme do saber, no qual o conhecimento, apesar de restrito em sua comunicação, se apropriou da linguagem escrita como tecnologia. A cultura escrita se estabeleceu por meio dos livros, traduzidos em diversas línguas, compartilhando pensamentos e práticas sobre o corpo, a doença e os doentes, para além das crenças mágico-religiosas e organizando geograficamente o espaço para sua prática, o hospital.

Um novo paradigma desse período, onde as realizações científicas universalmente reconhecidas que forneceram durante algum tempo, problemas e soluções modelares para uma comunidade de praticantes (KUHN, 2011, p. 13) ocorre por volta de 1050 na região de Salerno, sul da Itália. Havia uma próspera comunidade médica em contato com os mundos grego e árabe, bem como a abadia mais rica e intelectualmente avançada da Europa, Monte Cassino. A partir de 1080, os salernitanos reintroduziram a especulação teórica no ensino de medicina. Ajudados por contatos com Constantinopla e traduções latinas de textos arábicos, eles restabeleceram o aprendizado acadêmico galênico, combinando comentários em alguns textos fixos com discussão filosófica de questões mais amplas e, por volta de 1250, com demonstrações práticas de anatomia animal (PORTER, 1996, p. 73). Foi em Salerno que professores, no final do século XII, foram os primeiros a introduzir dissecações de animais em seus cursos. O primeiro ensinamento envolvendo um cadáver humano é creditado ao Mondino dei Liuzzi em Bolonha, norte da Itália, por volta de 1315-1319.

Também em Pavia, norte da Itália, embora em teoria houvesse uma dissecação anual, nenhuma foi realizada entre 1457 e 1465, mas, quando ocorrida, serviu tanto como espetáculo quanto instrução; o professor universitário era o responsável por definir a anatomia do homem no contexto da criação divina, enquanto o cirurgião cortava o corpo de forma a reduzir a putrefação (PORTER, 1996, p. 73-75).

Identificamos, nesse período, a emergência de um novo paradigma no conhecimento médico em função das técnicas de dissecação. Podemos supor que a substituição da anatomia animal pela humana foi progressiva e os textos galênicos, mesmo baseados na anatomia animal, foram importantes nesta mudança pois

enfaticavam a importância da anatomia no conhecimento médico. Considero importante que a Igreja, reduzindo seu tabu em relação aos cadáveres como consequência da necessidade de cortar e ferver os corpos dos peregrinos e cruzados, para que seus ossos ou coração fossem transportados de volta para casa, possibilitou uma desinterdição formal da prática de dissecação e conseqüentemente um número maior de dissecações foram realizadas a partir deste período.

Podemos também considerar relevante que, a partir de 1250, houve registros crescentes na Itália de autópsias realizadas por cirurgiões para estabelecer causas de morte. Os cadáveres escolhidos para dissecações em universidades eram de criminosos, bruxas e, principalmente, de não-locais — em outras palavras, daqueles à margem da sociedade. Embora alguns acreditassem que tais dissecações eram contestadas pela Igreja, há poucas evidências para isso. Desde que o cadáver recebesse um enterro reverente, as instituições eclesiásticas estavam satisfeitas.

Esse fenômeno local e global ao mesmo tempo, onde saberes de diferentes culturas e diversas línguas se encontram tornando-se universais, termina ao mesmo tempo que inicia um novo período do saber médico. Universidades são criadas e as associações médicas se juntam às instituições universitárias, apropriando-se dos seus conhecimentos baseados na tradição galênica-arábica, criando um novo vocabulário médico, novos questionamentos sobre o processo da doença e realizando autópsias. Uma nova tecnologia para o estudo do corpo humano está em gestação, para produzir conhecimento, com uma nova linguagem, e iluminar sua cultura.

A era do Renascimento é o período da visualização anatômica, quando Ciência e Artes estão conectadas e inter-relacionadas, e a anatomia humana se transforma no referente das linguagens tecnológicas de representação. O *modus operandi* da época encorajava artistas, engenheiros, médicos e cientistas a se interessar por atividades alheias a suas práticas. Os artistas desempenharam um papel importante no desenvolvimento de técnicas de representações, trazendo a perspectiva geométrica para o centro das representações da natureza. Ver, para o artista renascentista, era mais que apenas perceber; constituía também uma investigação do sentido último das coisas.

Da mesma forma, o Atlas Anatômico seguia a lógica vigente, procurando demonstrar que o corpo humano pertencia à natureza em suas simetrias e proporções matemáticas; a matemática funcionava como uma linguagem comum às

artes e ciências renascentistas, um meio de comunicação entre o médico observador e o artista ilustrador, representando o corpo humano como um fenômeno da natureza e objeto de pesquisa dos artistas, cientistas e médicos, que transformavam o corpo em utensílio para experimentação, preparando o terreno para os grandes avanços científicos que se sucederam.

A anatomia humana, o estudo morfológico da arquitetura do corpo humano baseado na dissecação, deu origem à publicação de alguns livros ilustrados marcantes na história da Medicina. Estes livros são, no seu conteúdo, ciência; e, no contexto, ilustrações artísticas, representação gráfica do humano, do saber e sua cultura — o que somos e como somos representados no mundo.

O atlas anatômico é um campo livre para a criação artística e profissional, a união da arte com a medicina por meio das técnicas de representação gráfica disponíveis em determinada época. Médicos, filósofos e artistas sempre compartilharam uma fascinação pelo corpo humano. No mundo antigo, Aristóteles e Galeno dissecaram corpos de animais na sua busca do segredo da vida, e Fidas esculpiu a imortalidade dos deuses em formas humanas no Parthenon (Figura 15).

No início da Renascença e fim da Idade Média, o anatomista italiano Mondino dei Luzzi voltou a abrir os corpos dos mortos enquanto o artista Giotto pintava figuras humanas realistas (RIFKIN, 2006, p. 13-14) (Figura 16).

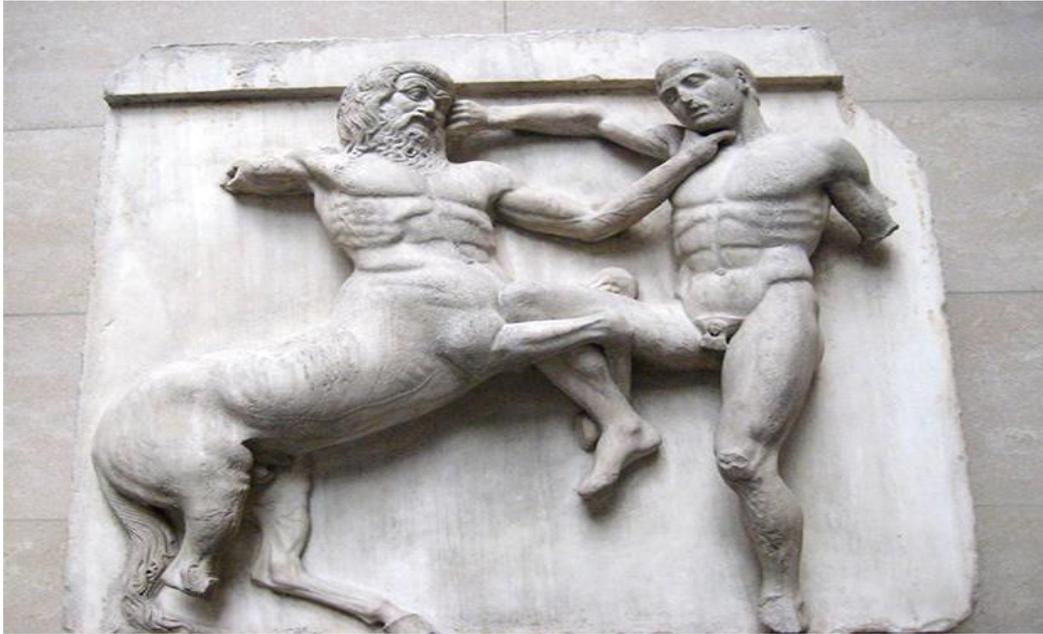


Figura 15 - Metope nas cenas de mármore do Partenon (442-438 a.C). Fonte: British Museum. <<https://www.britishmuseum.org/collection/galleries/greece-parthenon>>.

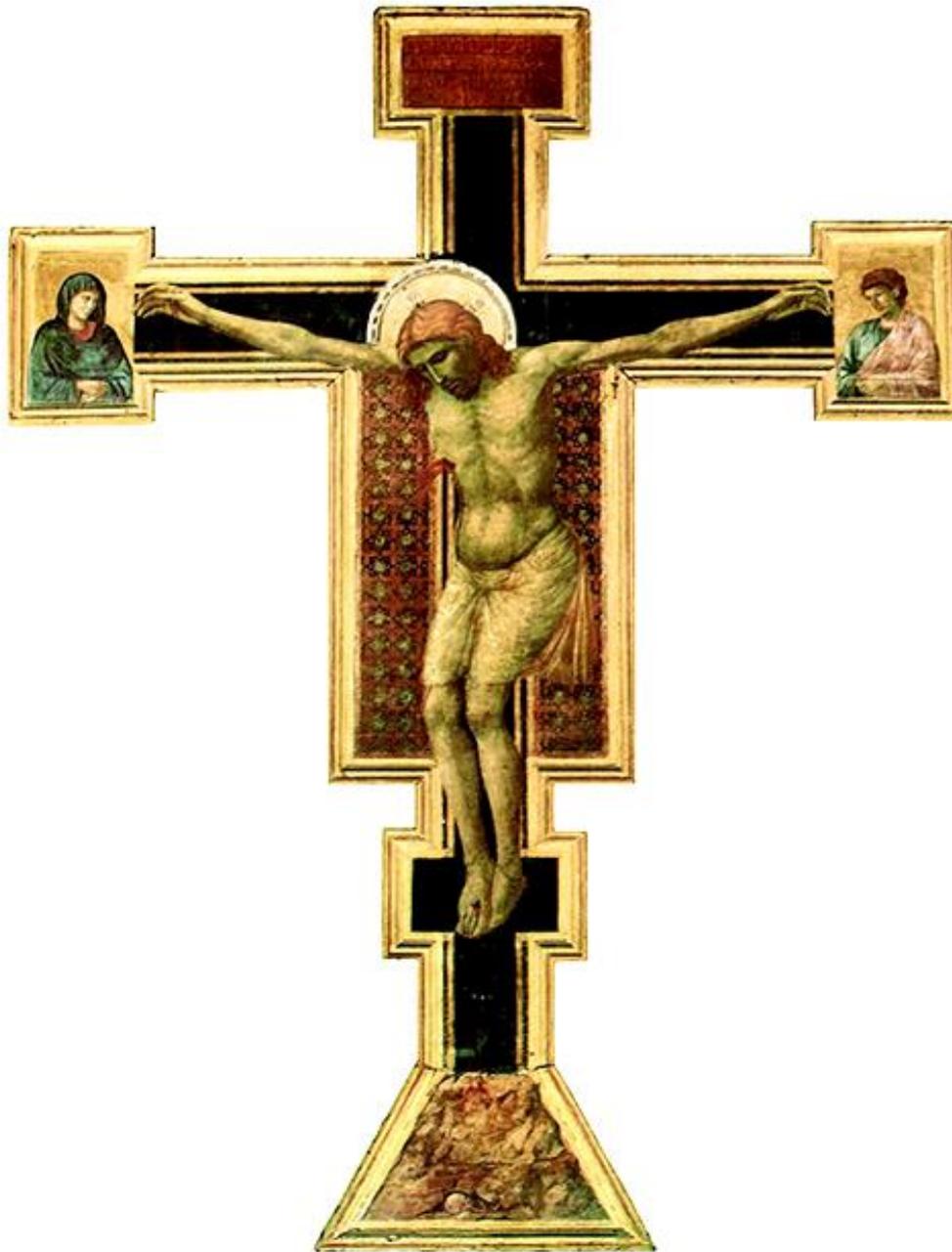


Figura 16 - Crucifixo (1304-1306). Giotto di Bondone. Fonte: <https://arthive.com/giotto/works/238351~Crucifixion_Santa_Maria_Novella>.

Foi durante a Renascença que as duas formas de conhecimento, arte e ciência, caminharam juntas, quando a ciência pôde se tornar arte sem deixar de ser ciência, e a arte pôde se converter em ciência sem deixar de ser arte. Os autores de uma ou outra área puderam modificar seu *status* em algum momento, ganhando a flexibilidade para produzir representações ora artísticas, ora científicas. A cultura desta época assim permitia.

Leonardo da Vinci (1452-1519) foi seu representante paradigmático. Ele incorporou abordagens e teorias científicas no cerne de seus processos artísticos.

Seus interesses se estendiam à Anatomia, Zoologia, Botânica e Medicina. O tema *sapere videre* (saber ver) dominava seu trabalho e ele via a pintura como uma parte crítica de um processo científico na qual a observação aproximava a pessoa dos fenômenos (Figura 17). Os artistas renascentistas desempenharam um papel importante no desenvolvimento de técnicas e tendências de representações do espaço. A ordenação representacional das experiências artísticas preparou o terreno para os grandes avanços científicos que se sucederam.

Galileu Galilei, (1564-1642) físico, matemático, astrônomo e filósofo, pode ser tomado como principal representante do nascimento da ciência moderna no século XVII. Suas ideias a respeito dos céus, e seus experimentos sobre a inércia, conduziram a física newtoniana aos atuais conhecimentos da cosmologia e teorias da matéria. Ele também era um desenhista notável. Após a interrupção de seus estudos de medicina, Galileu estudou na Academia de Artes de Florença, e ali aprendeu a dominar a perspectiva das superfícies irregulares (Figura 18). Isto lhe possibilitou, quando da observação da Lua com sua luneta astronômica, dar-se conta do fato de que, contrariamente às regras estabelecidas da cosmologia, a superfície do astro não era plana, mas tão acidentada quanto a superfície terrestre (ALLOA, 2015, p. 144).

Ludovico Cigoli, o pintor amigo de Galileu, resumiu a questão da seguinte maneira: “um matemático, seja ele tão grande quanto se queira, sem a capacidade de desenhar, é não apenas matemático pela metade como também um homem sem olhos”. Para Cigoli, a apreensão adequada da realidade não dependia unicamente de sua recepção, mas também de sua reprodução — e de modo algum apenas da percepção, mas também da construção. Ver e desenhar são, para Cigoli, o fundamento do conhecimento (ALLOA, 2015, p. 147).

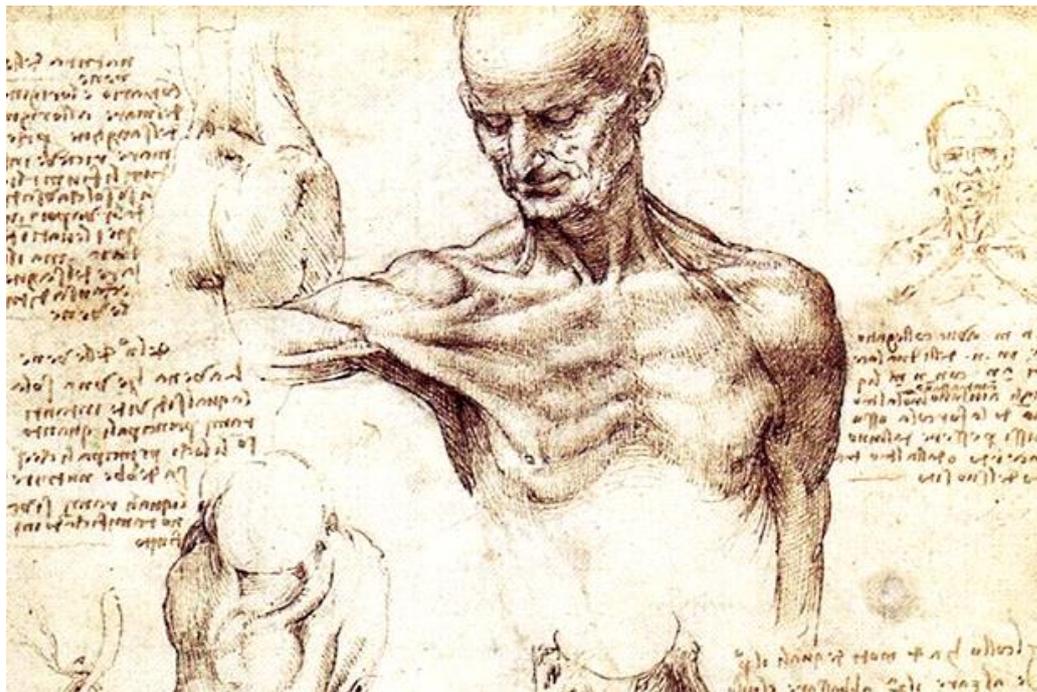


Figura 17 - Estudos Anatômicos de Leonardo da Vinci. Fonte: <https://www.theflorentine.net/2018/06/04/anatomical-drawings-da-vinci-great-not-infallible/>

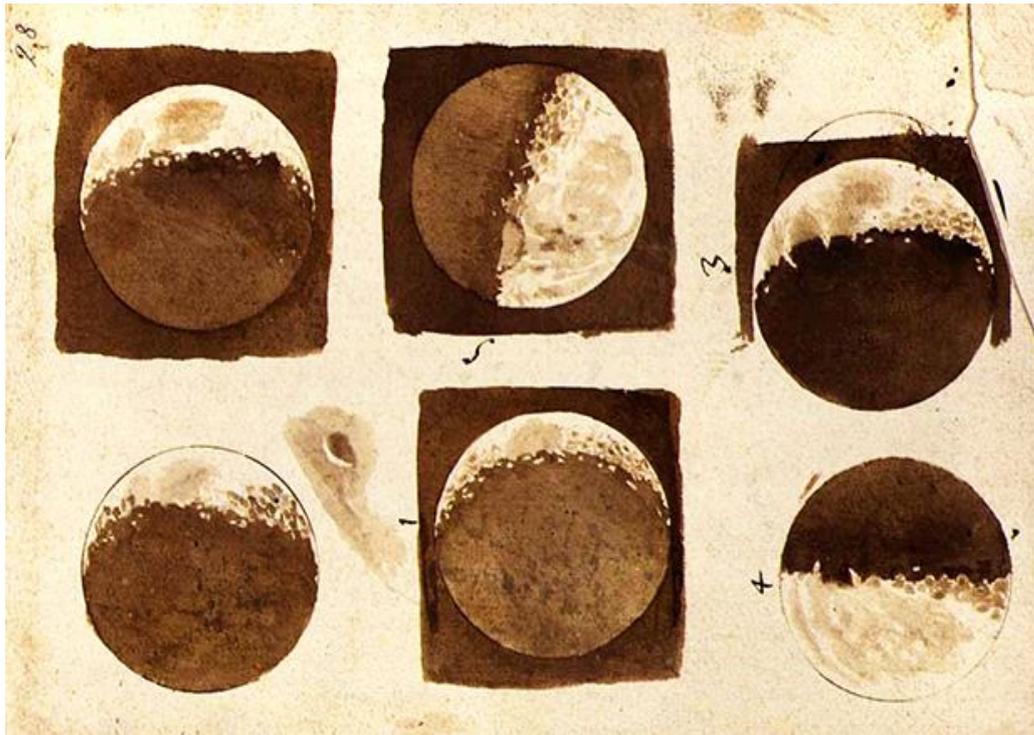


Figura 18 - Fases lunares, Galileu Galilei. Fonte: <<https://www.portalastronomico.com/por-que-los-primeros-dibujos-de-la-luna-de-galileo-revelan-una-nueva-era-en-la-vision-del-universo/>>.

Na medicina, a Anatomia foi o centro do conhecimento, em decorrência da visualização do interior dos corpos. Sua “linguagem” foi a criação de desenhos que representavam graficamente a natureza da anatomia, o interior do corpo humano (Figura 19) e a busca por reconhecimento de partes e de sistemas em que estes estavam associadas. Eram sobre essas coisas que a visualização possibilitava falar e comunicar, o que resultou no conhecimento sobre anatomia, que por sua vez possibilitou a cultura da experimentação.

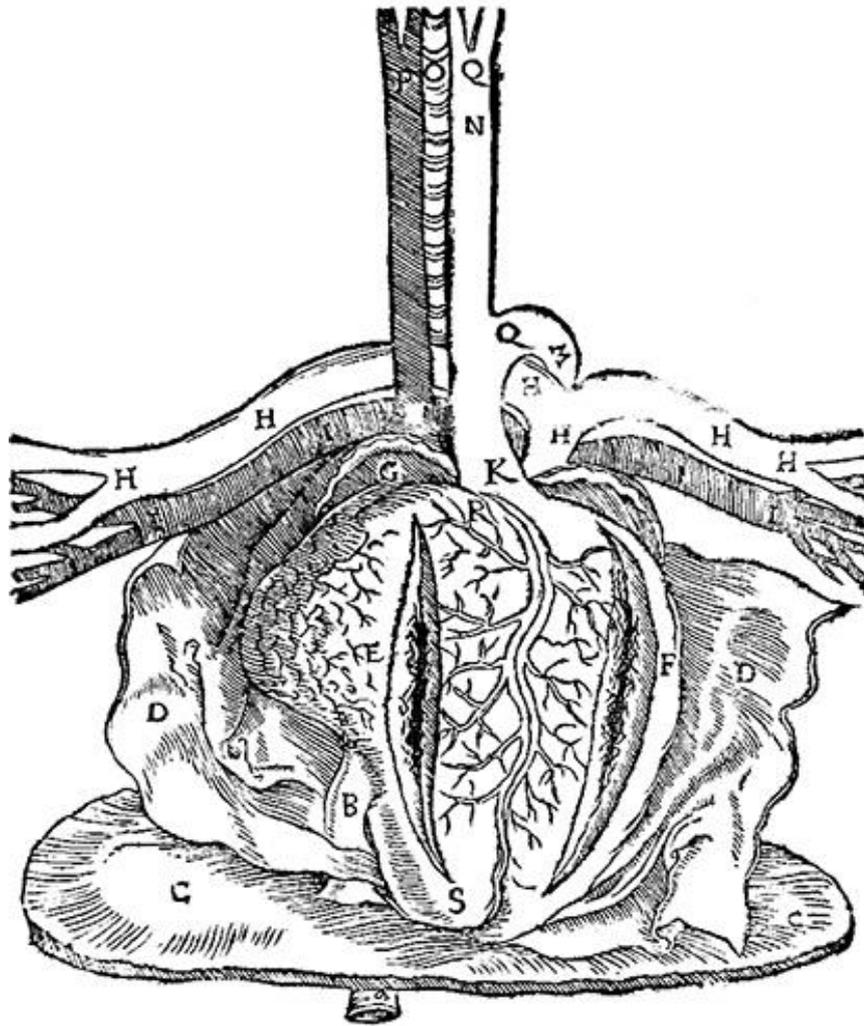


Figura 19 - Anathomia, Mondino Luzzi. Fonte: Dissection of Heart, Mondino Dei Luzzi's Anatomia Mundini, Ad Vetustis, 1541. <https://en.wikipedia.org/wiki/Mondino_de_Luzzi#/media/File:Mondino_Dei_Luzzi_1541_Heart.jpg>.

As ilustrações dos livros de Anatomia se desenvolveram como uma categoria especial do imaginário de médicos e artistas desde a Idade Média até o século XIX, auxiliando o desenvolvimento da cirurgia no período medieval, devido a uma maior atenção à anatomia e um ressurgimento da dissecação em cadáveres humanos. Inicialmente, foram divulgados na forma de cópias manuscritas e foram muito pouco ilustrados.

Com a invenção da impressão por Johannes Genfleisch (1397-1468), apelidado como Gutenberg, por volta de 1450, a disseminação do conhecimento foi aumentando de uma forma gradual, porém desorganizada. Por exemplo, os desenhos anatômicos de Leonardo da Vinci, desenhados à mão e de qualidade

científica extraordinária, ocuparam um lugar muito marginal na história da anatomia, pois nunca foram editados, e foram ignorados pelos estudiosos da época. Publicados pela primeira vez em 1898, não tiveram nenhum impacto sobre o desenvolvimento do conhecimento anatômico.

Em 1514 foi publicada uma coletânea de trabalhos de Galeno, traduzidos diretamente do grego. Como já descrito na seção anterior, os textos anatômicos eram, em sua maioria, derivados dos escritos árabes tradicionais do período medieval, cultura hegemônica desse período. Este contato com as obras de Galeno e de Hipócrates, assim como o contato com as obras clássicas da Idade de Ouro do período Clássico, sedimentou o caminho para o conhecimento médico e anatômico (VESALIUS, 2002, p. 17).

Em 1538, Andreas Vesalius (1514-1564), professor de anatomia na Universidade de Pádua, encomendou a pintura de uma série de grandes xilogravuras anatômicas conhecidas como *Tabulae sex.* e, cinco anos após, publicou estas xilogravuras em sua grande obra *De Humani corporis fabrica* (Figuras 20 e 21). Este livro suplantou todos os trabalhos anteriores na ciência e arte da anatomia. Nesta obra encontramos o melhor da xilogravura renascentista do século XVI, “onde o homem descobre a estrutura do próprio corpo e sua representação é empregada para o desenvolvimento do conhecimento humano; a arte do professor difunde os resultados de sua pesquisa” (VESALIUS, 2002, p. 17).

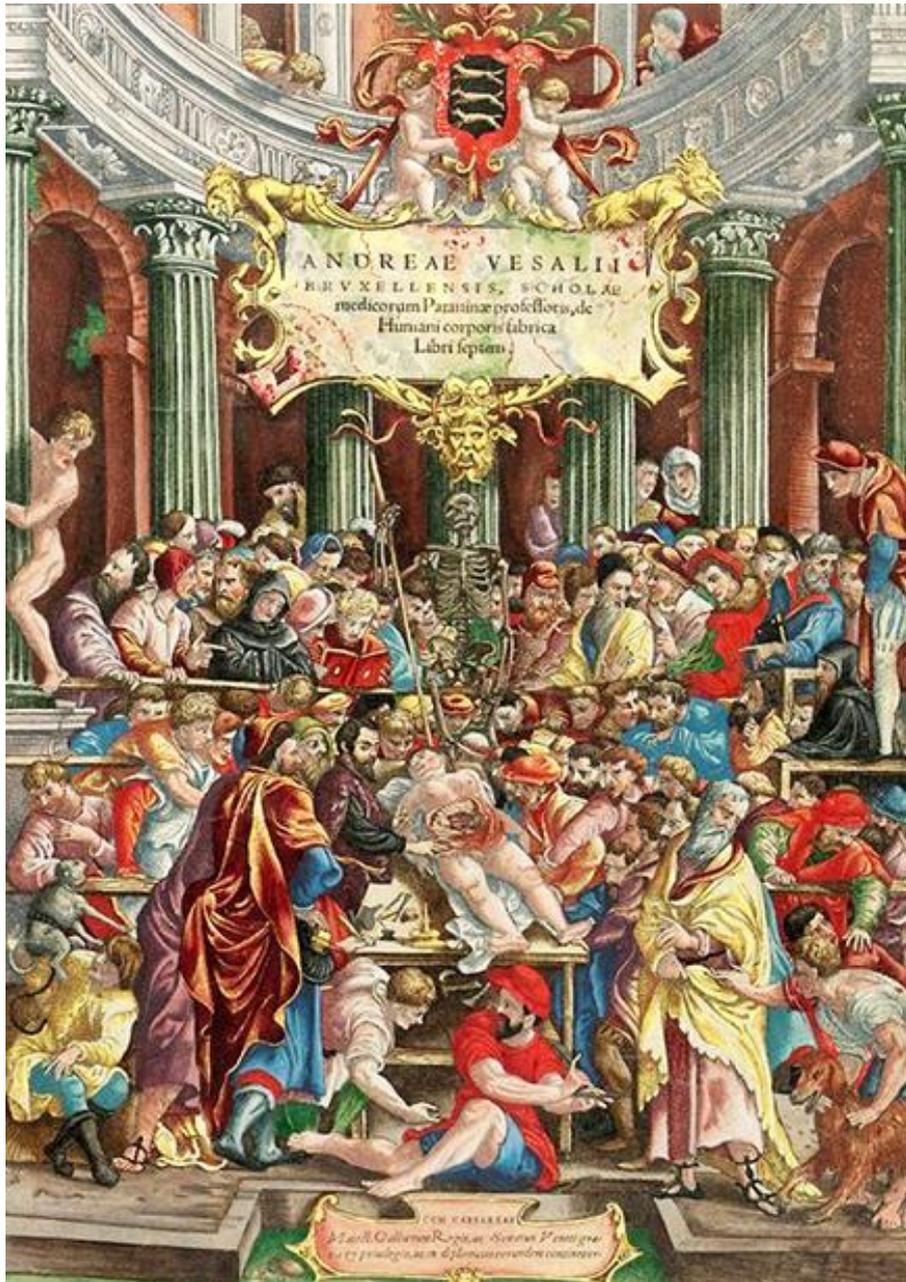


Figura 20 - Frontispício do *De humani corporis fabrica*. Fonte: Vesalius, *The Heart of Leonardo*. Spriger-Verlag, Londres, 2013.

Até a publicação da obra de Vesalius, poucas obras anatômicas haviam sido ilustradas. Muitos dos principais médicos da época opunham-se à ilustração da palavra impressa devido à incapacidade técnica e à falta de evolução dos padrões de reprodução gráfica. Seu posterior sucesso deve-se pela conscientização de um maior número de alunos de medicina, da capacidade em reproduzir o que era visto apenas por um seletivo grupo, e o valor gerado pela possibilidade de reproduzir a demonstração anatômica em obra gráfica. Na realidade, essas xilogravuras estabeleceram um novo critério para o uso da ilustração na medicina e artes gráficas (VESALIUS, 2002, p. 35). Até Vesalius, não havia um sistema de referências entre

texto e ilustração, o que transformou as xilogravuras em veículo de difusão de uma ciência até então apenas descritiva.



Figura 21 - De humani corporis fabrica. Fonte: Vesalius, 2002. <<https://publicdomainreview.org/essay/vesalius-and-the-body-metaphor>>

A representação do corpo em atlas anatômicos refletia a cultura da sua época. Na Renascença, a obra de arte era a representação direta e fiel dos fenômenos naturais. Dessa forma, o artista, para retratá-las, deveria conhecer as regras da perspectiva e da matemática a fim de obter sua obra exatamente representativa. A arte havia se tornado científica. Os médicos renascentistas devem os seus conhecimentos mais a esses artistas do que aos comentários sobre médicos gregos

ou à influência médica da cultura islâmica medieval (LYONS, 1978, p. 369).

Explicações teóricas do que faz o corpo e como ele funciona, na doença e na saúde, foram escritas pelos gregos e transmitidas (através do Islã) ao Ocidente até a Idade Média de uma forma não científica, autoral e dogmática. Antes desses saberes serem consolidados, foram desafiadas por dissecações no Renascimento e investigações fisiológicas de William Harvey (1578-1657).

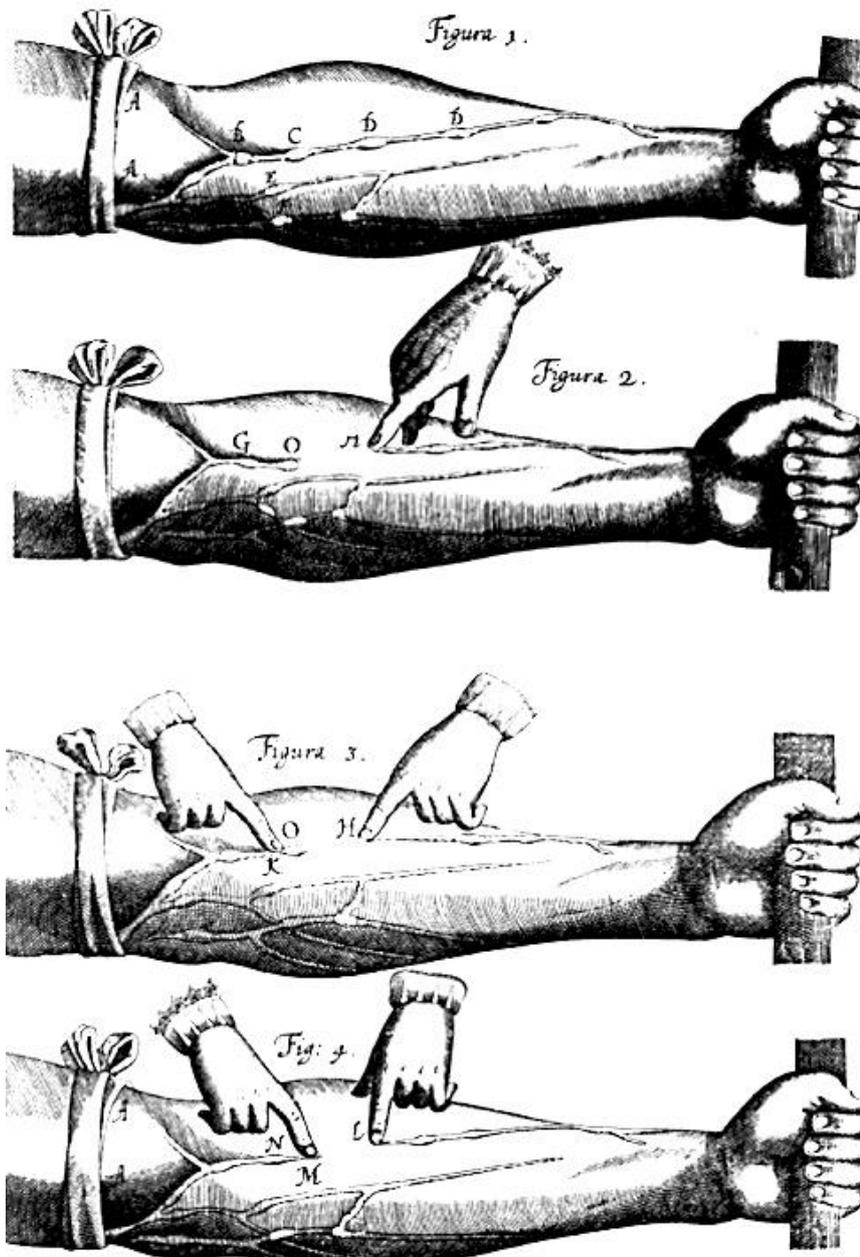


Figura 22 - William Harvey, Experiments on the valves. Fonte: <<https://www.princeton.edu/~his291/Harvey.html>>. “This illustration depicts one of William Harvey's experiments in his *On the Circulation of the Blood* (1628).”

William Harvey foi um médico britânico que, pela primeira vez, descreveu corretamente os detalhes do sistema circulatório do sangue ao ser bombeado por todo o corpo pelo coração, provando que a circulação era contínua e o sangue estava dentro de um sistema fechado (Figura 22). Além de dissecações anatômicas e observação fisiológicas dos seres humanos e experimentos diretos sobre animais, ele também fez uso de dados quantitativos. Apesar de suas contribuições terem enorme importância na anatomia e fisiologia, seu impacto sobre a prática da medicina em sua época foi limitado, uma vez que os conceitos e entendimentos da doença tiveram pouco avanço com as suas demonstrações. Nesse contexto, William Harvey provou ser uma figura crucial, mas transitória e ambígua, pois suas descobertas foram deixadas para uma geração posterior como prova em favor da mecânica clássica (PORTER, 2003, p. 44). Harvey é, da mesma forma que os cientistas-médicos gregos de Alexandria, um intermediário entre o velho e o novo, chamado para um repensar da anatomia como uma representação dinâmica do corpo.

O museu florentino *La Specola* (“O Observatório”, em italiano) apresenta um acervo único, que corresponde a uma das maiores coleções em cera do mundo. As obras incorporam a tradição filosófica europeia, revelando o conhecimento e a compreensão sobre a anatomia humana do fim do século XVIII. A ideia de construir o museu surgiu em 1771 e partiu do grão-duque Leopoldo de Pietro, um estudante entusiasta das ciências naturais que decidiu reunir as coleções “científicas” de várias galerias da região. Quatro anos depois, abriria ao público o *Regio Museo di Fisica e Storia Naturale*. As primeiras coleções, de história natural, foram adquiridas dos Médici, influente família florentina entre os séculos XIII e XVII, patronos da arte e das ciências no país (POGESSI, 1999, p. 7). O museu apresenta, hoje, mais de 1.400 modelos anatômicos, fabricados entre o fim do século XVIII e meados do século XIX (Figura 23).



Figura 23 - Crânio, La Specola. Fonte: Encyclopedia Anatomica. Taschen. 1999.

A ideia de produzir várias figuras anatômicas no *La Specola* tinha como objetivo a criação de uma fonte de recursos educacionais que, no futuro, iria evitar a necessidade de exumação de cadáveres para o estudo da anatomia. O que era interessante e inovador na coleção de cera seria a disposição completa e tridimensional das peças anatômicas; gavetas localizadas abaixo do santuário continham escritos descritivos e explicativos de cada peça (Figura 24).

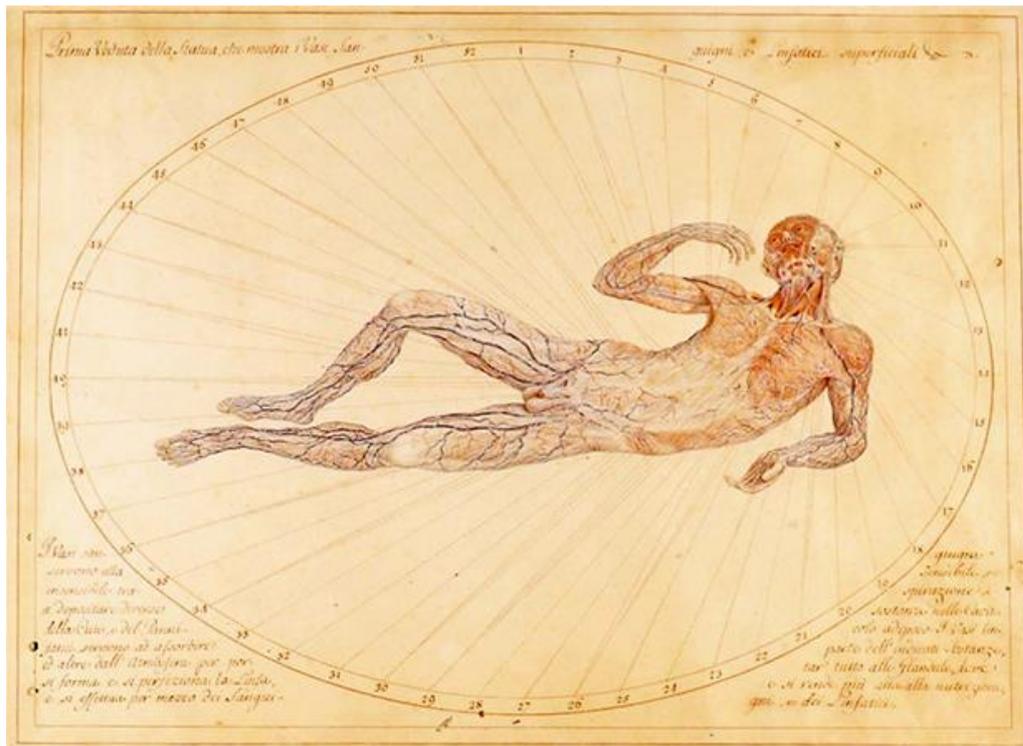


Figura 24 - La Specola. Fonte: Encyclopaedia Anatomica. Taschen. 1999.

Também havia planos de se fazer diversas séries de modelos anatômicos em madeira pintada, que eram desmontados para fins de ensino, com o objetivo de demonstrar como órgãos — por exemplo, o útero na gravidez — se relacionavam uns com os outros.

A coleção de modelos anatômicos de cera do museu *La Specola*, na sua forma tridimensional, representava o corpo humano de uma forma mais precisa que desenhos de gravuras planas e nos torna conscientes dos avanços que foram feitos com as técnicas de visualização ao olho nu. As formas e contornos do corpo humano aparecem como uma unidade viva, uma viagem através dos mistérios interiores do corpo humano onde regiões profundas da anatomia se escondem, tornando, assim, o homem transparente (POGGESI, 1999, p. 13).

Na introdução do seu livro *O nascimento da clínica*, Michel Foucault relata a mudança que operava o saber médico:

No início do século XIX, os médicos descreveram o que, durante séculos, permanecera abaixo do limiar do visível e do enunciável. Isto não significa que depois de especular durante muito tempo, eles tenham recomeçado a perceber ou a escutar mais a razão do que a imaginação: mas que a relação entre visível e o invisível, necessária a todo saber concreto, mudou de estrutura e fez aparecer sob o olhar e na linguagem o que se encontrava aquém e além de seu domínio. (FOUCAULT, 1977, p. 1)

A linguagem visual tornou-se a forma mais difundida de aprendizado na cultura médica, seja nas apresentações de quadro clínicos dentro do hospital ou nas reproduções do corpo nos compêndios anatômicos. Novas técnicas de visualização, organizando a sintaxe visual, auxiliavam no entendimento e comunicação do conhecimento médico, não mais para apenas um seleto grupo de médicos. O corpo se torna um organismo, relacionando órgãos a funções, especificando suas estruturas internas como palavras em uma frase, criando sentido para organização interna de órgãos, vasos e vísceras, linguagem acessível a todos, independente de línguas, crenças ou poder. Para potencializar essa nova tecnologia, técnicas de reprodução foram utilizadas para sua divulgação e comunicação do conhecimento, um outro suporte para apoiar a visualização, possibilitando outras formas conversas, de médico para médico, de estudante para professor e de estudante para estudante.

A litografia, uma técnica de impressão inventada na Alemanha no final do século XIX, começou a ser usada intensamente para ilustração anatômica em Paris na década de 1820. O processo permitia um número quase infinito de impressões, prometendo reduzir o custo de impressão das ilustrações (RIFKIN, 2006, p. 271), tornando o invisível visível, móvel e a cores.

The Complete treatise of human anatomy, de J. M. Bourgerie e N. H. Jacob, publicado entre 1831 e 1854, representa uma das obras mais notáveis em toda a história da anatomia e é a obra litográfica mais proeminente publicada no século XIX. Sua publicação ocorreu em uma época que a anatomia estava no seu ápice e reafirmou a primazia da anatomia entre as especialidades médicas na evolução dos conceitos científicos (Figura 25). O encontro de técnicas, de dissecação e reprodução produziu a mais elevada representação da linguagem visual, o Atlas Anatômico, o paradigma da mudança cultural que marcou a medicina e criou a linguagem visual como nomenclatura da cultura médica. A partir daí, a medicina baseou o seu saber naquilo que é visto e pode ser marcado e nomeado por sua linguagem, propiciando um entendimento e uma nova forma de saber e compreender o corpo humano, agora o centro do conhecimento médico.

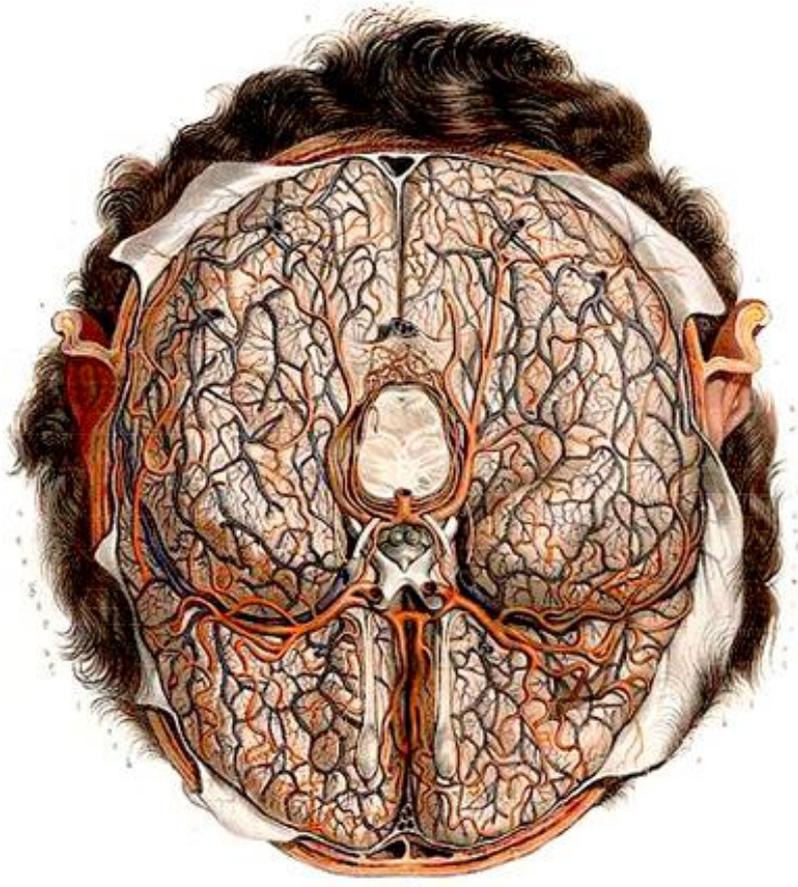


Figura 25 - Atlas de anatomia humana. Fonte: Atlas of Human Anatomy and Surgery. Bourgery & Jacob. Taschen, 2008.

As tecnologias (do grego *τεχνη* — “técnica, arte, ofício” e *λογία* — “estudo”) para visualização do corpo humano projetadas no período renascentista produziram conhecimento e transformaram as técnicas pictóricas e reprodutivas em instrumento do conhecimento técnico e científico. Máquinas amplificadoras, xilogravura, litografia e impressora de livros foram os principais instrumentos que transformaram o mundo renascentista. Livros descrevendo as novas descobertas foram difundidos pela impressão em uma escala nunca antes experimentada e reproduções da representação anatômica do corpo atravessaram as paredes dos necrotérios e libertaram o conhecimento de cadáveres expostos e inertes.

Em 1858, Henry Gray publicou, na Inglaterra, a primeira edição da *Anatomia de Gray* (Figura 26). O livro era para ser usado tanto como um atlas quanto como um texto, seguindo a linha tradicional de explanação descritiva e

analítica da matéria anatômica, precisa na descrição e contendo ilustrações em tons neutros e acinzentados. Esse livro trata principalmente da anatomia sistêmica em que o corpo, como um todo, é composto por um número de sistemas, cujas partes estão relacionado umas com as outras por considerações tanto fisiológicas como anatômicas. Cada sistema é composto de partes, ou tecidos semelhantes, e participa na realização de funções particulares. Embora o estudo da anatomia seja principalmente relacionado com morfologia, o conhecimento da estrutura torna-se compreensível e de valor prático através da íntima associação entre estrutura e função (GRAY, 1977, p. 12).

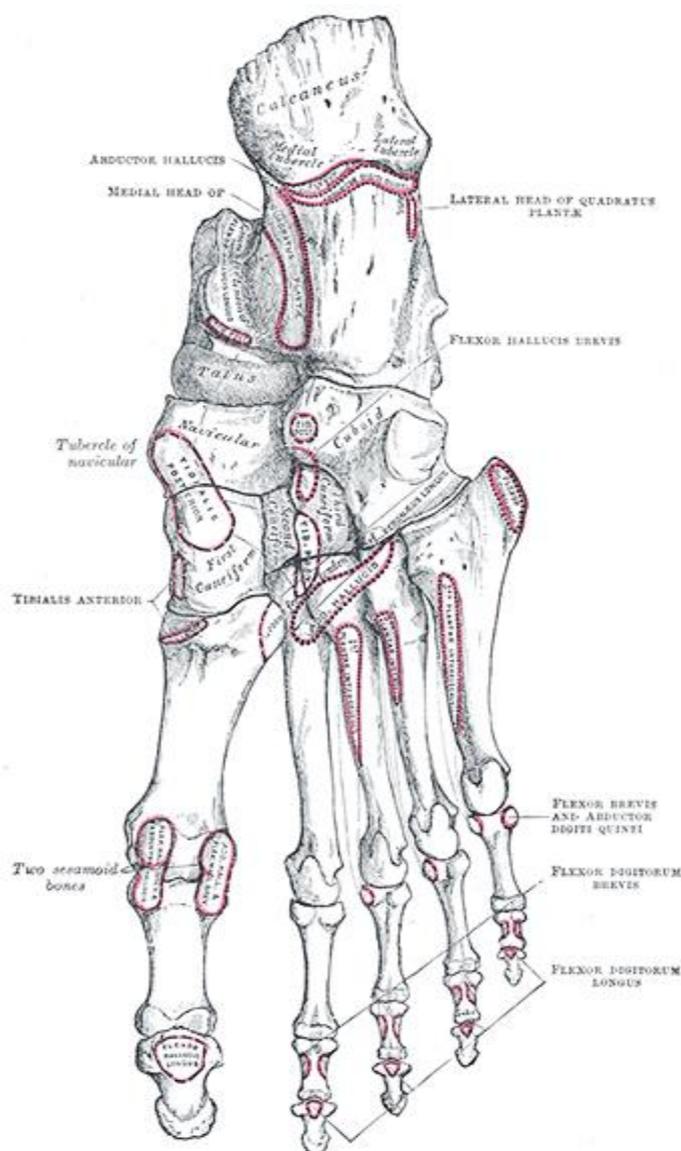


Figura 26 - Anatomia. Gray, 1977.
<https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Gray269_-_Mratatarsus.png>.

Fonte:

Pelo lado da doença, o principal resultado dos estudos anatômicos foi o estabelecimento da anatomia patológica como parte do conhecimento médico. Em 1761, Morgagnis publica seu principal livro, uma experiência de mais de setecentas autopsias, que demonstrava que doenças estavam localizadas em órgãos específicos, que os sintomas da doença estavam associados a lesões anatômicas e que as alterações patológicas dos órgãos eram responsáveis pelas manifestações da doença. Não haveria mais humores malignos, provocando doenças ou máquinas mal reguladas (PORTER p. 72, 1996). Na saúde ou na doença, é o corpo, com seus órgãos e sistemas operantes, que determina o lugar do conhecimento e produz o diálogo do olhar do médico com o corpo doente.

3.3

Medicina da Micro-Visão baseada na ótica: visão obtida a partir do microscópio, óptico, eletrônico e atômico

A tecnologia para aumentar a visão produziu novas áreas de conhecimento do corpo humano, através de artefactos engenhosamente construídos a partir de antigas técnicas de polimento de lentes. Tudo aquilo que se encontrava invisível aos olhos tornou-se visível o suficiente para que fosse pesquisado.

Anatomistas iniciam, nesse período, uma intensa colaboração em suas pesquisas com os filósofos naturais, como eram conhecidos os cientistas mecanicistas. A filosofia mecanicista exercia forte influência nas sociedades médicas europeias, introduzindo novos fundamentos para compreender o corpo em termos geométricos, de estática e dinâmica ou como uma máquina ativada por dispositivos, como polias e alavancas (PORTER, 1996, p. 61).

As sociedades médicas, tais como a London Royal Society, promoviam encontros multidisciplinares que possibilitaram a troca de ideias, técnicas e conceitos, introduzindo novos conhecimentos científicos aos médicos, tanto em relação às doutrinas “mais científicas” quanto à experimentação dos artefactos criados por inventores de sua época, como o microscópio (PORTER, 1996, p. 160). Novas tecnologias, novos conhecimentos, visão ampliada, aumento dos sentidos e outra linguagem.

Os avanços no conhecimento anatômico e o estabelecimento da fisiologia como método investigativo, decorrentes da Revolução Científica, teve em

Descartes o seu principal pilar. Filósofo naturalista, que tinha em sua abordagem a linguagem da geometria como forma de expressão ideal, desmistificou o corpo humano e o deixou completamente aberto à análise científica. Na sua nova ciência, a natureza era na verdade uma máquina (PORTER, 1996, p. 160). A visão de mundo mecânica, com seu dualismo mente-corpo, e o método reducionista, explicando o todo em termos de suas partes e o complexo em termos do simples, desencadeou um importante avanço na pesquisa anatômica e fisiológica, que produziu, no século XIX, um novo campo de pesquisa em fisiologia experimental e biologia celular.

A anatomia tornou-se um ramo do conhecimento interessado na estrutura e morfologia. O conhecimento da informação anatômica aumentou com o descobrimento de novas tecnologias; a utilização do microscópio em autopsias criou novos campos no conhecimento anatômico, como histologia e embriologia, ampliando o campo do visível através da visualização do que era invisível.

A microscopia, criado no início do século XVII, introduziu um novo modo de ver o mundo. Sua utilização possibilitou o avanço do estudo da biologia e uma nova percepção da ciência médica. Sua invenção, atribuída a Galileu, foi consequência do aperfeiçoamento do uso de lentes, realizado pelo naturalista holandês Antony van Leeuwenhoek, que as utilizou na observação de seres vivos. O microscópio desenvolvido pelo pesquisador era constituído de apenas uma lente de vidro e permitia aumento da percepção visual de até 300 vezes, com razoável nitidez. Este primitivo microscópio foi construído em 1674 e com ele conseguiu-se observar bactérias de 1 a 2 milésimo de milímetro e os glóbulos vermelhos do sangue (MANNHEIMER, p. I.1, 2002).

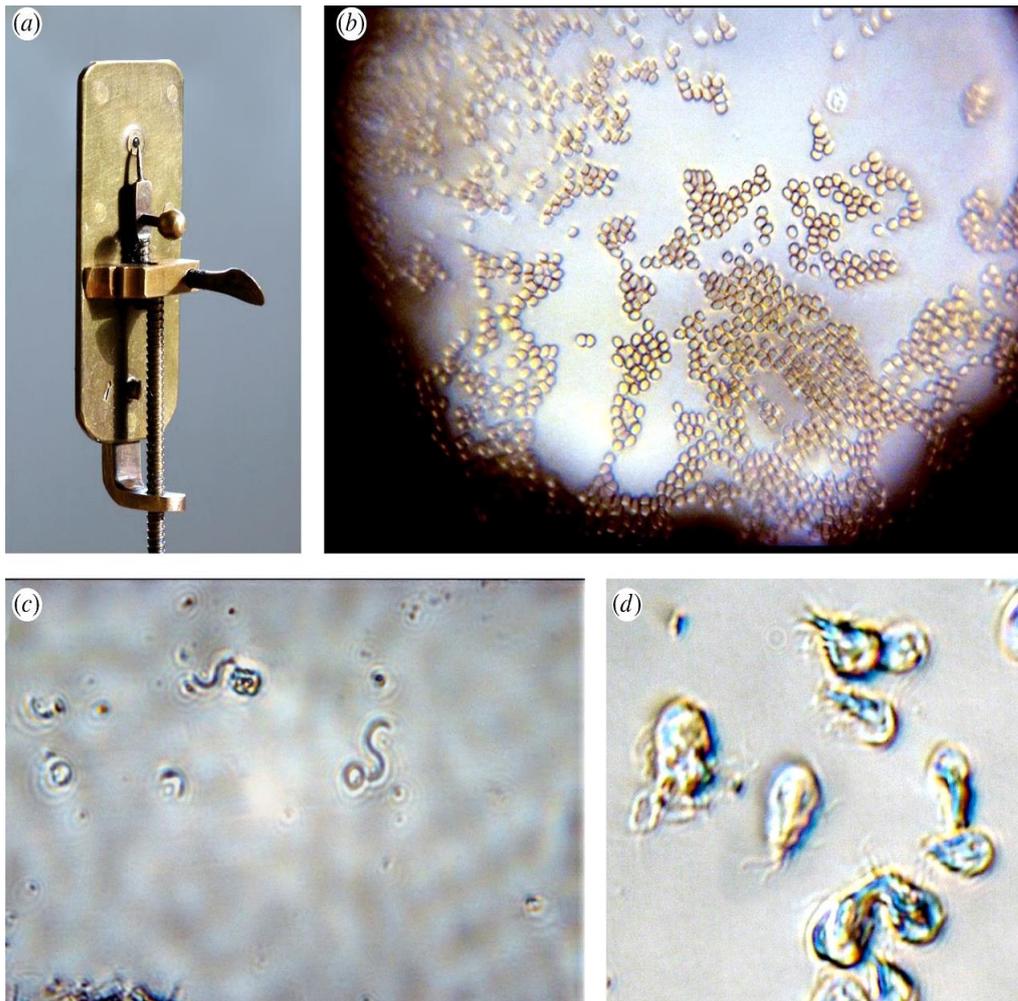


Figura 27 - (a) Réplica do microscópio de lente única por Leeuwenhoek (Imagem de Jeroen Rouwke. Licenciado sob CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons). (b, d) Fotomicrografias tiradas usando microscópios simples de lente única, incluindo um dos originais de Leeuwenhoek em Utrecht, por Brian Ford (Copyright © Brian J. Ford). (b) Um esfregaço de ar seco do próprio Ford no microscópio van Leeuwenhoek original em Utrecht, mostrando glóbulos vermelhos e um granulócito com seu núcleo lobado (canto superior direito; cerca de 2 μm de diâmetro). (c) Bactérias espirais (*Spirillum volutans*) fotografadas através de um microscópio de réplica com lente moída a partir de espinélio; cada célula bacteriana tem cerca de 20 μm de comprimento. (d) O parasita protista intestinal *Giardia intestinalis* fotografou através de uma réplica de refrigerante de vidro produzido por Brian Ford [28,29]. Fonte: <<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2014.0344>>.

Anos mais tarde, o microscópio primitivo de Leeuwenhoek foi aprimorado por Robert Hooke (1635-1703), ganhando mais uma lente e a possibilidade de ampliação de imagem, e suas primeiras observações levaram à descoberta das células. Porém, a célula como unidade fundamental da vida foi somente reconhecida em 1839, pelo botânico Matthias Jacob Schleiden e o zoólogo e fisiologista Theodor Schwann, ambos da Alemanha (HAM, p. 2, 1977).



Figura 28 - Microscópio de Hooke. Fonte: <<http://quibiological.blogspot.com/2014/04/introducao-citologia.html>>.

A view of Cork in two different Sections p. 10

Fig: 1.

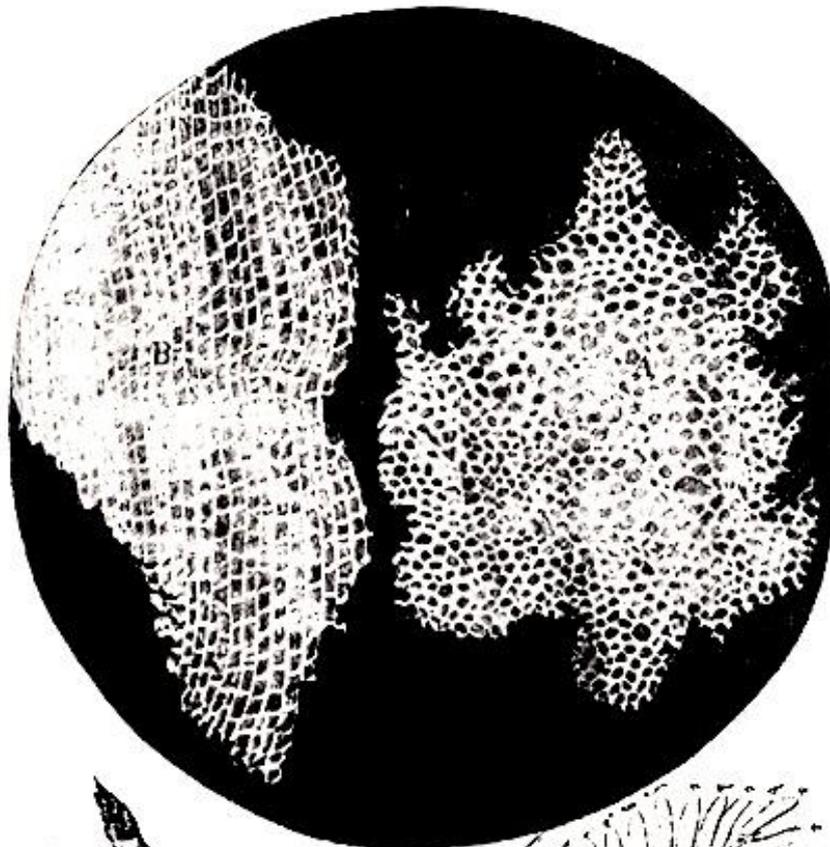


Fig: 2.

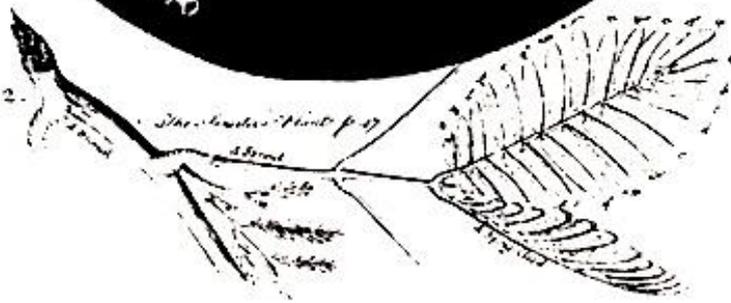


Figura 29 - Estrutura celular da cortiça ilustrada por Robert Hooke. Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/Robert_Hooke>.

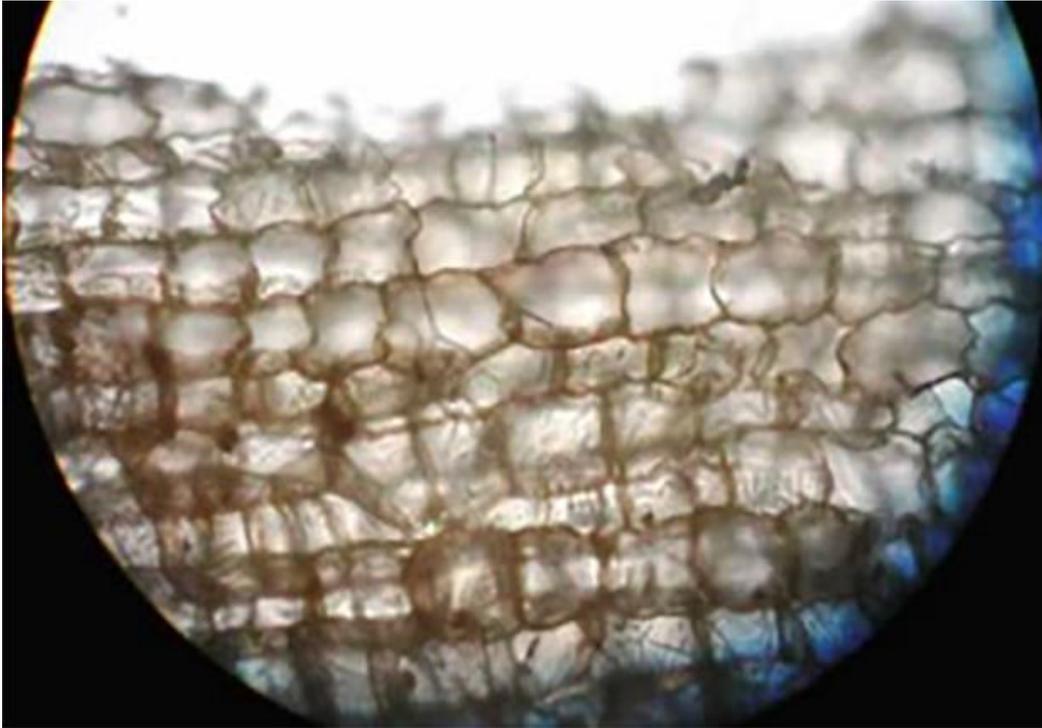


Figura 30 - Visualização do microscópio de células da cortiça. Fonte: <<http://quibiological.blogspot.com/2014/04/introducao-citologia.html>>.

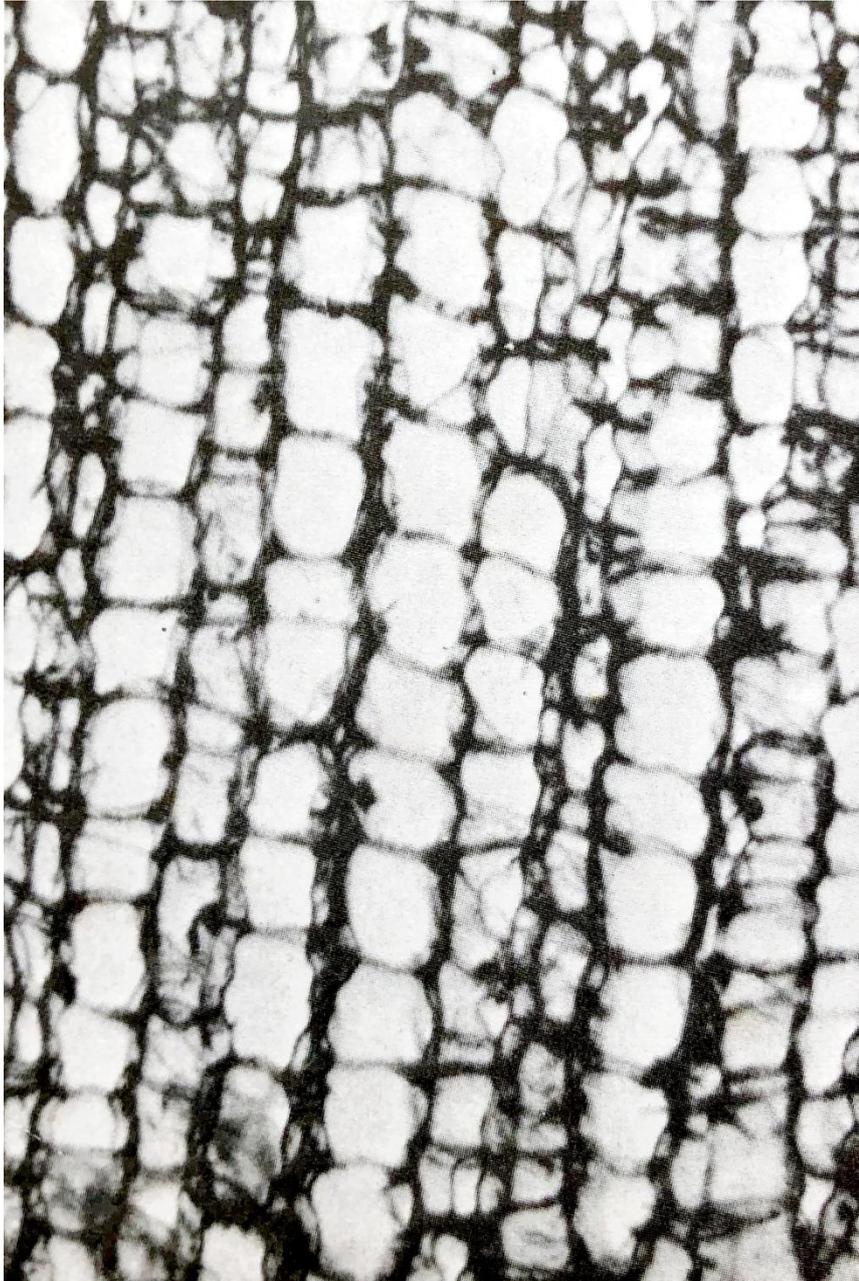


Figura 31 - Um corte de cortiça realizado à mão livre. Examinada ao microscópio, a cortiça pode ser vista como sendo constituída por numerosos compartimentos pequenos e vazios, separados, uns dos outros, por paredes delgadas.

Leeuwenhoek, comerciante e inventor amador, mantinha contato com o meio intelectual de Delft, entre eles Regnier de Graaf (1641-1673), o anatomista que havia descoberto os ovários humanos. Neste universo particular, o conhecimento circulava entre seus pares, como no caso de Leeuwenhoek, que pediu a Graaf que trouxesse uma lente de Leiden; quando a recebeu, examinou alguns cabelos e mostrou a lente e os cabelos a Vermeer, pintor holandês do século XVII, que também se entusiasmou e possivelmente utilizou lentes para desenvolver sua

refinada técnica de pintura. Como veremos a seguir, a cultura da época circulava em diferentes campos do saber e diferentes localidades (MARTINS, 2011, p. 132-134).

Durante anos, Leeuwenhoek descreveu o micromundo à sua volta em uma série de cartas à London Royal Society, de cuja qualidade de membro correspondente se orgulhava imensamente. Graaf, que utilizara lentes de vidro simples para seus estudos, contou a Leeuwenhoek sobre a publicação de um livro que fazia sucesso em Londres, *Micrographia* (MARTINS, 2011, p. 132-134). Publicado em 1665 por Robert Hooke, membro da London Royal Society, *Micrographia* foi uma das primeiras obras em que o microscópio foi aplicado ao estudo dos seres vivos. Hooke foi um importante filósofo natural que contribuiu em diversas áreas do conhecimento. Suas contribuições mais conhecidas são no campo da física, mas seus estudos microscópicos sobre seres vivos também foram igualmente importantes. O dom artístico de Hooke foi essencial para o sucesso da *Micrographia*, pois conseguia transformar as imagens confusas produzidas pelo microscópio em figuras nítidas e convincentes. Seus desenhos de pequenos animais, pulga e piolho, eram extremamente detalhados e bem feitos, sob o ponto de vista artístico, dando a impressão de ser um objeto tridimensional. Hooke utilizava as técnicas de dissecação para acrescentar as informações obtidas pela aparência externa dos pequenos animais. Ele utiliza nesta publicação a designação “little boxes or cells” (pequenas caixas ou celas) para denominar os alvéolos observados em casca do carvalho, dando origem assim ao termo célula (MARTINS, 2011, p. 116-22).



Figura 32 - O microscópio composto representado por Hooke na *Micrographia*.
Fonte: Hooke, 1665, prancha 1.

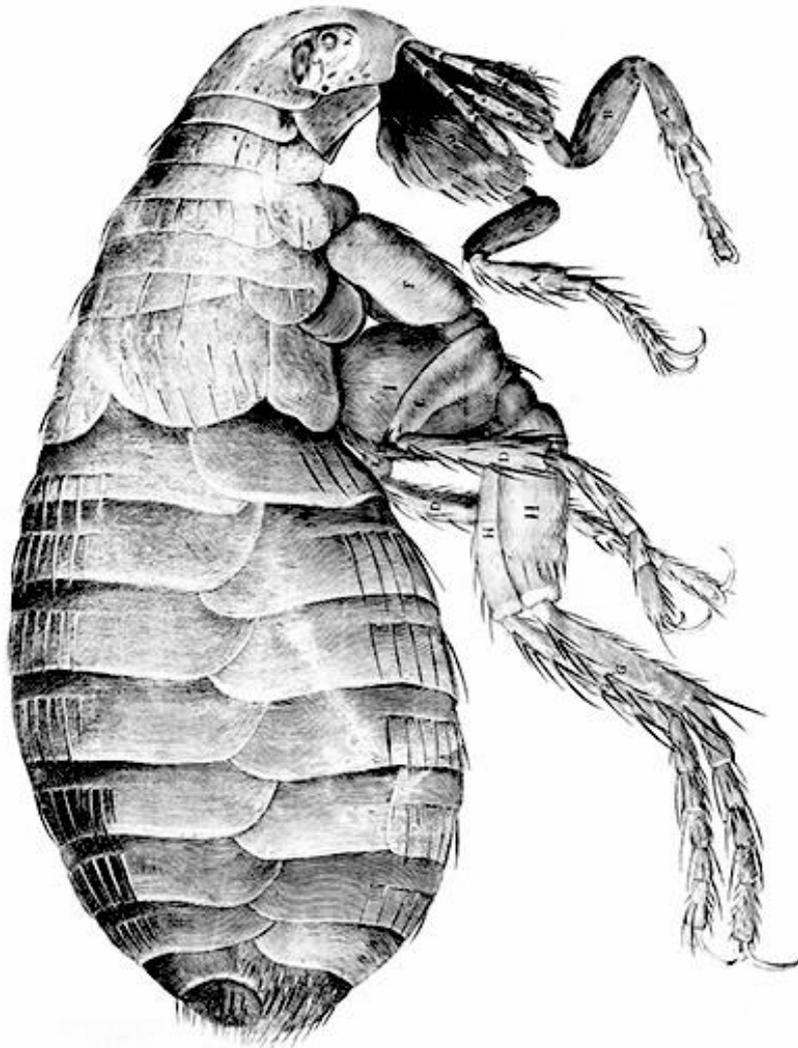


Figura 33 - Desenho de uma pulga, da Micrographia. Fonte: Hooke, 1665, prancha 34, p. 210-211.

A história do microscópio é a história da humanidade procurando entender e aperfeiçoar a visão (MANNHEIMER, 2002, p. I.1). A partir do século XIV lentes começaram a ser usadas comumente para corrigir defeitos de visão e como dispositivos de aumento, até seu posterior desenvolvimento com o microscópio por Leeuwenhoek, alcançando o apogeu no século XVII. No começo do século XX, a microscopia ótica havia atingido o limite de resolução previsto pelas leis da física, e uma vez que a qualidade das lentes não oferecia mais oportunidade para progresso, o único caminho para conseguir maior resolução seria através da utilização de radiações com menor comprimento de onda.

O ano de 1926 pode ser considerado como o início da óptica eletrônica. A dualidade partícula-onda foi enunciada pela primeira vez em 1924, pelo físico

francês Louis-Victor de Broglie, que anunciou que os elétrons apresentavam características tanto ondulatórias como corpusculares, comportando-se de um ou outro modo dependendo do experimento específico. A carga dos elétrons determina que sejam influenciados por campos magnéticos e eletrostáticos, o que possibilita a construção de lentes. Busch formulou a teoria na qual campos magnéticos ou elétricos com simetria axial agem como lentes sobre partículas carregadas, como elétrons, e desenvolveu uma lente magnética. Em 1931, a partir dos conhecimentos desenvolvidos pela física moderna, Knoll e Ruska desenvolveram o primeiro microscópio eletrônico, superando, pela primeira vez, a resolução do microscópio com luz visível. Após a Segunda Guerra, a microscopia eletrônica teve rápido desenvolvimento, principalmente na área biológica (MANNHEIMER, 2002, p. I.9).



Figura 34 - Primeiro microscópio eletrônico: Ruska e Knoll. Fonte: <<https://www.microscopy.ethz.ch/history.htm>>.



Figura 35 - Microscópio moderno. Fonte: Paweł Czerwiński. Unsplash. <<https://unsplash.com/photos/JdtUKqGdqw8>>.



Figura 36 - Microscópio moderno. Fonte: Michael Longmire. Unsplash. <<https://unsplash.com/photos/L9EV3OogLh0>>



Figura 37 - Imagem microscópio eletrônico da epiderme da folha de *Nicotiana glauca*. Fonte: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Epidermis_\(botany\)#/media/File:Leaf_epidermis_w_scale.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Epidermis_(botany)#/media/File:Leaf_epidermis_w_scale.jpg)>.

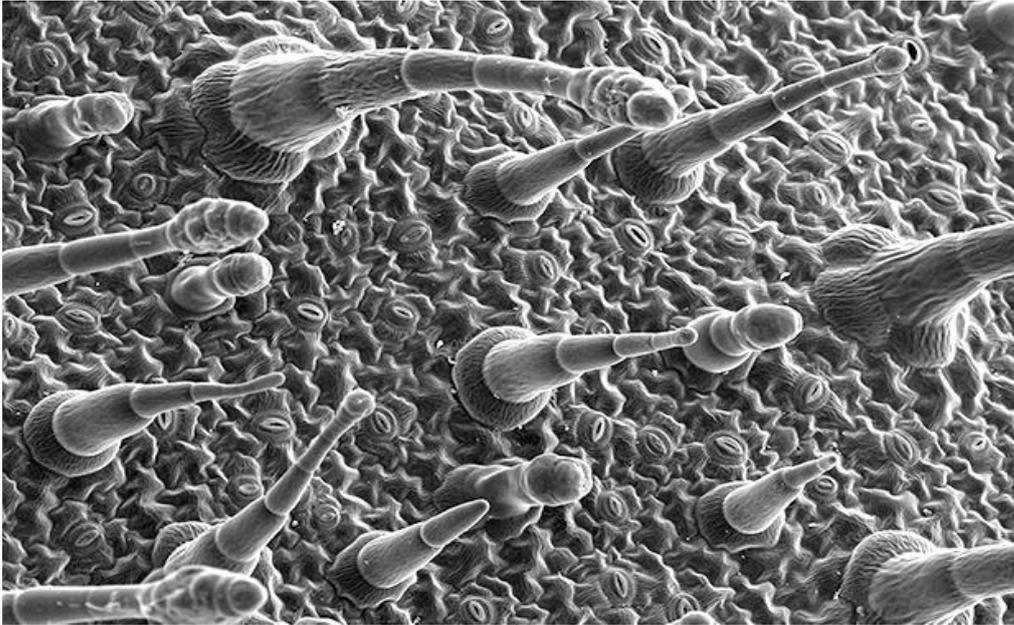


Figura 38 - Visualização microscópica. Fonte: Michael Schiffer. Unsplash. <<https://unsplash.com/photos/13UugSL9q7A>>.

A Física Moderna expandiu nosso conhecimento para além do espectro eletromagnético, com seus elementos atômicos e subatômicos, transformando o invisível em visível. Equipamentos produzem a energia necessária para promover visibilidade, ampliando a visão e nosso campo de conhecimento. O corpo se transforma em órgão biológico, sujeito a leis da física e química, atravessado por ondas ou partículas em seu caminho de propagação de energia de um ponto a outro.

3.4

Medicina Além-da-visão baseada na Física: raios de partículas, ultrassom e campos magnéticos: o conhecimento da física para visualizar por dentro de forma não invasiva

Para além do espectro visual, as novas descobertas da física penetram o conhecimento médico e criam a base científica para prática dos cuidados da saúde; novos equipamentos penetram o espaço do conhecimento médico, o hospital, produzindo outra linguagem, conhecimento, comunicação e cultura na medicina.

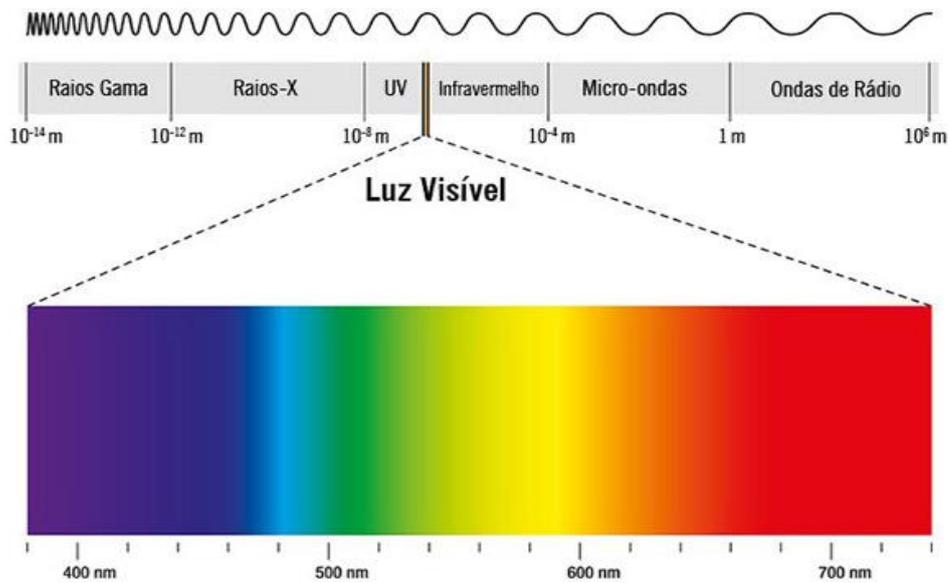


Figura 39 - Espectro eletromagnético.

No final do século XIX, em 8 de novembro de 1895, o Prof. Wilhelm Conrad Röntgen descobriu os raios X, viabilizando, pela primeira vez, um dispositivo que possibilitava “ver”, sem impedimento da camada superficial da pele, o corpo através de uma banda invisível do espectro eletromagnético. A evisceração do corpo, para ver o que está abaixo, não era mais necessária. Estas emissões peculiares não só passavam por muitos itens sólidos colocados em seu caminho, como também ativavam materiais fosforescentes e imprimiam imagens em placas fotográficas, de forma imediata, em preto e branco e espectral (KEMP, 1998, p. 25). Röntgen ganhou o primeiro prêmio Nobel de física em 1901.



Figura 40 - Primeiro Raio-X, 1896. Fonte: <<https://www.independent.co.uk/news/science/the-first-x-ray-photograph-rhodri-marsdens-interesting-objects-no86-a6721131.html>>.

O salto conceitual foi enorme e desde então cientistas têm trabalhado para desenvolver novas técnicas de imagem médica. Nunca houve, na história da ciência, um período tão curto transcorrido entre uma descoberta fundamental e sua primeira aplicação, particularmente na Medicina. Já em fevereiro de 1896, apenas três meses depois da descoberta de Röntgen, foram realizadas nos EUA as primeiras aplicações clínicas práticas da radiologia, usada para identificar fraturas ósseas na Dartmouth Medical School. Em poucos meses, praticamente todos os centros urbanos de importância médica tinham adotado a nova tecnologia (MOULD, 2011, p. 100) (Figura 40).

Imagem de raios X, ou radiografia, rapidamente se tornou uma importante ferramenta para os médicos. Durante décadas após sua descoberta, novas técnicas foram criadas, tais como contrastes que proporcionam a visualização de imagem além do sistema esquelético, e avanços nas técnicas convencionais, como fluoroscopia e radiografia computadorizada, que permitem visualização em tempo real durante o exame, assim como o processamento digital de radiografias, ampliando, no âmbito da radiografia, a visualização de imagens médicas. O negatoscópio, aparelho dotado de iluminação especial para observação dos filmes radiográficas (Figura 41), possibilitou aos médicos uma nova forma de conversação, reunidos ao redor do suporte iluminado discutindo a geometria da projeção 2D e sua visualização ou outra forma de pensar e avaliar os achados

anatômicos.



Figura 41 - Negatoscópio. Fonte: <<https://www.toomed.com/blog/eclairage-pour-etablissements-medicaux/negatoscope-2-plages/?cn-reloaded=1>>

A imagem revelada pela radiografia é sempre bidimensional, não há perspectiva e tudo parece estar localizado no mesmo plano. Os órgãos parecem compactados, como se fossem uma estrutura única, e não representam as relações espaciais dos objetos como estamos acostumados a vê-los no mundo externo (Figura 42). Essa técnica proporciona à semiótica médica complementar seu raciocínio com a imagem do R-X, incorporado sinais radiológicos aos sinais e sintomas clínicos. A linguagem 2D criada por essa tecnologia, que projeta as coisas tridimensionais numa única figura, em diferentes tons de cinza, requer uma nova forma de pensamento, que é imaginativo, necessário para recriar o modelo em 3D a partir da radiografia plana e bidimensional.



Figura 42 - Raio X de dente. Fonte: Foto de Umanoide. Unsplash. <https://unsplash.com/photos/KeVKEs1_RDU>.

A interpretação correta de uma imagem de raio X, como visão da estrutura anatômica interna, requer um conhecimento geral da anatomia da região de interesse e uma boa dose de imaginação para converter mentalmente a imagem 2D em 3D. Com essas limitações, uma certa cultura se instalou nos ambientes médicos, uma arte interpretativa das imagens médicas, na qual o radiologista, como médico especialista, detinha o conhecimento das técnicas e a interpretação dos seus sinais radiográficos.

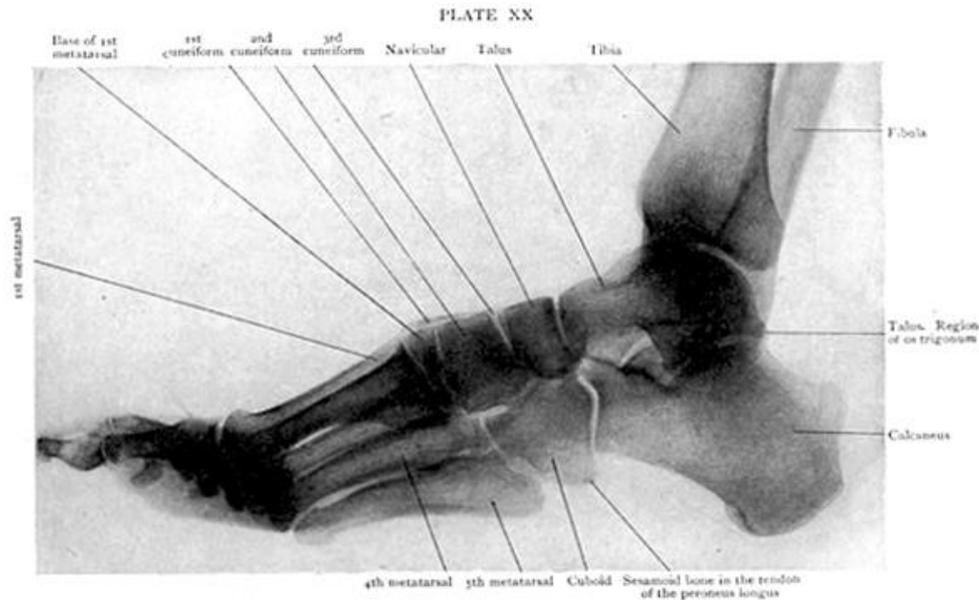


FIG. 103 — Radiograph of the Foot of an adult.
(Major T. Rankine.)

Figura 43 - Radiografia de um pé adulto. Fonte: Imagens das radiografias ilustrativas do Manual de Anatomia Prática de Cunningham, 7a ed. (1920) revisado e editado por Arthur Robinson. California Digital Library. <<https://planet.okfn.org/category/x-ray/>>.

Sua linguagem, nomeando técnicas radiológicas com o nome do especialista que havia descoberto determinada técnica ou achados radiológicos, que quando associavam um achado a uma determinada doença tornando-se assim sinais radiológicos, é transmitida aos médicos não especialistas de forma idiossincrática, conforme o conhecimento pessoal e histórico do especialista e sua habilidade de “ler” radiografias, com a sua linguagem específica para interpretar o mundo tridimensional a partir da imagem bidimensional, autoconstruída como um modelo mental individual.

Desde o seu desenvolvimento na década de 1970, a tomografia computadorizada (TC) evoluiu de um método radiográfico a uma ferramenta para aquisição de imagens detalhadas da anatomia do corpo, de forma rápida e em alta resolução. *Scans* rápidos com fatias muito finas, retornam volumes de dados de imagem em 3D a partir da modelagem computacional e possibilitam novas aplicações dentro da atividade médica, gerando novos conhecimento e práticas (Figura 44).



Figura 44 - Tomógrafo. Fonte: <<https://www.vencercancer.org.br/cancer/diagnostico-2/tomografia-computadorizada/>>.

A TC tem uma variedade de vantagens como modalidade de imagem em comparação com o uso convencional de raios X (HOUNSFIELD, 1980):

- 1) A TC apresenta informação anatômica detalhada e proporciona localização precisa do objeto em profundidade, sendo crucial para o tratamento e planejamento cirúrgico.
- 2) Maior sensibilidade para distinguir diferentes tecidos, utilizando uma escala de cinza para diferenciação tecidual.
- 3) Uma vez que a absorção de raios X é calculada com alta precisão para os elementos de volumes individuais, é possível analisar quantitativamente os dados da TC, podendo ser usado como um indicador de gravidade de uma doença.

Devido à sua alta resolução espacial, a TC tem a uma vantagem importante em relação ao raio-X convencional, com maior acurácia na localização das patologias e representação de sua forma anatômica.



Figura 45 - Paciente em um tomógrafo. Fonte: <https://europathology.alliedacademies.com/2019/events-list/diagnosis_cancer>

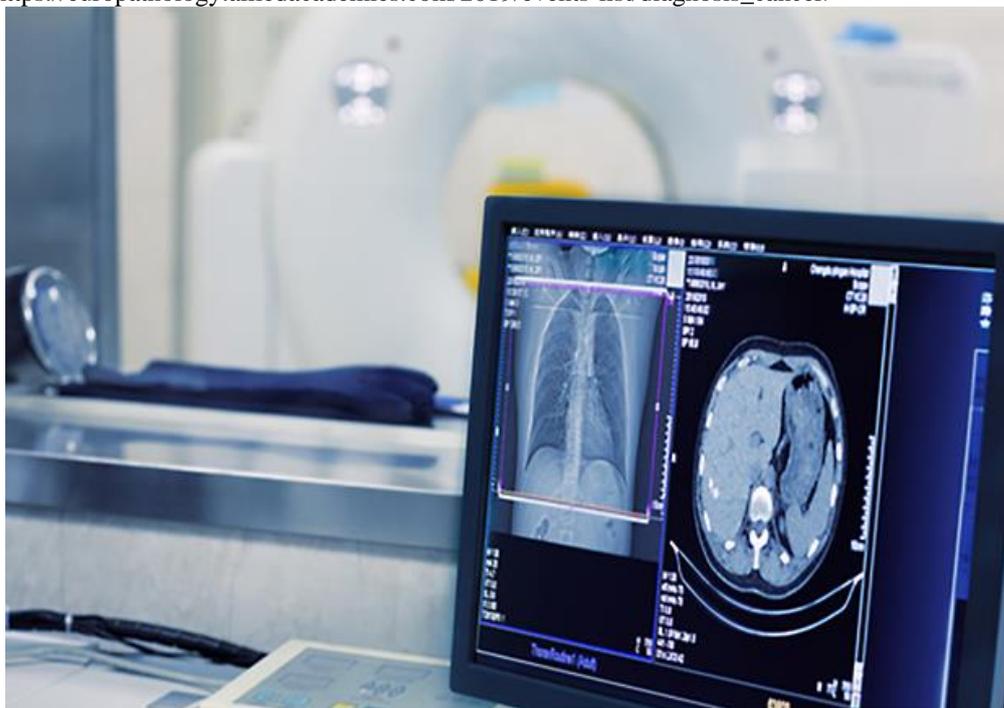


Figura 46 - Visualização de tomografia na sala de exame. Fonte: <<https://www.theinquirer.net/w-images/24a64b98-1306-4a14-950e-efe62f7669bc/1/CTscan-580x358.jpg>>

A ressonância magnética (RM) também se desenvolveu durante os anos 1970, produzindo inicialmente imagens com baixa resolução espacial. Entretanto, apresentava vantagens na discriminação de certos tecidos em relação à TC, além da vantagem de não necessitar utilizar radiação ionizante, que é capaz de destruir e alterar tecidos humanos, como a TC (BRADLEY, 2008, p. 352).

A RM é baseada nas diferentes propriedades do tecido humano em um forte campo magnético. Em particular, a ocorrência de núcleos de hidrogênio no tecido humano é explorada para geração de imagens. Quando a imagem é realizada, gradientes são criados no campo magnético ao longo dos eixos x, y e z no momento que o campo magnético é criado sobre o corpo que está sendo escaneado. Uma vez que a força do gradiente no campo magnético é conhecida e um pulso de frequência é aplicado e transmitido com uma determinada frequência, a localização do núcleo de hidrogênio pode ser determinada. Quanto maior o número de prótons em um ponto, maior a amplitude do sinal em uma determinada frequência. Conhecendo a posição e a amplitude, é possível produzir uma imagem de RM (BRADLEY, 2008, p. 352).

Os computadores, por meio dessas fatias de alta precisão geradas pela TC e RM, possibilitam a construção de uma imagem 3D. Através do processamento computacional, cada uma das finas fatias sobreposta uma sobre a outra e alinhada com a fatia vizinha, é possível reconstruir o objeto original em três dimensões, um avanço significativo para o diagnóstico visual.



Figura 47 - Imagem de tomografia. Fonte: <<https://pancreapedia.org/reviews/imaging-assessment-of-etiology-and-severity-of-acute-pancreatitis>>



Figura 48 - Imagem de ressonância magnética. Fonte: <https://www.millburnmedicalimaging.com/radiology-in-nj/MRI-in-essex-union-county/musculoskeletal/>

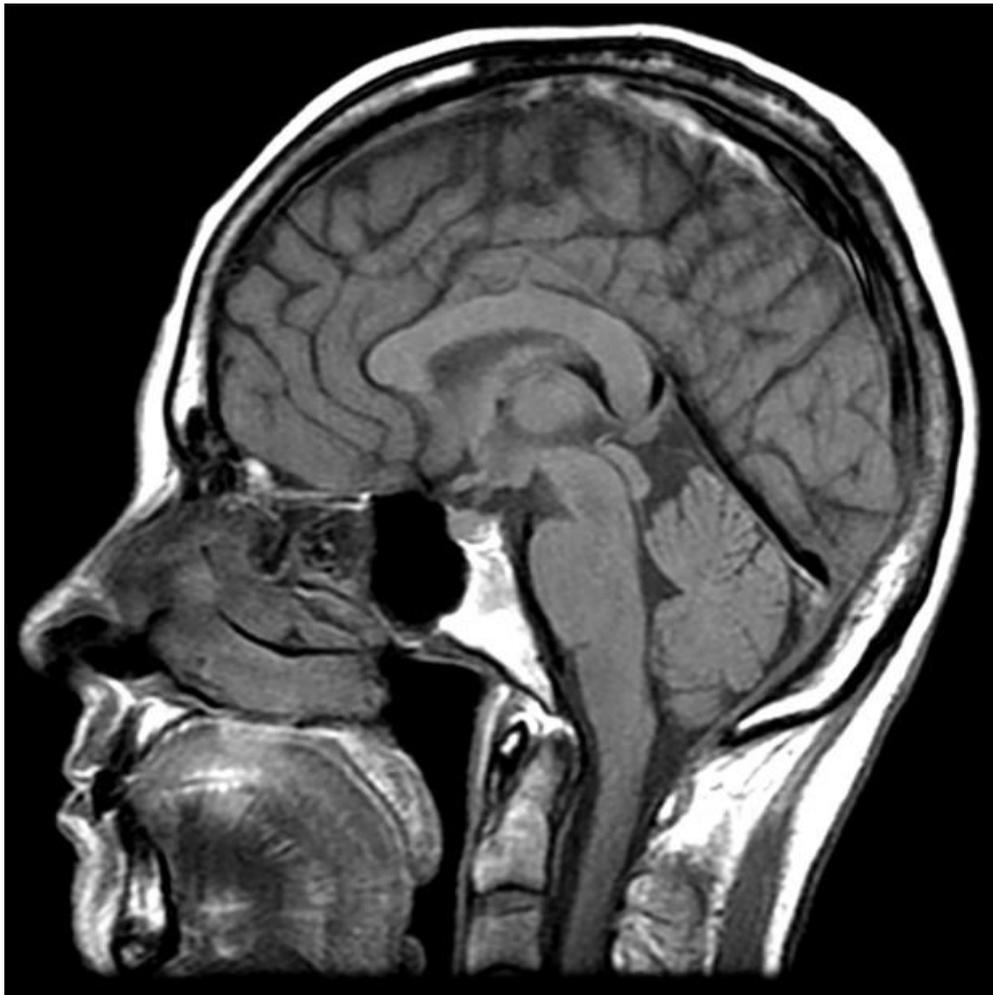


Figura 49 - Imagem de ressonância magnética . Fonte: <<http://mriscancenter.com/mri-scan/>>

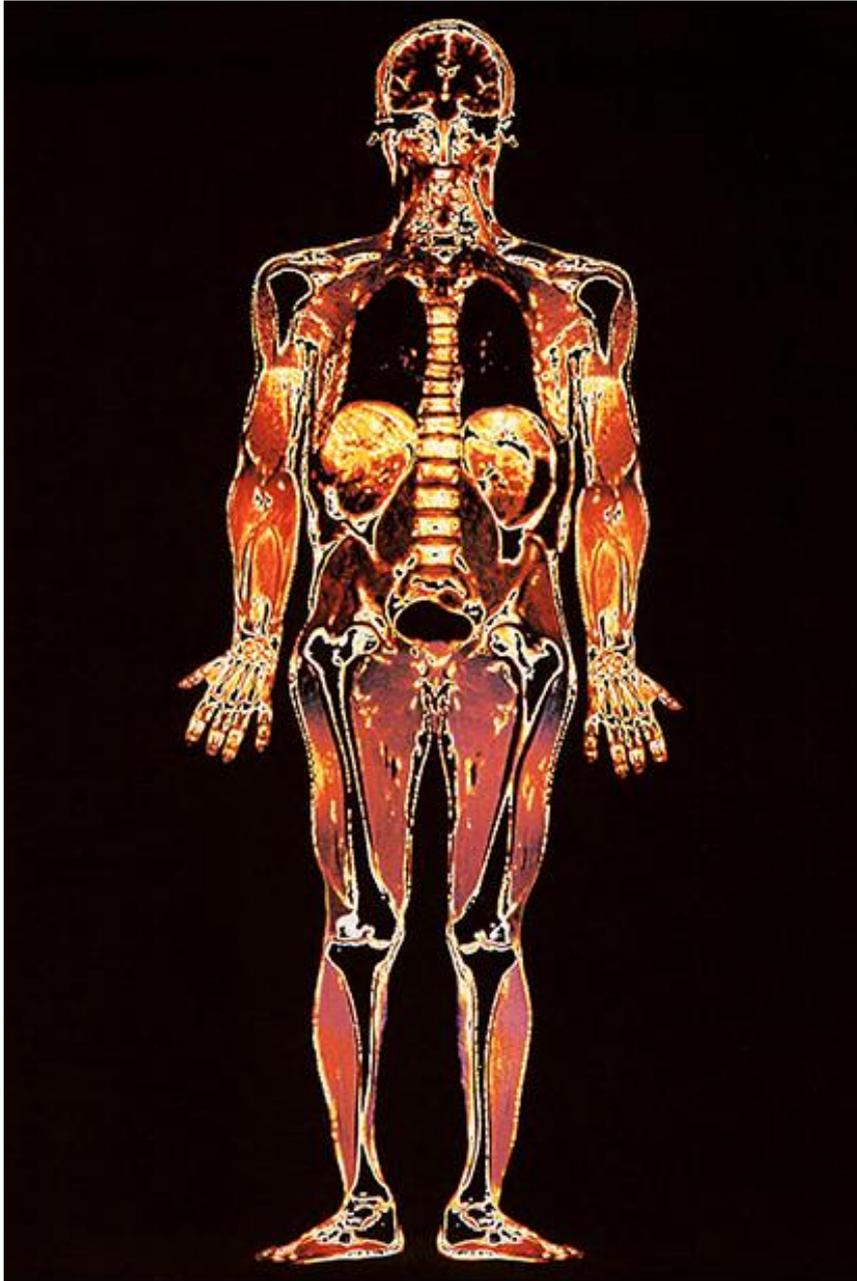


Figura 50 - Imagem de ressonância magnética . The Cambridge Illustrated History of Medicine. Fonte: The Cambridge Illustrated History of Medicine, p. 6.

A tomografia por emissão de pósitrons (PET SCAN) é uma técnica de imagem que avalia processos funcionais utilizando imagens 3D. A técnica consiste na utilização de uma substância radiofarmacêutica (isótopo radioativo) de curta duração (“traçador”) injetada e rastreada por todo o corpo, até alcançar a área alvo pesquisada. O isótopo radioativo é processado pelo metabolismo celular local, emitindo pósitron. Sabe-se que, em medicina nuclear, um pósitron interagindo com um elétron, este se aniquila, o que por sua vez gera dois fótons gama (raios) em direções opostas (180 graus). Como os fótons de aniquilação são sempre emitidos em direções exatamente opostas, é possível localizar e medir sua fonte pela matriz

do detector do PET ao longo de uma linha reta e, como os traçadores são processados principalmente pelo metabolismo em regiões ativas no momento em que o exame é realizado, a localização de uma atividade metabólica aumentada, como uma metástase cancerígena, pode ser revelada (PREIM, 2011, p. 56).

A ultrassonografia é uma modalidade utilizada para várias formas de diagnóstico. O ultrassom está baseado em princípios sonoros, segundo o qual pulsos emitidos em alta frequência por um transdutor de ultrassom para determinada área do tecido humano penetram o corpo com a velocidade de 1450 a 1580 metros por segundo e são parcialmente refletidas quando atingem uma interface entre dois tipos de tecido. As ondas refletidas são recebidas e registradas, pelo transdutor, por meio de sensores localizados ao lado das fontes de som e utilizados para gerar as imagens (PREIM, 2011, p. 52).

Nesta sequência de ciclos históricos, técnicas ou tecnologias são desenvolvidas e produzidas, determinando um conjunto de práticas que produzem um novo paradigma. Cada passagem de ciclo é marcada de forma emblemática. A Revolução Industrial foi um marco histórico, o início de um ciclo de grande desenvolvimento tecnológico; seu emblema foi a máquina a vapor (SANTAELLA, 1997, p. 34).

Santaella (1997, p. 37) considera que, no contexto da Revolução Industrial, uma outra máquina começou a aparecer. Máquinas que funcionavam como extensões dos sentidos humanos especializados, extensões do olho e do ouvido, e a câmara fotográfica é a máquina emblemática deste ciclo. Segundo ela, “o funcionamento de tais máquinas está ligado de maneira tão visceral à especialização dos sentidos ou aparelhamento da visão e da escuta humana que a denominação de aparelhos lhe cabe muito mais ajustado do que máquinas”. Estas máquinas foram construídas com auxílio de pesquisas e teorias científicas, que antecederam sua produção e são dotadas de uma inteligência sensível, na medida que estes aparelhos corporificaram um nível de conhecimento teórico sobre o funcionamento do órgão que lhe serviu como referência, simulando seu funcionamento (SANTAELLA, 1997, p. 37). Assim, esses aparelhos, ao simular determinado funcionamento sensível, se tornam capazes de produzir algo que não existia, criando modificações profundas no conhecimento. Na área da medicina, os aparelhos de R-X exerceram essa função, de forma exponencial, quando inventaram a técnica de exame de imagem, a radiografia. A imagem médica tornou-se onipresente em hospitais,

clínicas, ambulatórios e consultórios e mudou a prática da medicina.

O R-X foi uma tecnologia que causou um grande impacto no campo da biologia. A descoberta do DNA, a sigla emblemática dos novos conhecimentos do século XX, se relaciona com a radiografia, na medida que sem o R-X não haveria a técnica da cristalografia e, conseqüentemente, não se confirmaria a hipótese de Crick e Watson. É exatamente neste ponto que reside a importância paradigmática do R-X: seu potencial de ver o invisível.

Foi enorme o salto conceitual para a ciência dado pela descoberta e utilização da radiação em na cultura científica biomédica. A capacidade de construir pensamento abstrato a partir do invisível, utilizando técnicas sofisticadas e cálculos matemáticos, elevou a física ao patamar máximo das ciências, deslocando o seu conhecimento teórico para laboratórios de pesquisa, com uma linguagem hermética e incompreensível.

Inicialmente, no campo da medicina, os físicos ocuparam o domínio da radiologia nas instituições hospitalares. Porém, com o desenvolvimento tecnológico e oportunidades de negócios, o conhecimento foi deslocado para grandes empresas, prestadoras de serviço. Restou aos médicos a perspectiva de produzir imagens e dar a sentido ao que se tornou visível, utilizando sua cultura e conhecimento, a semiologia médica. O médico radiologista criou sua linguagem, construindo signos e uma cultura de visualização das imagens, particular ao seu olhar. Desenvolveu a habilidade de transformar a representação plana das imagens bidimensionais em representação abstrata e mental.

Na segunda metade do século XX, começam a ser publicados, na literatura médica, artigos que demonstraram que superfícies tridimensionais poderiam ser extraídas e visualizadas a partir de dados de tomografia computadorizada. Este desenvolvimento na área da imagem médica acompanhou os avanços obtidos no processamento digital e visualização científica das imagens (PREIM, 2014, p. 1). A partir da modelagem matemática, utilizando processamento digital, a informação pictórica analógica torna-se um conjunto de dados, passível de exploração e manipulação, projetando um novo meio para a troca de informação e comunicação da imagem médica.

Com a computação digital, cortes milimétricos são gerados e processados como informação digital; sua comunicação fica cada vez mais restrita ao radiologista, tendo em vista que o radiologista é quem faz a aquisição, análise e

interpretação da informação dos dados médicos. O computador digital transformou a informação como a matéria-prima do pensamento do médico radiologista, a expressão por meio de códigos simbólicos de entrada e saída, interpretados e manipulados de acordo com processos formais definidos (LEVY, 1993, p. 40). O computador, assim como a máquina fotográfica e a máquina vapor, é o emblema da Era da Informação.

3.5

Medicina Virtual baseada nos computadores: ver a realidade por meio de modelos gerados por computador

Como a Computação transformou a radiologia em uma especialidade médica que cria informação, disponibilizadas em bits. A conversão da informação contida em um sinal da forma analógica para a forma digital.

Houve um grande avanço na visualização tridimensional das imagens médicas com as reconstruções virtuais que os equipamentos de TC e RM realizam. Visualizar os órgãos e compreender suas relações espaciais foram facilitadas, pois a aquisição do conjunto de dados da imagem, nestes equipamentos, produz a informação necessária para reconstruir virtualmente imagens que correspondem e representam anatomicamente os órgãos, como normalmente estão localizadas dentro do corpo, tornando possível revelar todos os detalhes da anatomia sem distorcer as relações com as estruturas internas (MORI et al., 2016).

As imagens tridimensionais são de extrema importância quando intervenções terapêuticas são necessárias, pois conhecimento detalhado da estrutura e localização dos componentes passa a ser uma informação essencial para o diagnóstico e tratamento das doenças, fazendo com que a sua visualização apropriada seja relevante na tomada de decisão.

Com a computação e digitalização das imagens médicas, a interação e exploração da imagem se tornou possível, possibilitando ao médico comparar diferentes bases de dados para melhorar os parâmetros de visualização da imagem. Tornou-se um método de investigação não invasiva, baseada em dados de volumes tridimensional e digital, transformando o equipamento radiológico em um sistema digital de processamento de imagem.

Entretanto, a representação visual das reconstruções virtuais, quando apresentadas em suporte bidimensional, por mais que facilitem a localização precisa das lesões, não representa o cenário clínico com as complexas inter-relações tridimensionais das suas partes componentes (MORI et al., 2019). Atualmente, uma nova forma de visualização é possível com os modelos impressos tridimensionais, através da manufatura aditiva, utilizados no planejamento cirúrgico de casos complexos, tendo em vista que o modelo físico, além de ser capaz de revelar as complexas inter-relações tridimensionais de suas partes componentes, possibilita ao médico interagir manualmente com os modelos tridimensionais.

A avaliação direta da anatomia na réplica impressa em 3D e sua simulação cirúrgica possibilitam a otimização da abordagem cirúrgica, um planejamento cirúrgico seguro e a replicação do procedimento com sucesso no modelo impresso.

A manufatura aditiva possibilita uma melhor avaliação pré-operatória com a interação e visualização do modelo 3D, o que não é possível com as reconstruções virtuais em 2D. A comunicação e coordenação da equipe cirúrgica é facilitada, melhorando a estratégia e planejamento cirúrgico.

Com os avanços da tecnologia de informação e comunicação e o aumento computacional, uma ampla variedade de dispositivos de realidade virtual (VR) e realidade aumentada (AR) começaram a ser utilizados na medicina. Essas tecnologias fornecem uma imersão estereoscópica e tridimensional em um ambiente imersivo (RV) ou sobrepostas a um plano de fundo do mundo real (RA). As tecnologias de RV e RA se apresentam como uma forma de comunicação entre os profissionais da saúde, equipes médicas, clínicos e pacientes, possibilitando aos médicos transpor as telas bidimensionais e entender a anatomia do órgão tridimensional de forma não invasiva, interativa e imersiva.

Podemos considerar que o processamento digital da imagem, produzindo modelos físicos e virtuais personalizados, possibilita uma outra forma de utilização das habilidades cognitivas, visual e tátil, produzindo uma outra linguagem. É uma linguagem digital, uma máquina inteligente que programa a realidade e amplia nossa capacidade de aprendizado, em consonância com competências cognitivas criadas através do mundo ubíquo da computação.

3.6

Tecnologias de visualização criam linguagem, que criam novos conhecimentos, que modificam a cultura médica

A linguagem é o instrumento que estrutura e legitima um novo conhecimento, construído muitas vezes de forma circular ou não linear. A tecnologia é o mediador desta transformação, instrumentaliza os meios de comunicação, criando novos conceitos, teorias, códigos e signos para disseminação dos conhecimentos compartilhados.

A RV é uma tecnologia que combina variados atributos, orientados para visualização em um ambiente virtual, e cria uma imagem realista onde o usuário experimenta de forma multissensorial o mundo virtual. Por outro lado, as sobreposições de RA geram dados sobre o mundo real, a fim de modificar, superpor, ou enriquecer a imagem no mundo real, melhorando sua apresentação espacial utilizando dispositivos móveis portáteis ou vestíveis. A RV pode ser pensada como uma substituição da realidade analógica por um ambiente virtual, enquanto a RA aprimora certos elementos do mundo real com dados de sobreposição adicionais (CAO; CERFOLIO, 2019). Os arquivos gerados em TC e RM, que criam os modelos 3D para visualização e interação em RA e RV, são os mesmos utilizados para criar modelos impressos pela manufatura aditiva. A digitalização dos dados possibilita diferentes linguagens visuais.

A manipulação e a interação das imagens médicas permite aos médicos ter o controle das imagens, modifica a forma de comunicação, para além da tela plana, interagindo por meio do tato com os objetos produzidos sinteticamente a partir da própria anatomia do paciente; uma forma de linguagem não experimentada anteriormente, a mudança do pensamento médico em uma cultura digital, ampliando seu domínio linguístico. A informação digital transforma os meios de comunicação (ROSE-STOCKWELL, 2019).

RA e RV são ferramentas tecnológicas para o aprimoramento da visualização das imagens médicas, permite que o médico aprenda, sem o esforço cognitivo de construir imagens 3D a partir da visualização 2D, e possa interpretar as imagens com mais precisão. Existe um potencial a ser explorado com as tecnologias 3D, com melhorias no desempenho do médico, procedimentos de menor custo e melhores resultados para os pacientes.

De forma geral, o caminho para incorporar os avanços tecnológicos à

prática clínica é longo e incerto. Não acredito que seja diferente com as novas tecnologias de visualização e interação 3D. Isso pode ser atribuído, em grande parte, ao fato de que atualmente o diagnóstico por imagem está baseado na relação entre visualização bidimensional dos dados e a sua correspondência clínica, orientando boa parte do raciocínio clínico na medicina. A incorporação dessas informações tridimensionais ao raciocínio clínico pode ter grande relevância na prática clínica, mas implica em mudanças de paradigma. Precisamos começar a pensar em termos tridimensionais.

4

Tecnologias 3D e algumas potencialidades de aplicação nas práticas médicas

Neste capítulo, apresento a “pesquisa *para design*”(FIDELI, 2004) que fiz para conhecer as tecnologias contemporâneas de visualização tridimensional: na Seção 4.1, apresento as investigações que fiz com impressão 3D; na Seção 4.2, apresento minhas investigações com realidade aumentada e realidade misturada; na Seção 4.3, relato minhas experiências com realidade virtual; e termino, na Seção 4.4, com as investigações iniciais que realizei com óculos de realidade aumentada. Registro, no presente capítulo, as minhas experiências com cada uma dessas tecnologias como forma de apresentar o estado da técnica desta pesquisa. Ao apresentá-las, vou tecendo as reflexões que essas experiências me provocaram e que me levaram a escolher, para realizar uma pesquisa em profundidade, a visualização tridimensional por meio de óculos de realidade aumentada. Essa escolha levou ao desenvolvimento do artefato ProVis3D que apresento no capítulo seguinte.

4.1

Impressão 3D: tocando um vaso, um coração e outros órgãos impressos

Seguro, em minhas mãos, minha primeira impressão 3D: uma aorta (Figura 51). A aorta é a maior e mais importante artéria do sistema circulatório do corpo humano. Dela se derivam quase todas as outras artérias do organismo. Esse modelo de aorta foi impresso em plástico. Plástico é inodoro: não o percebo como algo que lembre as figuras anatômicas dos livros-textos de anatomia; nem as peças anatômicas das salas de anatomia patológica, com corações e vasos aprisionados em frascos de formol; nem mesmo o cheiro característico das máscaras que usamos durante o ato operatório; nem o cheiro do bisturi elétrico, cauterizando os vasos sanguíneos, necessário para delimitar o campo cirúrgico durante a cirurgia de uma aorta; também não há o forte cheiro de formol se espalhando pelo laboratório.



Figura 51 - Impressão 3D de uma aorta. Fonte: do autor.

Segurar aquela peça moldada em plástico, contudo, me fez lembrar minhas aulas práticas de anatomia, minha primeira dissecação de órgãos no necrotério. Pensando retroativamente, fico refletindo sobre a digitalização do espaço e das coisas, um mundo impresso onde a realidade passada em sala de aula de anatomia dissecando veias e artérias se torna presente através daquela sensação tátil, prospectando uma possível realidade em que não mais serão necessários corpos inertes. A morte deixará de ser o primeiro contato com a medicina; esse primeiro contato será por meio de órgãos digitalizados, um simulacro da vida. Será uma inversão justa: para os alunos que desejam salvar vidas, começar por ela em vez de iniciar seus caminhos onde finalizamos nossos objetivos e deveres como médicos.

Também estranhei a rigidez daquele modelo em plástico; não sentia a flexibilidade característica daquele vaso sanguíneo. Afinal, não é um vaso; é apenas

a impressão 3D de um modelo segmentado a partir de um órgão real. Há semelhanças e diferenças, aproximações e distanciamentos.

As técnicas de impressão 3D, manufatura aditiva, tornaram-se disponíveis para uma ampla gama de aplicações (PAL, 2001, p. 82). Na área médica, algumas pesquisas foram feitas com o objetivo de reproduzir a anatomia humana com os padrões de alta fidelidade (McGURK et al., 2007, p. 169).

Minha primeira experiência de impressão 3D foi fascinante. Começou quando, no primeiro semestre de 2012, o Professor Jorge Lopes disponibilizou, no NEXT, para meu aprendizado e uso como ferramenta de trabalho, o software Materialise Mimics⁶ (Figura 52), um sistema computacional que possibilita a produção de modelos anatômicos hiper-realistas utilizados para diagnóstico em conjunto com outras ferramentas de avaliação clínica especializada. Nesse sistema, são produzidos modelos tridimensionais para posterior impressão 3D.



Figura 52 - Layout do software de segmentação Mimics. A, Coronal, B Axial, em C, Sagital e em D, modelo tridimensional. Fonte: do autor.

Para a experimentação no Mimics, utilizei uma tomografia computadorizada abdominal de um paciente em que havia realizado, recentemente, uma cirurgia para retirada de um tumor no intestino grosso. Como de costume,

⁶ <https://www.materialise.com/en/industries/healthcare>

participei de todo o processo diagnóstico, da consulta inicial à cirurgia para o tratamento do tumor desse caso. Uma tomografia produz imagens de cortes do corpo (Figura 53), seja axial (transversal dividindo o corpo em porções superior e inferior), sagital (longitudinal dividindo em direita e esquerda), ou coronal (vertical, dividindo em anterior e posterior). Essas imagens são posteriormente processadas por um processo denominado segmentação para a elaboração do modelo 3D.

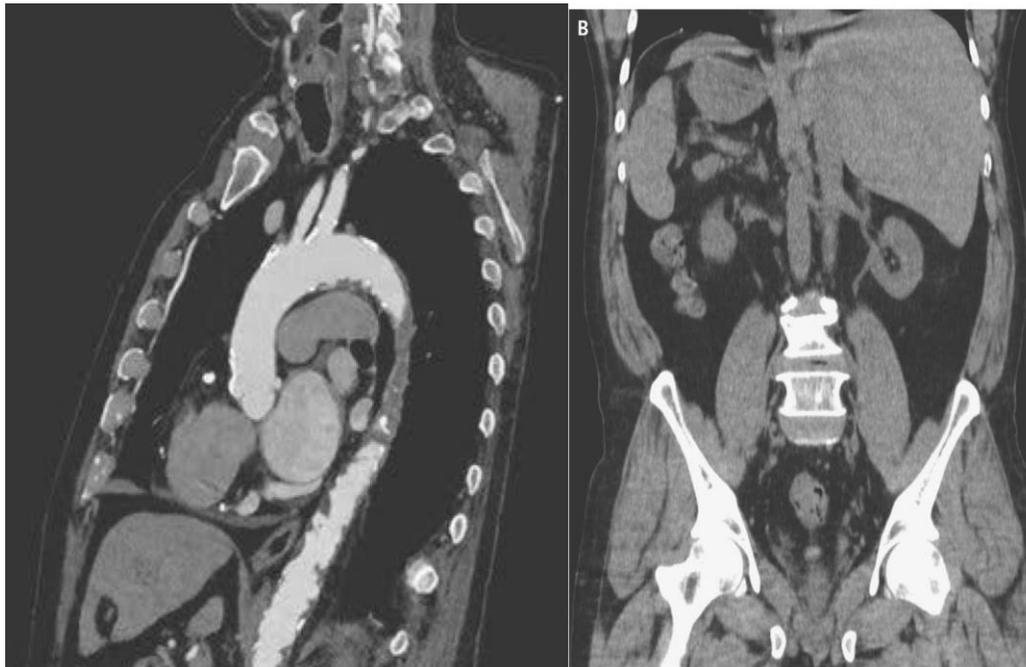


Figura 53 - Imagem sagital e coronal de tomografia computadorizada. Fonte: do autor.

A segmentação, de acordo com o Prof. Sidnei Paciornik,⁷ do Grupo de Análise de Imagens e Microscopia Digital, é a etapa mais difícil do processo e também a mais delicada, pois todas as medidas são realizadas sobre as regiões identificadas nesta etapa. Na segmentação, procura-se distinguir as partículas umas das outras e do fundo. Essa distinção possibilita ao programa interpretar pixels contíguos e agrupá-los em regiões. Não existe um modelo formal para a segmentação. O processo é essencialmente empírico e deve se ajustar a diferentes tipos de imagem. A segmentação é complexa porque tenta traduzir para o computador um processo cognitivo extremamente sofisticado realizado através da visão humana.

⁷ No curso de pós-graduação *Processamento Digital de Imagens* oferecido pelo Departamento de Engenharia Química e de Materiais da PUC-Rio.

Durante o processo de segmentação da lesão, imaginei que essa técnica computacional seria interessante e de grande valor na medicina cardiovascular. Procurei, nas bases de artigos científicos, literatura relacionada a procedimentos de colocação de endoprótese e stents⁸ em cirurgias endovasculares com o uso de prototipagem rápida para a criação de modelos vasculares de alta fidelidade que poderiam ser usados para o planejamento cirúrgico, treinamento e para testes de novos dispositivos. Não encontrei artigos sobre isso, o que me pareceu, à época, um tema interessante para o design de novas tecnologias 3D, e foi o que investiguei na minha pesquisa de mestrado. Atualmente, os procedimentos cirúrgicos adquiriram caráter minimamente invasivos e o conhecimento exato da anatomia das artérias, veias e vísceras é extremamente importante tanto no procedimento em si, como na indicação diagnóstica do procedimento a ser realizado. O diagnóstico clínico tem um grande valor preditivo nesta etapa.

Convidei para participar da pesquisa que realizei durante o mestrado o Dr. Luiz Lanzotti, cirurgião vascular e médico plantonista da emergência do Hospital Samaritano do Rio de Janeiro. Nós já havíamos trabalhados em conjunto em alguns casos complexos de patologias vasculares, utilizando técnicas minimamente invasivas. Nossa hipótese de pesquisa: a impressão 3D de um grande vaso, a aorta, é adequada para construir um modelo para simulação de uma cirurgia minimamente invasiva com endoprótese. Luiz e eu escolhemos um caso complexo para o estudo e a segmentação (Figura 54) foi feita no Mimics. Utilizamos uma impressora do laboratório, imprimindo com um material bem barato, o plástico, pois estávamos fazendo uma prova de conceito.

⁸ Stents são estruturas tubulares metálicas, em forma de malha, inseridas na luz vascular, cuja função é manter o vaso patente. O termo “stent” vem do epônimo Charles Thomas Stent (1807-1885), dentista que criou um material moldável com a finalidade de manter em posição enxertos de pele na cavidade oral (PEREREIRA et al, 2008, p. 351). Stent é uma endoprótese, ou seja, uma prótese introduzida através das veias.

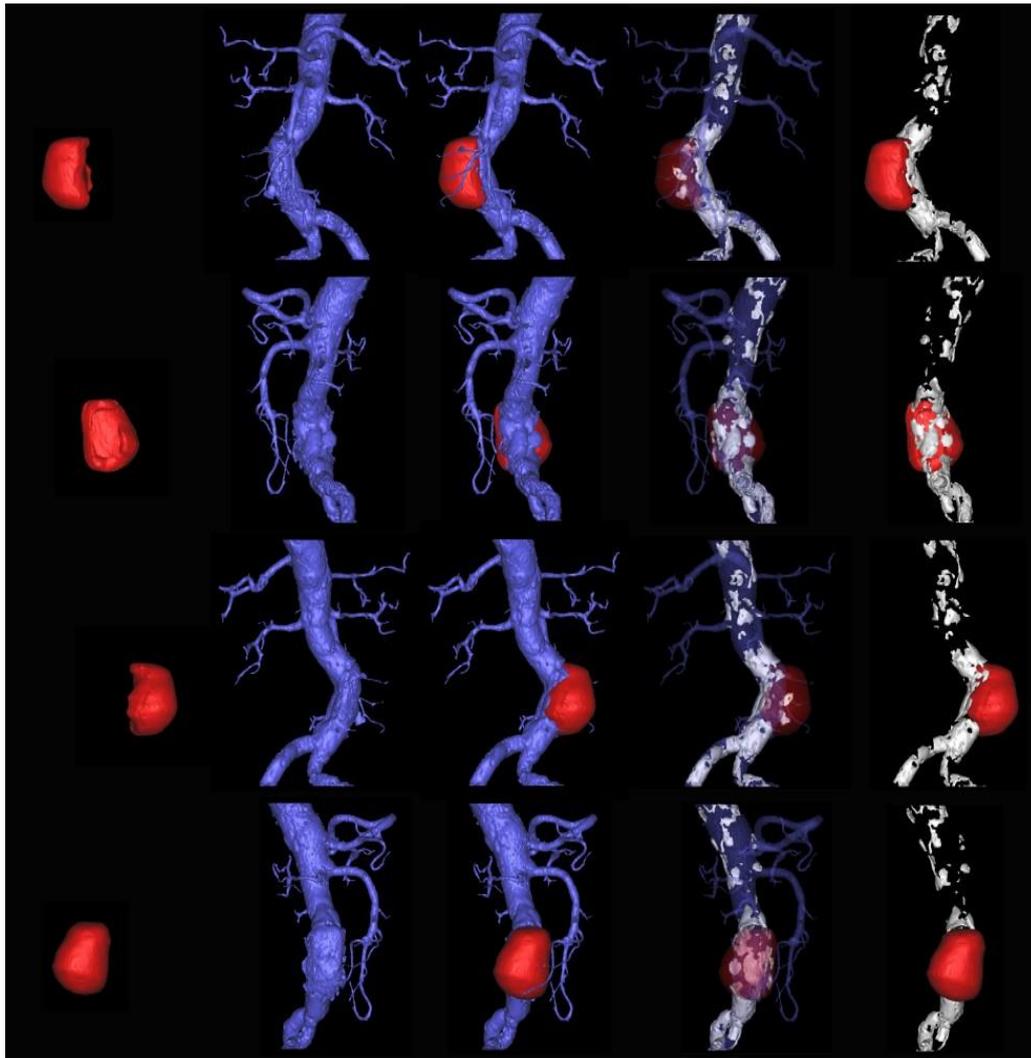


Figura 54 - Segmentação da aorta tóraco-abdominal e exclusão do aneurisma. Fonte: do autor.

Para esse primeiro modelo, utilizamos uma impressora de Sinterização Seletiva a Laser (SLS) (Figura 55). A principal vantagem dessa técnica de impressão, entre os tipos de impressão 3D, é não necessitar de suportes para o apoio do modelo durante a sua fabricação, o que evita alguns tratamentos pós-impressão e possibilita imprimir peças com alto grau de complexidade com um excelente acabamento.

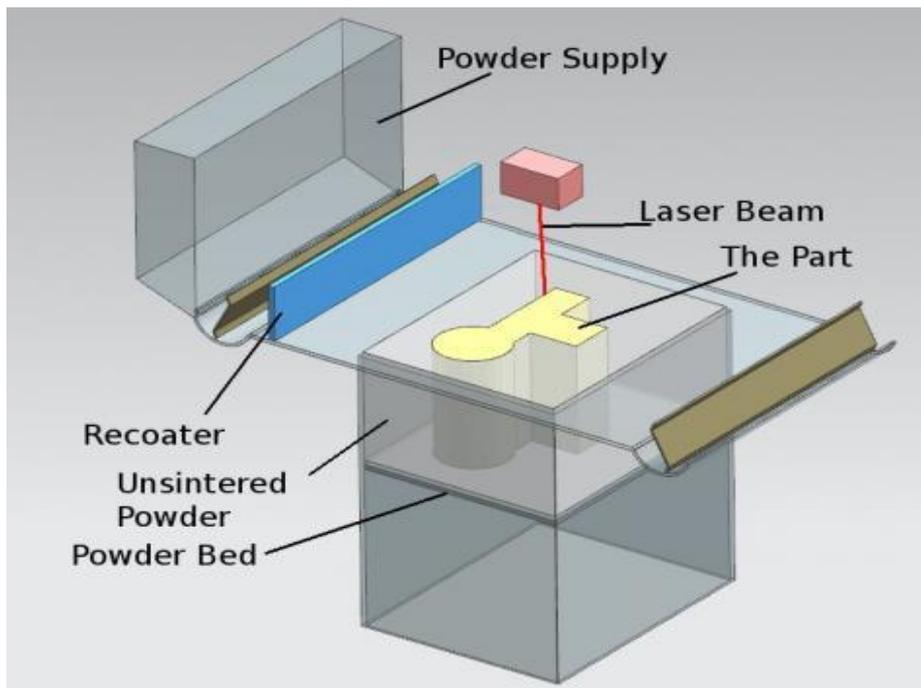


Figura 55 - Processo de Sinterização Seletiva a Laser

Como a impressão é feita por camadas, a peça vai emergindo na máquina passo a passo, e acompanhar esse processo de fabricação digital me fez pensar sobre a possibilidade de imprimir órgãos para transplante personalizados. Mas, para imprimir um órgão com esta tecnologia, certos requisitos seriam necessários, como esterilização e o uso de células no lugar do plástico, além de uma estrutura de suporte para receber essas células. Também tive uma impressão correlata à de assistir a um nascimento de um bebê ao ver a construção do modelo impresso em 3D, criado matematicamente através de algoritmos computacionais. Pensando em células, fetos e criação, a associação a um parto é quase automática e não se trata de um pensamento fantasioso. O Prof. Jorge Lopes já produziu uma série de impressões tridimensionais de fetos (Figura 56), algumas expostas no NEXT. Explorando o laboratório, folheando sua tese ou alguns dos livros publicados sobre suas pesquisas, nos deparamos com múmias, fósseis e fetos produzidos digitalmente.



Figura 56 - Modelos 3D produzidos no NEXT

Como prova de conceito, aquela impressão foi suficiente para um primeiro estudo: a lesão na artéria estava visualmente explícita, as ramificações do vaso da aorta estavam fidedignas, de acordo com o que é proposto pelo método, e o modelo físico correspondia ao modelo segmentado no Mimics. Porém, se o objetivo era uma reprodução de alta fidelidade, o modelo deveria ser mais flexível, transparente e maleável para ser possível que, para além da visualização do modelo, a sensação tátil fosse ao menos semelhante àquela de palpar um órgão, rotina diária dos médicos clínicos.

Estas questões que emergiram com a minha primeira experiência em imprimir uma parte de um órgão humano foram discutidas com Dr. Luiz, que, como cirurgião vascular, apalpa a artéria rotineiramente nas cirurgias abertas para verificar e planejar o procedimento a ser realizado. Além dessas questões, refletimos que uma simulação desse procedimento seria de grande relevância para a cirurgia minimamente invasiva e que ele, naquele momento em que estava finalizando a sua tese de doutorado na USP em cirurgia vascular, ainda não tinha o conhecimento dessas tecnologias digitais para simulação de procedimento ou teste de dispositivos.

Na minha prática clínica, frequentemente acompanho meus pacientes durante o processo cirúrgico. Como médico clínico, a anatomia cirúrgica é uma

informação importante na construção do raciocínio clínico. A observação da patologia e suas relações anatômicas, durante o ato cirúrgico, assim como as técnicas necessárias para excisão da lesão que acomete o órgão doente, são fontes de aprendizado e constituição de sentido para as alterações observadas previamente durante o exame físico e exames complementares de imagem. Nossa prática profissional, assim como outras atividades humanas, é atravessada por decisões que necessitam gerar valor. Quando pedimos um exame, atividade diária e complementar ao raciocínio clínico, o contexto do processo diagnóstico e o seu prognóstico são relevantes. Cada possibilidade de decisão implica em uma avaliação, julgamento e previsão das consequências, para produzir informação com valor preditivo para o diagnóstico.

A questão da técnica é igualmente relevante no auxílio à tomada de decisão. Definir qual técnica deve ser utilizada em um caso clínico é uma questão importante. Por exemplo, quando um paciente é internado em um hospital com recursos tecnológicos abundantes, é necessário elaborar uma estratégia que combine o bem-estar do paciente e uma técnica eficaz para o tratamento da doença que acomete o paciente. A técnica a ser utilizada para o diagnóstico deve ser a menos invasiva possível, inicialmente, para que um diagnóstico seja feito rapidamente, com um índice de probabilidade de sucesso alto, um valor preditivo alto, e que não cause dano ou sofrimento ao paciente. Frequentemente decidimos fazer um exame simples e rápido, com valor preditivo baixo, em vez de um exame de alto valor preditivo, porém complexo e associado a risco. Consequentemente, não é apenas uma questão sobre o conhecimento da técnica que o clínico domina, mas o valor do desfecho clínico como consequência do seu julgamento e da tomada de decisão.

Uma outra questão técnica é sua efetividade para visualizar uma lesão e seu potencial para o planejamento terapêutico, como, por exemplo, um procedimento cirúrgico. Frequentemente nestas situações é necessária a utilização de exames complexos e invasivos para a avaliação do risco que será incorrido diante de um caso complexo no qual existe mais de uma técnica que possibilite o êxito do tratamento. Por exemplo, as cirurgias cardiovasculares são procedimentos tecnicamente complexos e frequentemente planejados com antecedência. A possibilidade de prototipagem 3D e simulação nos pareceu, a mim e ao Dr. Luiz, uma possibilidade interessante para exploração e experimentação diante da

complexidade e incerteza dos procedimentos minimamente invasivos.

Luiz me apresentou Dr. Bruno Azevedo, médico cardiologista, graduado em engenharia e medicina, Doutor em Cardiologia pelo Instituto Nacional de Cardiologia. Dr. Bruno é pesquisador no Laboratório de Engenharia de Fluidos da PUC-Rio e desenvolve projetos de pesquisa na área de Engenharia Cardiovascular, especificamente em estudos do fluxo sanguíneo *in vivo* e simulações *in vitro* do sistema cardiovascular, utilizando técnicas de prototipagem rápida. A partir desse encontro, planejamos uma simulação em que seria possível analisar o fluxo sanguíneo antes e após a inserção de uma endoprótese na aorta, impressa em 3D em material flexível, simulando com a maior fidelidade possível o procedimento (Figura 57). Seria uma forma de criar um modelo para avaliação prévia de uma endoprótese, de forma customizada, analisando os fluxos sanguíneos (Figura 58).



Figura 57 - Protótipo flexível da aorta. Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=ToN_jtPE3fQ>;
<<https://www.youtube.com/watch?v=5k-ozH5Uido>>, <<https://www.youtube.com/watch?v=0jyGISTg01o>>,
<<https://www.youtube.com/watch?v=Qu3Gku0YgOU>>.

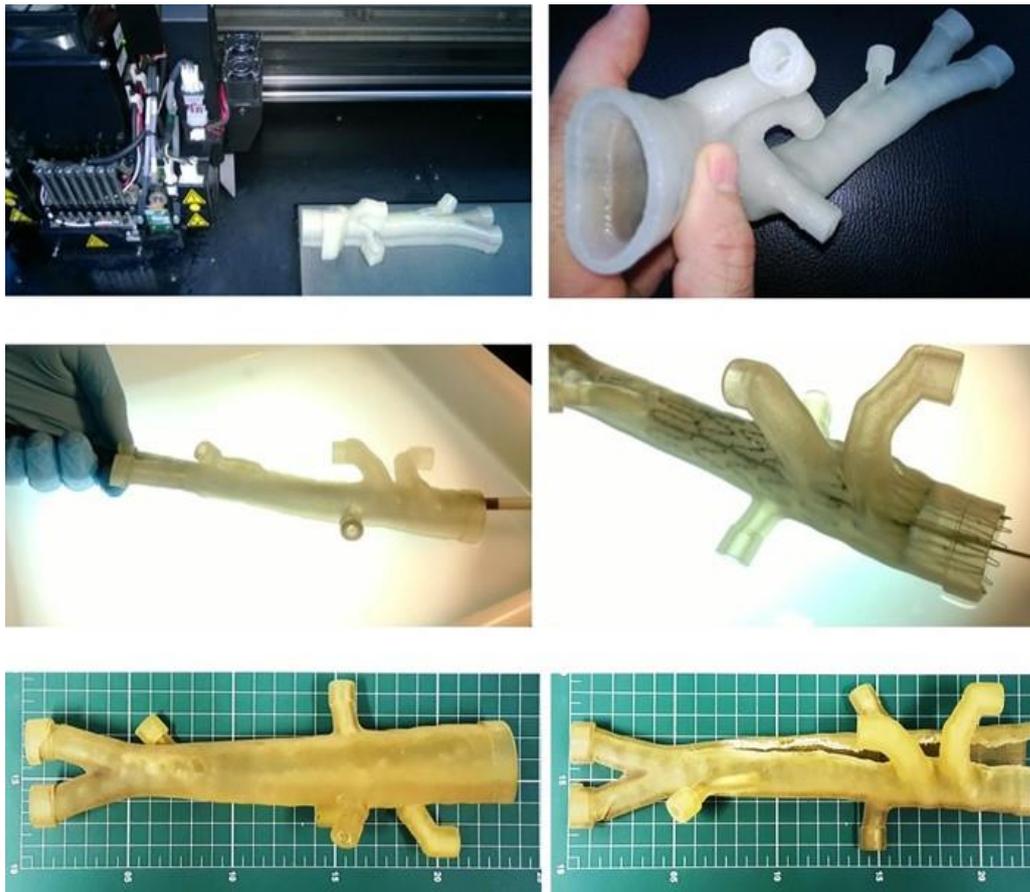


Figura 58 - Protótipo flexível da aorta, detalhes. Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=ToN_jtPE3fQ> <<https://www.youtube.com/watch?v=5k-ozH5Uido>>; <<https://www.youtube.com/watch?v=0jyGISTg01o>> ; <<https://www.youtube.com/watch?v=Qu3Gku0YgOU>>

O encontro com o Dr. Bruno foi muito importante para as pesquisas desenvolvidas no meu mestrado. Porém, o que impulsionou minha pesquisa foram as nossas visões antagônicas a respeito das técnicas utilizadas nas pesquisas cardiológicas. Pessoalmente, acreditava que, tendo em vistas as pesquisas em medicina fetal que Prof. Jorge Lopes desenvolvia em conjunto com Dr. Heron Werner em ultrassonografia 3D, a ecocardiográfica 3D, um tipo de ultrassonografia cardíaca, seria a melhor forma para pesquisar na área cardiológica. Entretanto, o Dr. Bruno, já experiente em pesquisas e métodos diagnósticos cardiológicos, argumentava que o melhor forma seria trabalhar com tomografia computadorizada, pois essa técnica tornava mais fácil o processamento digital da imagem e possibilitava obter uma imagem com mais fidelidade.

O fato é que, em função de nossas discussões, produzimos uma série de modelos físicos 3D, impressos em diversos materiais e diferentes métodos. Conseguimos fazer a primeira impressão na América Latina de uma válvula

cardíaca, mitral (Figura 59), a partir de uma imagem 3D ecocardiográfica. Imprimimos uma endoprótese cardíaca (Figura 60) e simulamos sua entrada no coração (Figura 61).



Figura 59 - Válvula mitral. Fonte: do autor.



Figura 60 - Prótese aórtica (CoreValve). Fonte: do autor.

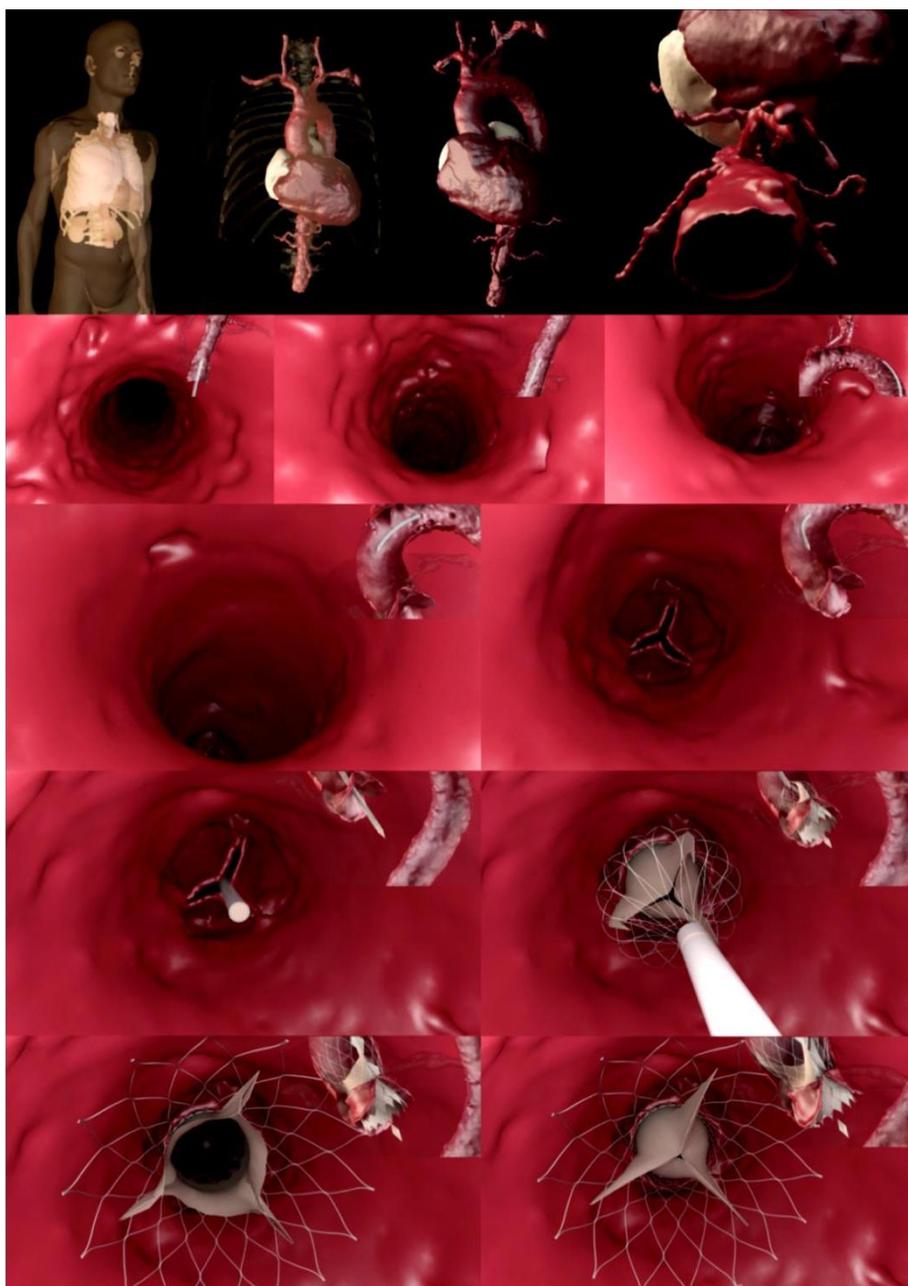


Figura 61 - Simulação da inserção da CoreValve no coração. Fonte: do autor.

Por fim, imprimimos o meu próprio coração (Figura 62) utilizando a tomografia computadorizada, o que gerou uma outra questão interessante relativa à escala (Figura 63) e outras formas de visualização. A partir dessa experiência envolvendo o meu próprio coração, mesmo podendo ver e tocar o “invisível” (o não-visto a olho nu), fiquei me questionando se essa tecnologia, manufatura aditiva, seria escalável na medicina, isto é: em consultórios médicos, como o meu, iremos fazer uso da impressão 3D?



Figura 62 - Impressão 3D do coração a partir da minha própria coronariotomografia. Fonte: do autor.

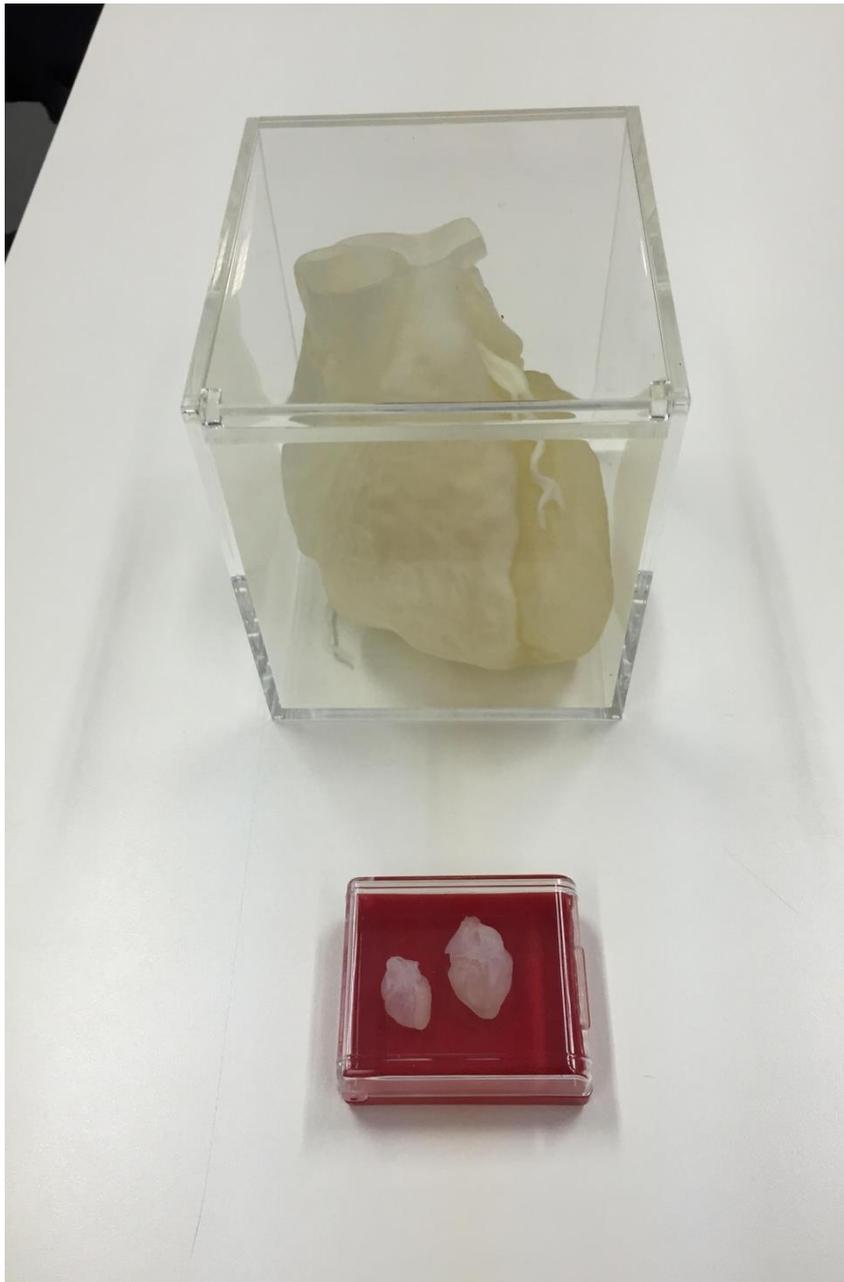


Figura 63 - Corações em diferentes escalas. Fonte: do autor.

Ao mesmo tempo, tão importante quanto o questionamento das técnicas em si, a questão da capacidade de técnicas e tecnologias serem escaláveis foi relevante na minha pesquisa. Com toda a abundância tecnológica presente no ambiente hospitalar, foi importante entender, ao longo da minha carreira como médico clínico, que, mesmo com toda inteligência e automação dos equipamentos diagnósticos, o fator humano é o que prepondera no processo de tomada de decisão. Equipamentos de tecnologia avançada, como por exemplo a ultrassonografia, são operador dependente e nem mesmo toda precisão e capacidade de medição fará o método ser escalável sem a intencionalidade humana. A máquina é apenas a

alavanca para o homem escalar as limitações e multiplicar os sentidos. Penso que a tecnologia de impressão 3D não é escalável, ao menos não no cenário sociotécnico que temos hoje. Em contrapartida, identifico que as tecnologias de visualização virtual são escaláveis. A Realidade Aumentada seria meu próximo passo de investigação, o que fiz ao ingressar no doutorado, conforme relato na próxima seção.

4.2

Realidade Aumentada e Realidade Misturada: um coração projetado na palma da mão

Quando vi meu coração projetado na tela do celular em Realidade Aumentada, toda a jornada percorrida em minhas pesquisas passou como em um túnel do tempo mental. Lembrei do dia que, assistindo à Sessão Clínica do Hospital Samaritano — onde todas quintas-feiras um caso clínico ou uma palestra eram apresentados aos médicos assistentes do hospital —, um coração fantasma foi apresentado (Figura 64) como uma solução futura para a escassez de órgãos para o transplante cardíaco. Era fascinante pensar na engenhosidade desse modelo, criado como arcabouço para células cardíacas injetadas, e toda a estrutura laboratorial e intelectual construída e engendrada para solução de um problema, utilizando tecnologia emergente. Agora, com o meu coração projetado na mão, uma outra jornada se iniciava.

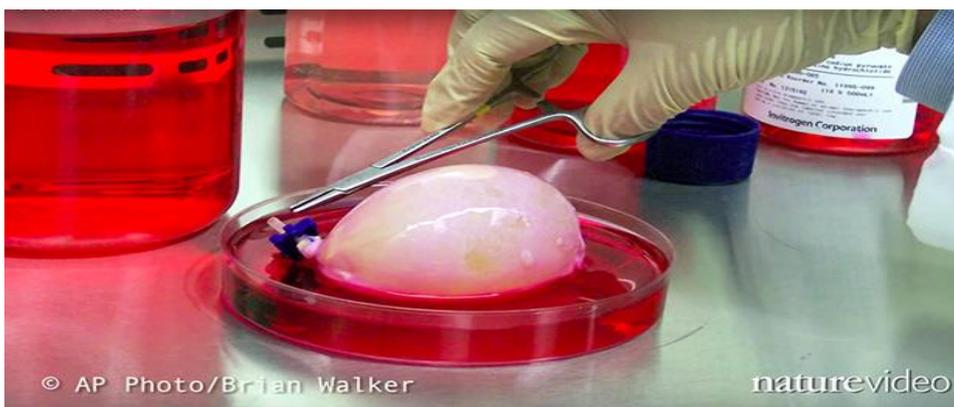


Figura 64 - Coração fantasma. Fonte: <<https://www.youtube.com/watch?v=pd3TFB0wOI0>>⁹

Na edição da revista *Wired* de março de 2019, Kevin Kelly (2019) inicia

⁹ Para consultar este vídeo, dentre outros que mostram e contextualizam o processo de pesquisa, visitar <https://www.youtube.com/user/leonardofrajhof1/featured> e explorar os uploads e as playlists. Ver também <<https://globoplay.globo.com/v/6786754/>>.

seu artigo sobre Realidade Aumentada citando Jorge Luiz Borges, referenciando Lewis Carroll, e falando que estamos agora construindo um mapa 1:1 de alcance quase inimaginável, um mundo de espelhos, e que esse mundo se tornará a próxima grande plataforma digital:

Naquele império, a Arte da Cartografia logrou tal Perfeição que o Mapa de uma só Província ocupava toda uma Cidade, e o Mapa do Império, toda uma Província. Com o tempo, estes Mapas Desmesurados não foram satisfatórios e os Colégios de Cartógrafos levantaram um Mapa do Império, que tinha o Tamanho do Império e coincidia com ele ponto a ponto. Menos Dedicadas ao Estudo da Cartografia, as Gerações Seguintes entenderam que esse dilatado Mapa era Inútil e não sem Impiedade o entregaram às Inclemências do Sol e dos Invernos. Nos Desertos do Oeste perduram despedaçadas Ruínas do Mapa, habitadas por Animais e por Mendigos; em todo o País não há outra relíquia das Disciplinas Geográficas. (BORGES, 1975, p. 71)

"Que coisa mais útil que é um mapa de bolso!" eu observei. "Isso foi uma das coisas que aprendemos com a sua Nação," disse Mein Herr, "a fazer mapas. Mas o levamos muito mais longe que vocês. O que você consideraria como o maior tamanho de mapa que pudesse ser realmente útil?" "Cerca de dez centímetros a cada quilômetro." "Apenas dez centímetros!" exclamou Mein Herr. "Nós logo no início chegamos a três metros a cada quilômetro. Então tentamos uma centena de metros para cada quilômetro. E então tivemos a ideia mais grandiosa de todas! Nós de fato fizemos um mapa do país, na escala de um quilômetro por um quilômetro!" "E vocês o usaram muito?" eu inquiri. "Ele não foi desenrolado, ainda", disse Mein Herr: "os lavradores se opuseram: disseram que ele cobriria o país inteiro, e obscureceria a luz do sol! Então agora nós usamos o próprio país como seu próprio mapa, e eu lhe asseguro que dá bem certo." (CARROLL, 2015, p. 89)

A escala dos efeitos da visualização, a metáfora de mapa e o artigo de Kelly (2019) me levaram de volta ao texto de Bruno Latour, “Cognição e visualização: pensando com olhos e mãos”, no qual ele escreve sobre a importância dos mapas para os colonizadores franceses ao explorar o mar da China no século XVI: é necessário inventar objetos que tenham a propriedade de ser móveis, mas também imutáveis, apresentáveis, legíveis e combináveis. No mesmo texto, ele avalia que, quando pintores renascentistas pintavam seus quadros, eles os tornavam uma linguagem pictórica que, com a prática, podia comunicar mais *informação*, mais rapidamente e para uma audiência potencialmente mais ampla do que qualquer linguagem verbal na história da humanidade. Finaliza o parágrafo: “(...) como uma cultura vê o mundo e faz ele visível, uma nova cultura visual redefine tanto o que é para ver quanto o que há para ver, e não existe disciplina científica sem primeiro se inventar uma linguagem visual e escrita que permita romper com o seu confuso passado.”

Foi com esta sensação, um mundo espelhado em outra escala, que experimentei pela primeira vez os óculos de Realidade Virtual (RV) no NEXT. Naquela época, final do meu mestrado no primeiro semestre de 2014, o Prof. Jorge

Lopes estava testando um modelo de óculos Riff para pesquisas na área de medicina fetal. A navegação intra-útero por meio da Realidade Virtual era uma experiência única, pois ver e tocar fetos impressos em 3D e depois visualizar de forma imersiva em RV era um descolamento da realidade presente, como o atravessar o espelho de Alice do livro de Lewis Carroll.

Os óculos de RV, quando utilizados pela primeira vez, geralmente produzem uma sensação de vertigem e certa náusea devido a uma falha de comunicação entre sensores e sistemas do nosso corpo, como se estivéssemos alcançando uma nova fronteira de outra dimensão. Naquele momento imaginei que, a partir dessas tecnologias para visualização de imagens, modificações técnicas seriam necessárias para melhor avaliar o que ocorre dentro dos órgãos e não mais na sua superfície. A renderização das imagens teria de ir além das renderizações de superfície, segmentação e pós-processamento utilizados no laboratório para visualizar os modelos tridimensionais.

No final de 2014, o NEXT participou, juntamente com o Instituto TEGRAFT, o grupo Groupware@les e o Núcleo de Telemedicina da UNIRIO, do Edital FAPERJ “PENSA Rio — Apoio Ao Estudo De Temas Relevantes E Estratégicos Para O Estado Do Rio De Janeiro — 2014”, através da proposta intitulada “Modelagem e simulação 3D em medicina para treinamento em procedimentos minimamente invasivos”. Nessa proposta, em função dos resultados das pesquisas e projetos realizados ou em desenvolvimento ao longo dos dois últimos anos, a nossa avaliação era que o desenvolvimento tecnológico vem alterando diversas práticas na área de saúde. A RV, que oferece interfaces avançadas capazes de proporcionar imersão do usuário em ambientes com os quais se pode interagir e explorar, vem permeando a área da saúde trazendo novas possibilidades de modelagem e simulação tridimensional. A viabilidade de reproduzir situações reais sem riscos aos pacientes, a diminuição de custos devido à redução de uso de objetos físicos e a possibilidade de modelar, simular e visualizar ações impossíveis de serem percebidas no mundo real constituem motivos para que a RV aplicada à saúde constitua uma área de interesse crescente. Levando em consideração a longa curva de aprendizado na formação médica, é inegável a contribuição dos modelos tridimensionais e suas simulações que possibilitam a interação e imersão parecida com a da realidade. O conhecimento é construído buscando a informação e explorando um dado como se de fato ele existisse.

O projeto proposto visava a implementação de um laboratório de Modelagem e Simulação 3D em Medicina, que teria como premissas:

- Trazer casos reais (inicialmente em obstetrícia e cardiologia) para o mundo virtual;
- Aprendizado prático e a experimentação de tecnologias avançadas;
- Multidisciplinaridade e a participação ativa de médicos, designers e engenheiros de computação, vivenciando e trocando experiências.

Infelizmente, não fomos selecionados para o fomento da FAPERJ, porém a proposta foi uma usina para projetos e pesquisas futuras.

Convidei, no segundo semestre de 2015, o cardiologista Dr. Arnaldo Rabischoffsky a participar do Seminário Internacional de Inovações 3D em Saúde e Biodesign. O seminário, uma iniciativa do NEXT, tinha como objetivo discutir as novas tecnologias na área da saúde. Também convidei Dr. José Humberto de Luca, da área da odontologia. O objetivo do convite destes profissionais, um ecocardiografista com vasta experiência em ecocardiografia 3D e um dentista, referência internacional em CAD/CAM,¹⁰ foi ouvir as experiências de profissionais da área da saúde que utilizavam tecnologias em diferentes estágios de desenvolvimento. O CAD/CAM na área odontológica está bem estabelecido e o uso de scanner e fresadoras em consultórios é uma prática corriqueira, assim como R-X e tomografias. Na área da medicina, apenas o ultrassom é viável em consultórios e a tecnologia 3D esta bem estabelecida como técnica diagnóstica, porém não há ainda esta integração CAD/CAM na medicina. O diálogo entre as áreas levantou questões interessantes durante o seminário.

No almoço, conheci Dr. Jorge Vicente Lopes do Centro de Tecnologia da Informação (CTI) Renato Archer em Campinas, desenvolvedor do InVesalius, software livre para reconstrução de imagens de equipamentos de tomografia computadorizada ou ressonância magnética. Marcamos uma visita ao CTI em Campinas, onde tive a oportunidade de conhecer um laboratório com várias linhas de pesquisas 3D integradas, em estágio bastante avançado.

Dentro desse contexto, comecei a trabalhar meu projeto para o doutorado. Questionava como a medicina poderia se apropriar do CAD/CAM e da

¹⁰ Abreviatura para os termos em inglês *computer-aided design* (design assistido por computador) e *computer-aided manufacturing* (manufatura assistida por computador).

ultrassonografia enquanto técnica de aquisição da imagem para impressão 3D, com manufatura aditiva, e que tipos de materiais poderiam ser utilizados para simulação e prototipagem, diferentemente da odontologia onde os materiais são utilizados para tratamento, como próteses, no auxílio ao diagnóstico.

Comecei a interagir com Dr. Arnaldo no Hospital Pró-Cardíaco, após imprimirmos válvulas cardíacas, mitral e tricúspides. Tínhamos como obstáculo para progredirmos na pesquisa a dificuldade na aquisição dos arquivos para imprimir volumes 3D. Volumes 3D são interessantes para pesquisa, pois refletem a estrutura orgânica de interesse em procedimentos minimamente invasivos em cardiologia, diferentemente das superfícies 3D que imprimimos as válvulas cardíacas. Solicitamos ao fabricante do equipamento, utilizado no Pró-Cardíaco, o acesso aos arquivos. Não tivemos sucesso. Um representante da área de pesquisas da fabricante me indicou, em um seminário de biodesign na PUC-Rio, um profissional capacitado a resolver o problema: João Borges, do Rio Grande do Sul. Ele havia desenvolvido um aplicativo, M3DMIX, para Realidade Aumentada (RA) e RV na área da odontologia e tinha interesse na área médica. João tinha muita experiência em equipamentos de medicina nuclear utilizados na área da cardiologia e oncologia, e era físico de formação. A partir desse momento, novas técnicas de visualização foram introduzidas em minhas pesquisas.

A RA possibilita criar ambientes sintéticos mixados ao mundo físico, como ilustrado nas Figura 65, 66 e 67. Ela modifica a práxis de execução das tarefas e apresenta características diferenciadas das interfaces gráficas convencionais. A RA é uma interface tangível e permite uma forma mais natural de manipulação através de dispositivos táteis ou de contato físico, estabelecendo uma nova maneira de interação tanto fisicamente quanto cognitivamente (ULBRICHT, 2011, p. 84-85). A RA se diferencia da RV por não ter a imersão como principal paradigma. A RA e suas tecnologias relacionadas envolvem a fusão dos mundos real e virtual dentro de um *continuum virtual*, conectando ambiente completamente real a ambiente completamente virtual. Com a RA, surge um espectro de possibilidades de combinação entre real e virtual neste *continuum*, onde uma exibição de um ambiente real é aumentada por meio de objetos virtuais (MILGRAM, 1994, p. 1-3).



Figura 65 - Realidade Aumentada.



Figura 66 - Óculos de RV. No monitor à esquerda, o ambiente virtual em 2D. Fonte: do autor.



Figura 67 - Interação virtual com o modelo 3D. Fonte: do autor.

Na literatura atual, também se utiliza o termo Realidade Mista, além de RA, a partir do artigo de Milgram e Kishino (1994), que introduziram o conceito de conjunto *continuum virtual*:

O conceito de "continuum virtual" refere-se à mistura de tipos de objetos apresentados em qualquer situação de exposição particular, [...] onde ambientes reais, são mostrados em uma extremidade do continuum, e ambientes virtuais, no lado oposto. O primeiro caso [...] define ambientes constituídos apenas por objetos reais [...] e inclui, por exemplo, o que é observado através de um monitor de vídeo convencional de uma cena do mundo real. Um exemplo adicional inclui a visualização direta do real da mesma cena, mas não através de qualquer sistema de exibição eletrônico em particular. O último caso, à direita, define ambientes constituídos apenas por objetos virtuais [...], um exemplo seria uma simulação gráfica em um

computador. [...] a forma mais simples de visualizar um ambiente de realidade mista, portanto, é aquela em que os objetos do mundo real e mundo virtual se apresentam em conjunto dentro de uma única tela, ou seja, em qualquer lugar entre os extremos do continuum virtual.

Uma importante diferença é que a utilização de RA permite ao usuário ver objetos virtuais em 3D sem que perca o senso de presença e sem perder a percepção do mundo real, uma vez que complementa o real com alguns elementos do virtual. A RA permite a portabilidade de sistema, podendo ser utilizada em qualquer ambiente, e sua utilização só ocorre no momento presente, promovendo a interatividade em tempo real (ULBRICHT, 2011, p. 87-88).

Empolgado com RA, comecei a utilizar o M3DMIX (<http://m3dmix.com>), uma plataforma que une a impressão 3D e a RA voltada para médicos estudantes e pacientes, uma experiência em Realidade Misturada, impressos 3D e modelos para visualização, compartilhando o mesmo espaço no mundo físico. O M3DMIX tem duas versões, uma para desktop e outra para aplicativos em dispositivos móveis, iPad e telefones celulares.

O software para desktop tem a funcionalidade de importar as imagens tomográficas, gerar os modelos virtuais para impressão 3D e visualização, correlacionar esses modelos espacialmente e fazer o envio do modelo para a “nuvem”. A Figura 68 apresenta o fluxo de tarefas executadas pelo software e a Figura 69 ilustra a visualização de uma peça impressa identificada contendo um QR Code que possibilita a sobreposição do modelo virtual a partir da visualização pela tela do celular.

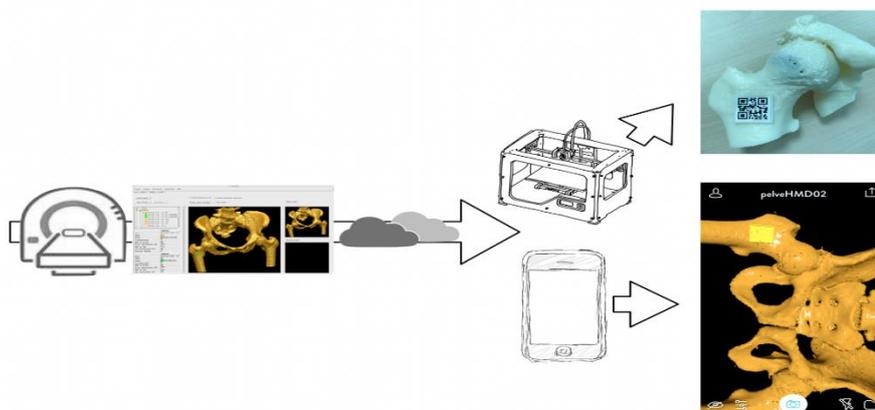


Figura 68 - O software para desktop é responsável por preparar os modelos para serem impressos e também aqueles a serem enviados ao dispositivo móvel. Nesse caso de pelve, foi impresso um modelo contendo a extremidade do fêmur e o acetábulo. Já o modelo para visualização contempla a pelve como um todo. Fonte: do autor.

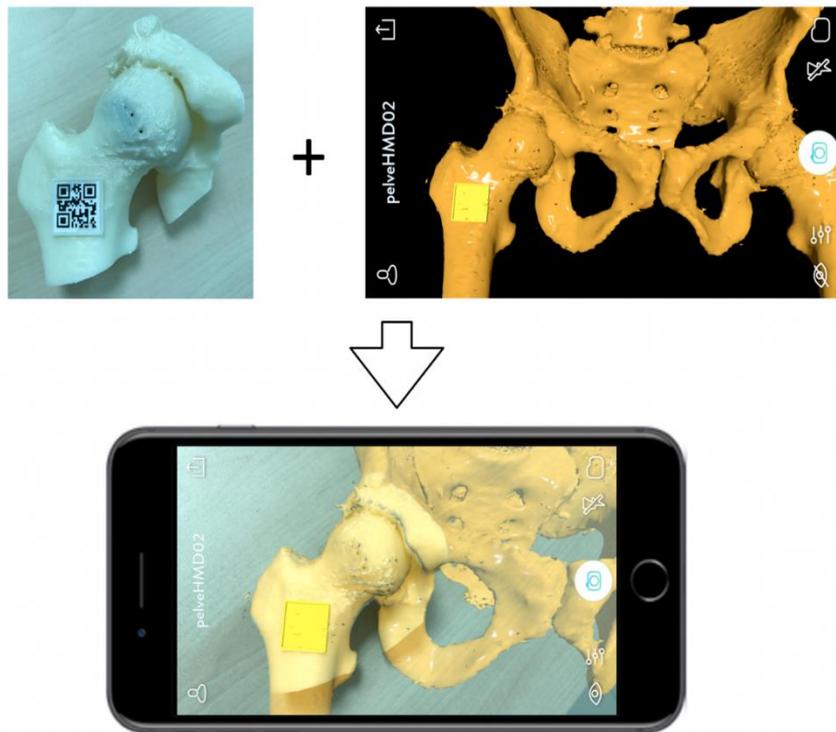


Figura 69 - Impresso 3D e o modelo para visualização apresentados separadamente, bem como eles unidos no mesmo espaço físico para proporcionar um experiência cognitiva de Realidade Misturada
Fonte: do autor.

A visualização das imagens na plataforma, a área de trabalho para segmentação e interface do software produzem imagens que posteriormente são exportadas para o celular, em modo Aumentado, Virtual e Misturado (Figuras 70-74).



Figura 70 - Interface do software para desktop onde os modelos para impressão e visualização são preparados. Fonte: do autor.

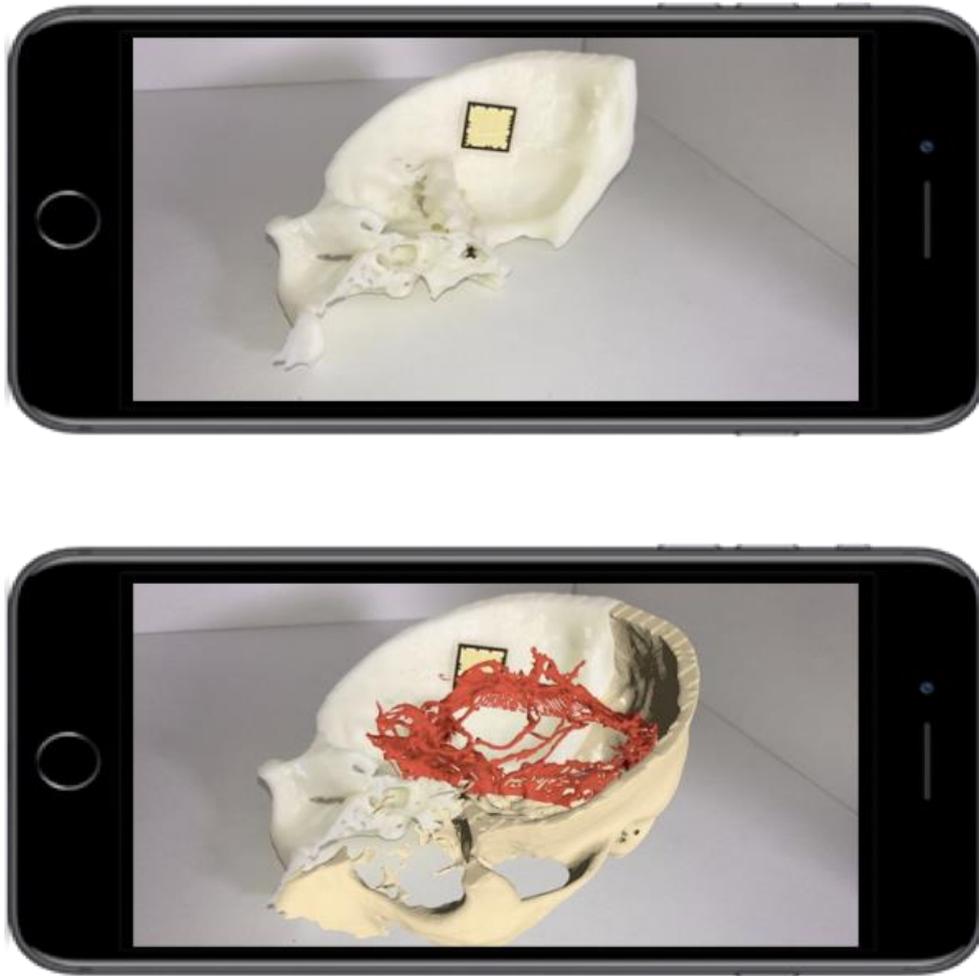


Figura 71 - Aplicativo em modo de Realidade Misturada. Na parte superior está visível apenas o modelo impresso e na parte inferior o resultado final da sobreposição. Fonte: do autor.

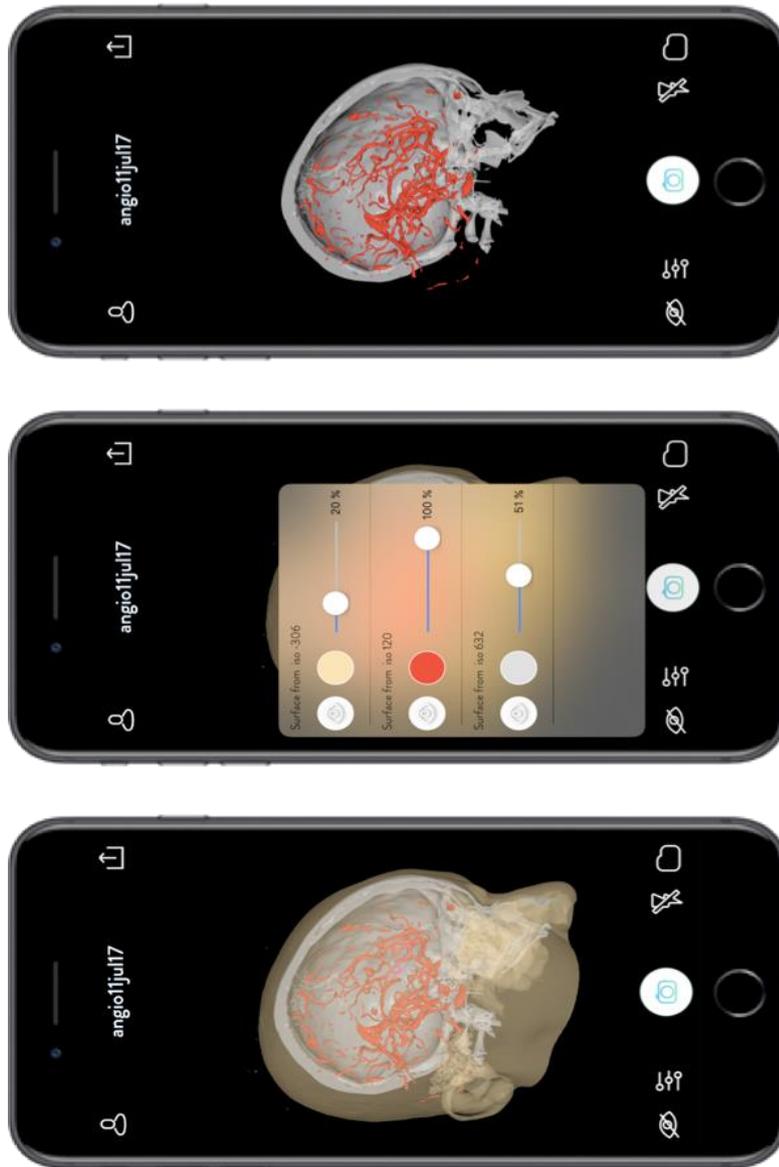


Figura 72 - Telas do modo virtual do aplicativo, onde camadas de informação podem ser selecionadas pelo usuário. Fonte: do autor.

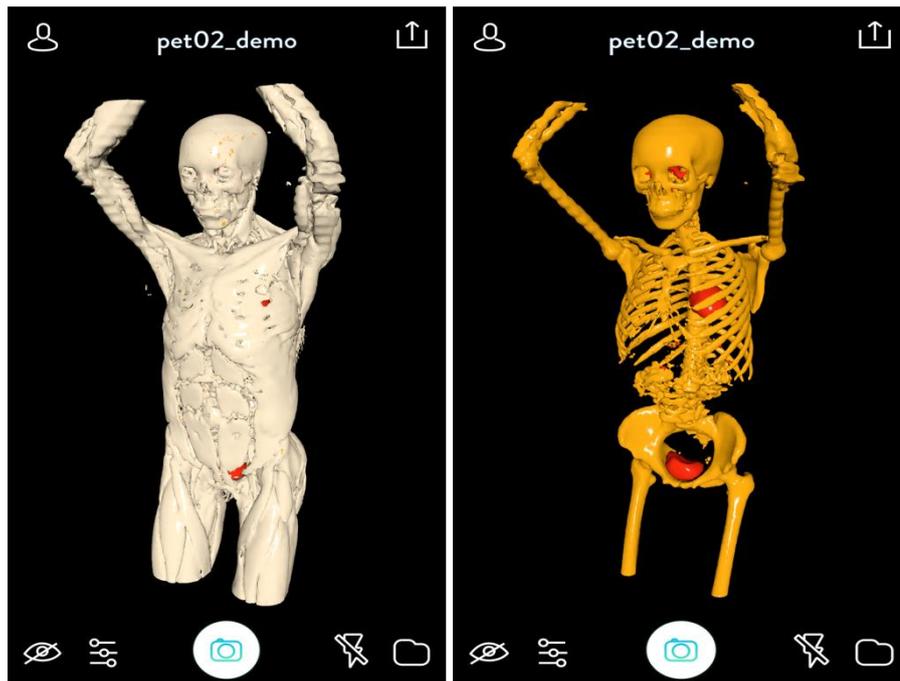


Figura 73 - Aplicativo móvel operando no modo virtual. Visualização de um estudo de PET/CT.
Fonte: do autor.



Figura 74 - Exemplo de experiência em RA com o uso do aplicativo móvel. Fonte: do autor.

Com as possibilidades apresentadas pelo M3DMIX, prossegui com a experimentação na área ecocardiográfica utilizando os arquivos do equipamento de ecocardiografia que Arnaldo utilizava no Pró-Cardíaco, que foram posteriormente “abertos” pelo João. Dessa forma, planejamos estudos ultrassonográficos transesofágicos volumétricos. O ecocardiograma transesofágico (ETE) é um exame complementar de diagnóstico, semelhante à endoscopia, que se baseia na utilização de ultrassons para obter imagens em movimento do coração e dos vasos sanguíneos. Por meio da boca, o transdutor é posicionado no esôfago por trás do músculo cardíaco. As imagens geradas foram utilizadas para construir um ambiente

virtual onde o cirurgião cardíaco, utilizando técnicas minimamente invasivas, poderia simular modelos valvares mitrais ou aórticos, específicos ou generalizados, e manipulá-los em relação às estruturas presentes no exame. Nesse ambiente é possível gerar uma animação do movimento cardíaco junto com a válvula. Esse mesmo ambiente virtual gera o modelo de Realidade Mista, parte usando impressão 3D e parte usando Realidade Aumentada. A experiência foi alcançada por meio da impressão 3D e de um aplicativo (M3DMIX) executado em um dispositivo móvel.

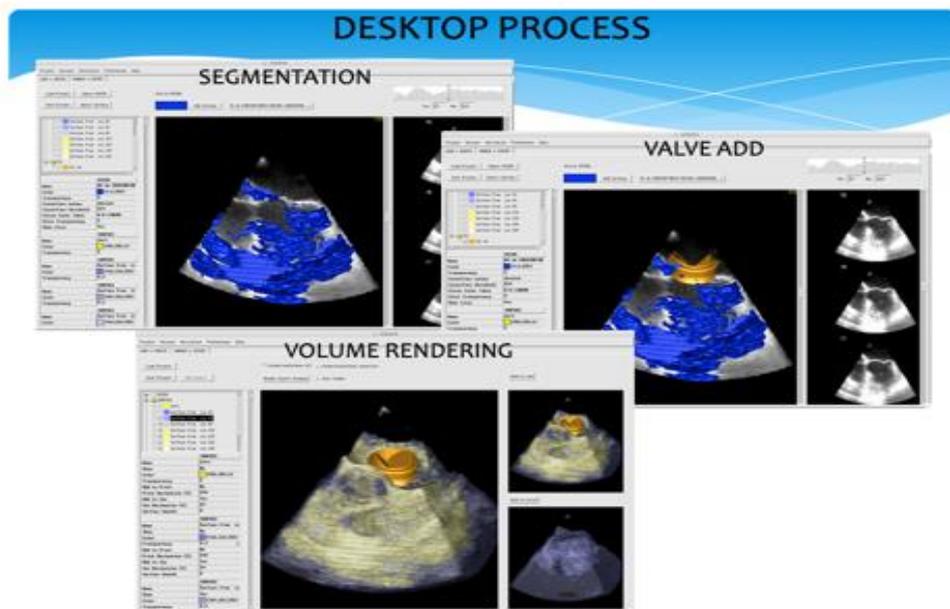


Figura 75 - Processo de segmentação e renderização do volume da imagem da válvula cardíaca. Fonte: do autor.

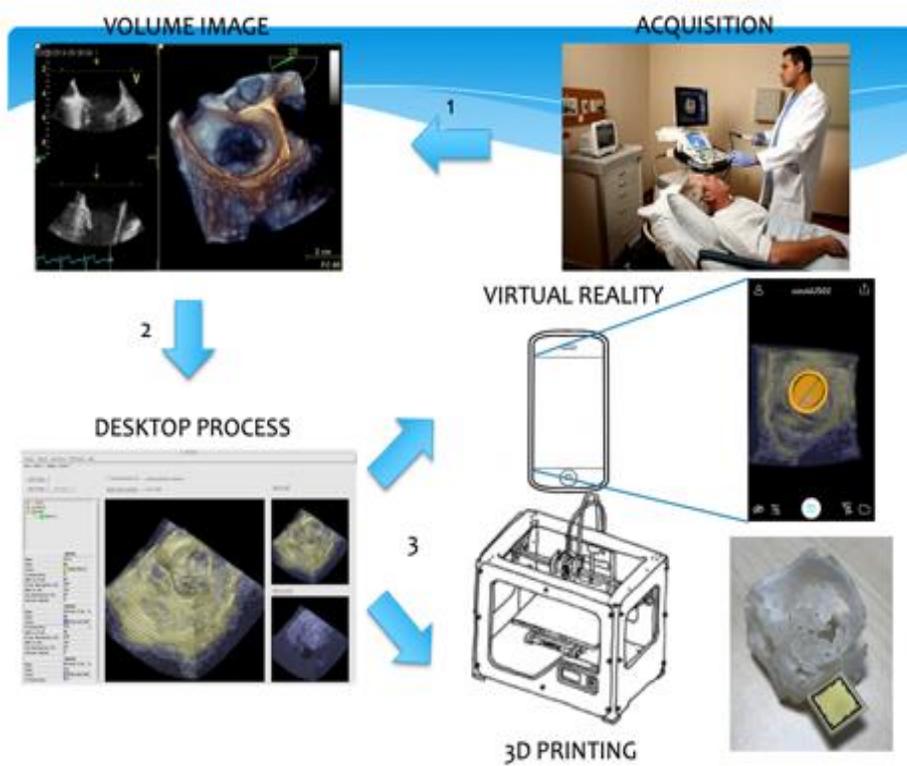


Figura 76 - Método para visualização e impressão das imagens 3D em ultrassonografia cardíaca. Fonte: do autor.

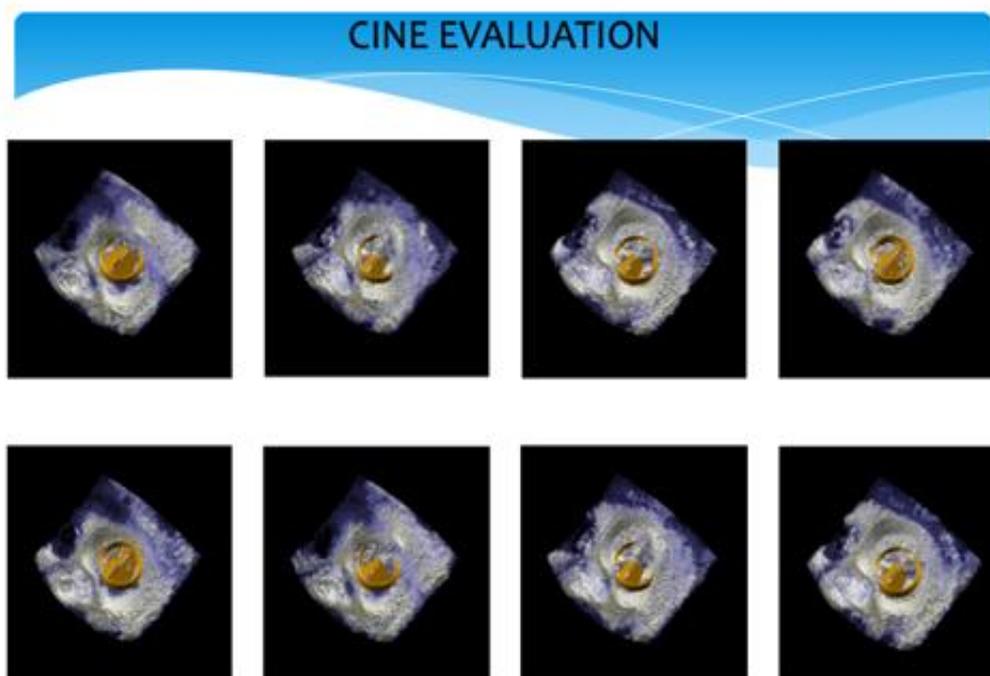


Figura 77 - Animação cinética da abertura e fechamento da válvula cardíaca com simulação do posicionamento da prótese de válvula mitral genérica. Fonte: do autor.

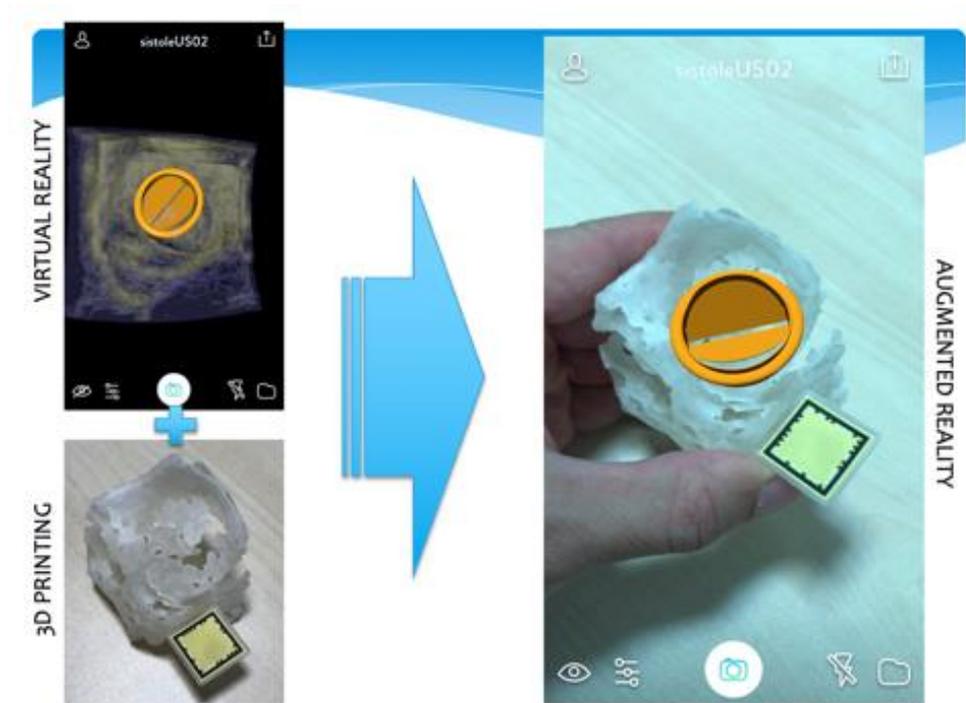


Figura 78 - Três formas de visualização das imagens 3D ecográficas. Fonte: do autor.

Este projeto multidisciplinar, envolvendo um ecocardiografista, um clínico geral e um físico, foi de grande aprendizagem. Foi possível trabalhar com imagens tridimensionais a partir do ultrassom cardíaco e outras técnicas de visualização foram utilizadas para auxílio ao diagnóstico. Trabalhar com volume é diferente de trabalhar com superfícies.

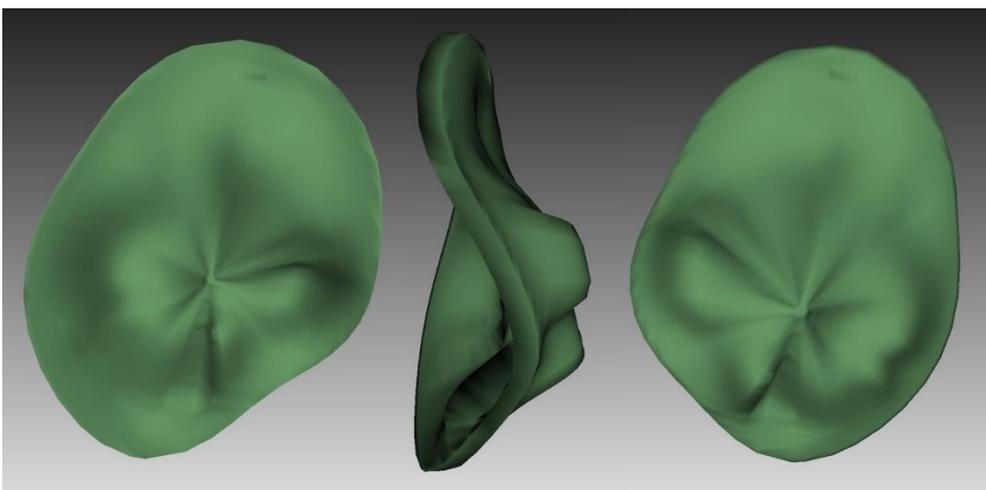


Figura 79 - Imagem 3D da válvula tricúspide. Fonte: do autor.

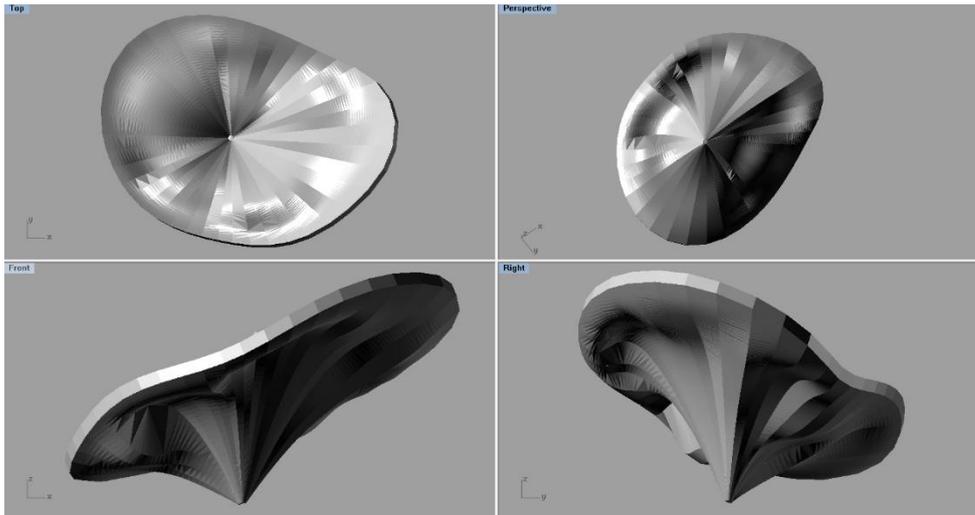


Figura 80 - Malha poligonal da válvula tricúspide. Fonte: do autor.

A RA, que possibilita a interação através da tela de um dispositivo móvel com modelos em RV, mostra-se muito potente. Reconheço que a Realidade Mista é escalável, tendo em vista a escassa disponibilidade e alto valor financeiro das atuais impressões 3D colorida (em comparação com a ausência de custo em visualizar modelos virtuais 3D coloridos). Da mesma forma, a RA e RV tornam escalável a visualização por meio de aparelho celular ou iPad.

Solicitei ao João a inserção do modelo do meu coração no aplicativo, pois queria ter a experiência de ver meu coração segmentado em RV e RA (Figura 81), para poder comparar com a versão que havia impresso e processado no NEXT, uma impressão 3D de alta fidelidade.

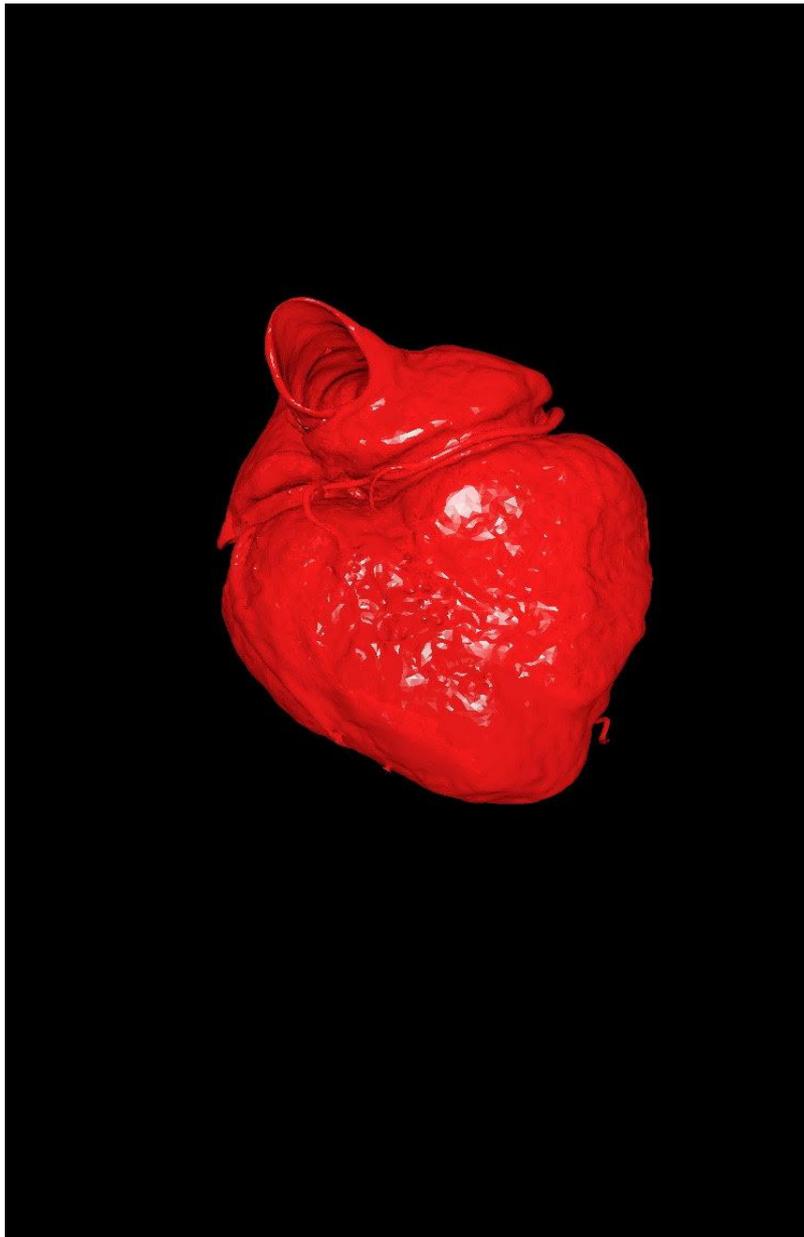


Figura 81 - Meu coração virtual no aplicativo M3DMIX. Fonte: do autor.

Cinco anos após aquela sessão clínica no Hospital Samaritano, eu estava com meu próprio coração projetado, rodando ele na tela do celular, um órgão totalmente artificial que futuramente poderia ser impresso em caso de necessidade futura. Recentemente, no primeiro semestre de 2019, um coração é impresso em 3D a partir de tecido humano, pulsava organicamente, cabendo dentro da palma de nossas mãos. Uma longa jornada em um curto espaço de tempo. Neste tempo, em um mundo sintético, um simulacro do meu coração atravessou o espelho dos contos de Alice e se tornou escalável.

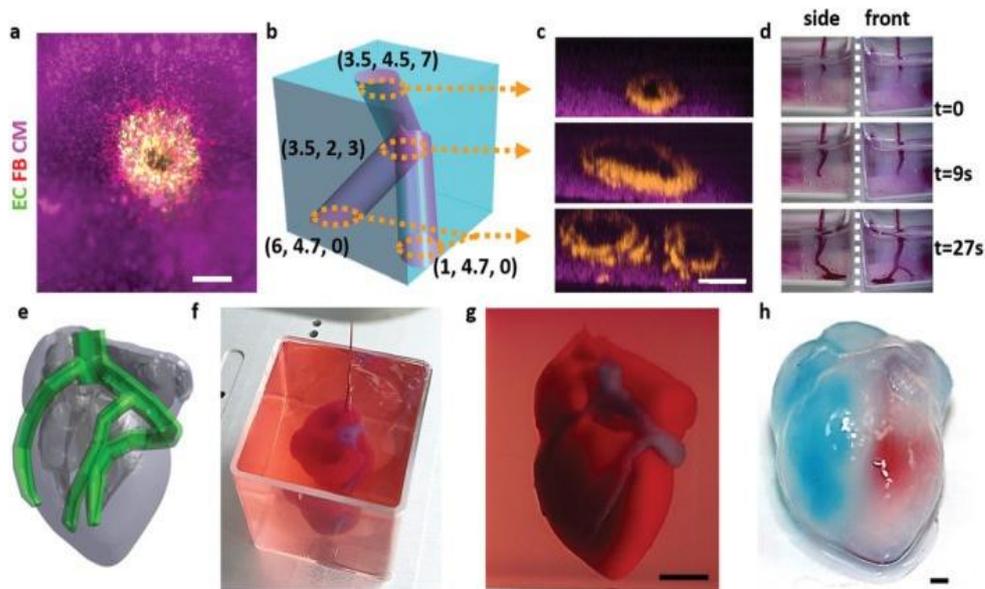


Figura 82 - Impressão de tecidos vascularizados espessos. a) Vista superior da entrada do lúmen (CD31; verde) em tecido cardíaco espesso (actinina; rosa). b) Um modelo de um vaso sanguíneo tripé dentro de um tecido cardíaco de engenharia grossa (coordenadas em mm) os correspondentes lúmens em cada seção indicada da estrutura impressa. d) Perfução tecidual visualizada a partir de dois pontos de vista. e-k) Um coração humano em pequena escala, celularizado e impresso. e) O modelo CAD do coração humano. f, g) Um coração impresso dentro de um banho de suporte. h) Após a extração, os ventrículos direito e esquerdo foram injetados com corantes vermelho e azul, respectivamente, para demonstrar câmaras ociosas e o septo entre eles. Fonte: NOOR, N. et al. “3D Printing of Personalized Thick and Perfusable Cardiac Patches and Hearts.” *Advanced Science*, 2019.

4.3 Realidade Virtual: imergindo num mundo de órgãos segmentados

Toda a experiência adquirida ao longo destes últimos anos com tecnologias tridimensionais aplicadas a imagens médicas esteve ligada à área da cardiologia, tendo em perspectiva sua utilização enquanto técnica não invasiva para tratamento das válvulas cardíacas ou endopróteses vasculares. Uma outra área que me pareceu interessante pesquisar foi a cirurgia torácica.

Na minha experiência clínica acompanhando cirurgias, o que me despertava interesse era a anatomia compartimentada dos pulmões, que facilitava a localização anatômica das patologias e o reduzido número de órgãos envolvidos na cavidade torácica, diferentemente da cirurgia abdominal, cujo pós-operatório sempre era mais trabalhoso e com muitas variáveis envolvidas devido aos vários órgãos localizados na cavidade abdominal. Após o desenvolvimento da analgesia na cirurgia torácica, o pós-operatório destas cirurgias tornaram-se bastante previsíveis e, com o advento das técnicas minimamente invasivas, a dor no pós-

operatório era um problema praticamente resolvido. Eu já havia acompanhado cirurgias torácicas com Dr. Rui Haddad, cirurgião experiente e Professor e Chefe do Departamento de Cirurgia do Tórax da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Além de muito habilidoso, Dr. Rui Haddad sempre esteve interessado em novas técnicas e tecnologias cirúrgicas e vivenciou, em sua longa carreira profissional, a mudança da cirurgia aberta para a cirurgia robótica. Convidei-o a utilizar o aplicativo M3DMIX em seu planejamento cirúrgico. Ficamos — eu, João e Rui — testando o aplicativo durante aproximadamente seis meses até resolvermos utilizar em um caso real.

Rui selecionou uma paciente sobre a qual havia dúvida em relação à conduta a ser tomada e acreditávamos que o aplicativo seria útil como apoio ao diagnóstico. Acreditávamos que a RA iria auxiliar no ato cirúrgico e que a RV seria o ponto de partida para tal. Um modelo físico foi produzido por meio da manufatura aditiva para testar e experimentar a validade da Realidade Misturada como simulação e planejamento cirúrgico (Figuras 83 e 84).

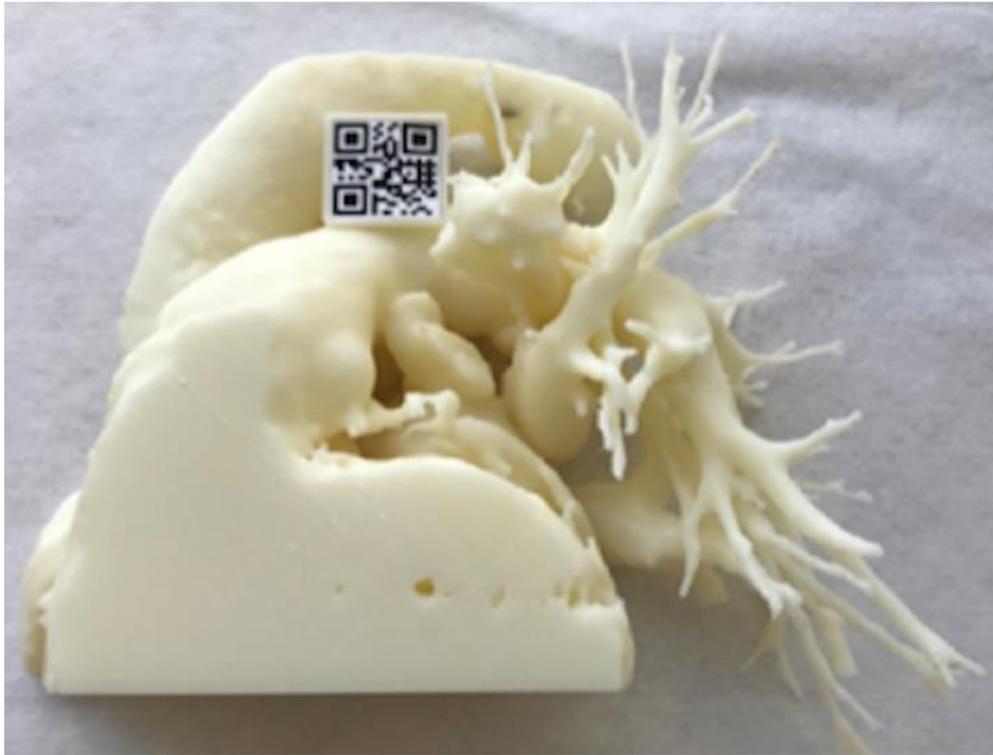


Figura 83 - Modelo impresso em plástico, por manufatura aditiva. Fonte: do autor.

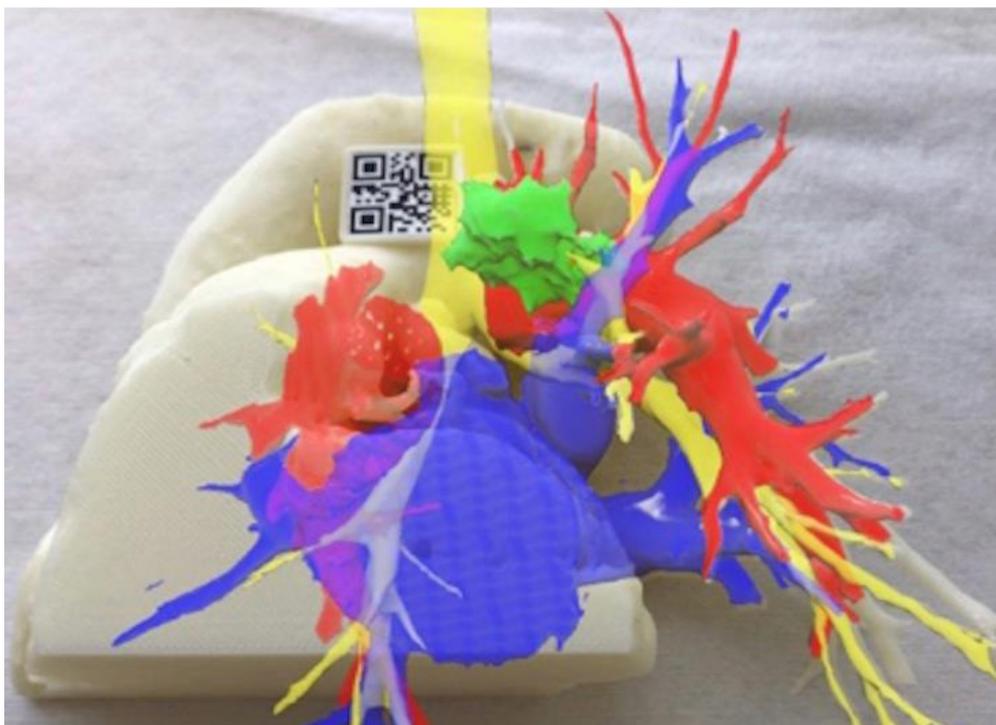


Figura 84 - RA sobreposta sobre o modelo impresso 3D. Em verde, o tumor, em vermelho e azul, vasos pulmonares e em amarelo, brônquio. Fonte: do autor.

Durante o processo de planejamento cirúrgico, a RV se mostrou muito útil, pois a manipulação do pulmão, das veias e das artérias no modelo virtual foi complementar ao raciocínio médico e, de certa forma, podíamos simular

mentalmente o procedimento a ser adotado através da RV (Figura 85).

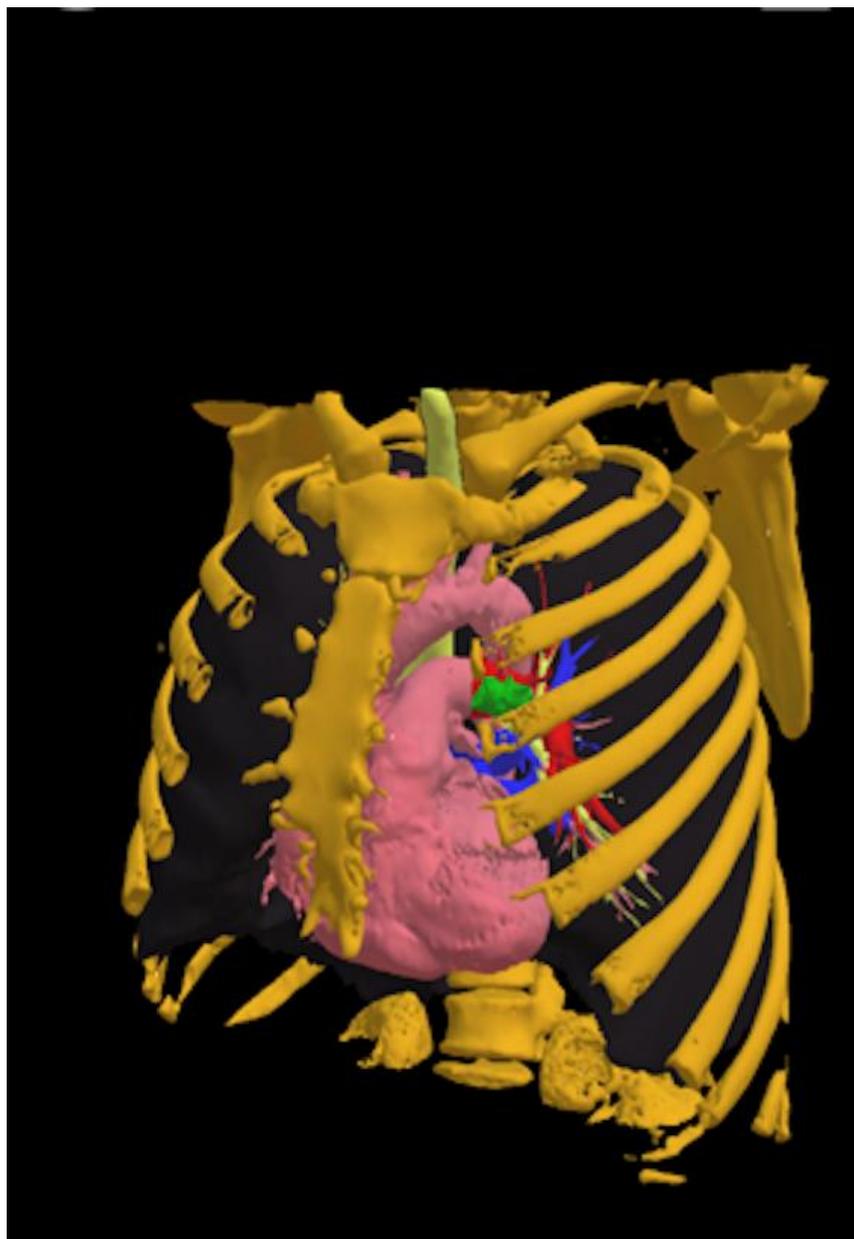


Figura 85 - Modelo em RV. Fonte: do autor.

Para melhorar a interação com o modelo 3D, João criou um cubo com seis faces, com o fiduciário em cada face, fazendo com que o modelo de RA girasse 180 graus. Pelo aplicativo de visualização, foi possível selecionar as camadas, isolar veias, artérias, pulmão e brônquios, revelando a relação espacial entre os órgãos e o tumor a ser retirado na cirurgia (Figuras 86 e 87).



Figura 86 - Cubo com o fiduciário. Fonte: do autor.

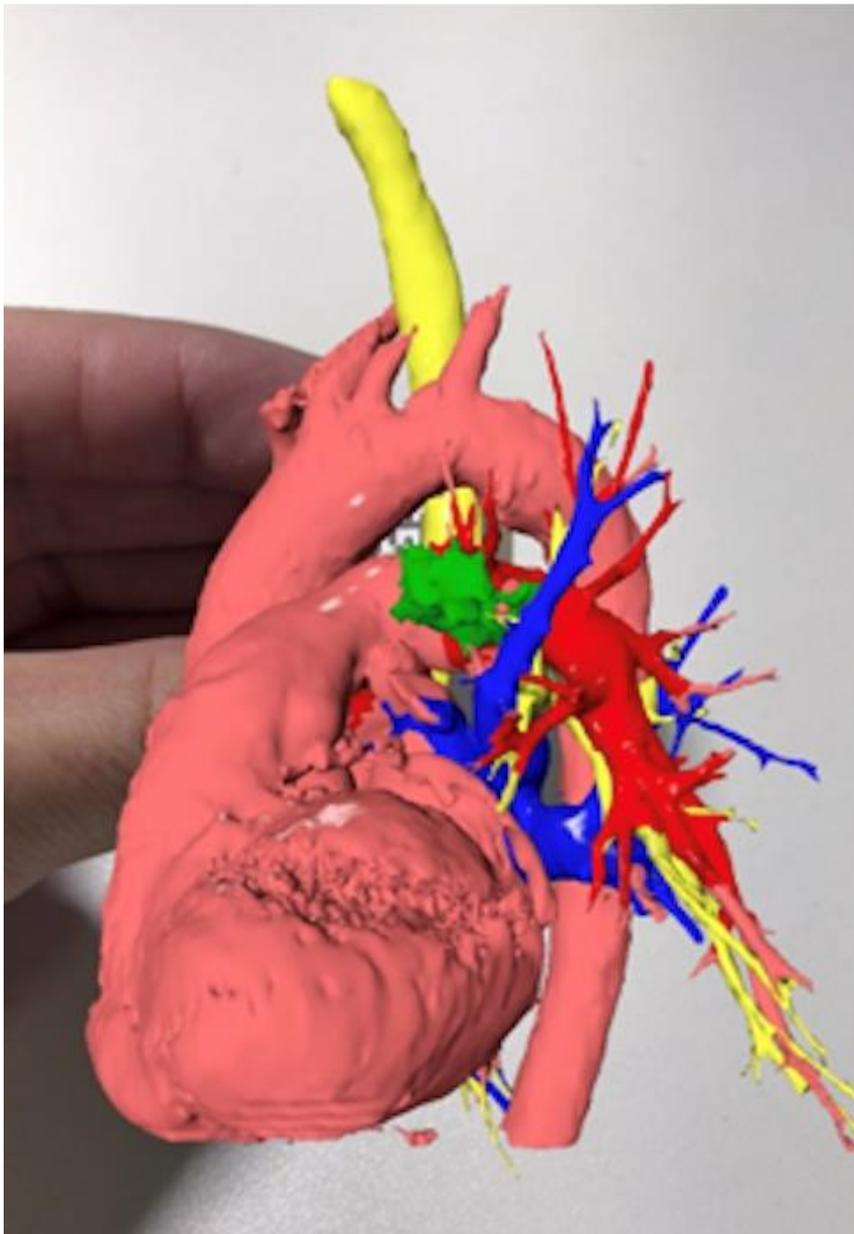


Figura 87 - A RA através do cubo. Fonte: do autor.

Preparamos um fiduciário em material passível de esterilização para ser utilizado durante a cirurgia, para a avaliação da RA no pré-operatório em centro cirúrgico (Figura 88). Lá, Rui apresentou o cubo e a RA a outros cirurgiões, o que causou um grande impacto. Rapidamente o cubo virou “mágico” e todos queriam experimentá-lo.

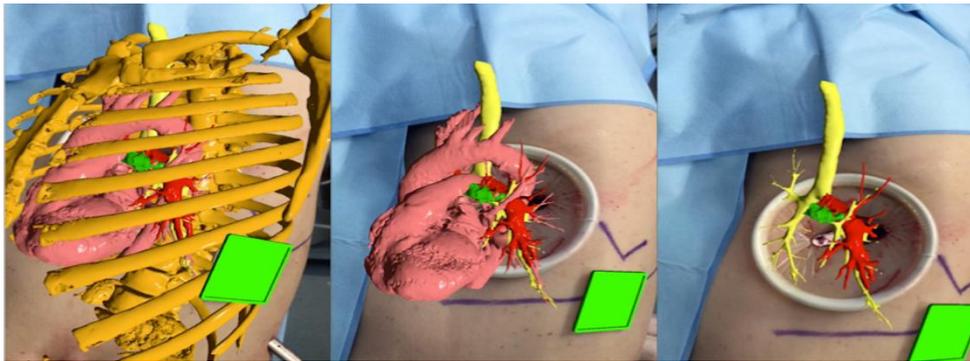


Figura 88 - A imagem em RA sobreposta sob o corpo da paciente no ato cirúrgico. Fonte: do autor.

Entendemos que, apesar de ser interessante, a RA não acrescentava utilidade ao ato cirúrgico, como imaginado anteriormente. Tinha utilidade pictórica, não estratégica. A RV se revelou útil, uma vez que representou de forma fidedigna, de acordo com o que é proposto pelo método, a anatomia do campo cirúrgico e validou a percepção prévia à cirurgia, de que seria possível realizar uma cirurgia minimamente invasiva em vez de cirurgia aberta. No apêndice apresento a entrevista que fiz antes e após a cirurgia descrevendo achados e reflexões. Como resultado, publicamos um artigo em revista médica indexada (Anexo).

A RV tinha valor no auxílio ao diagnóstico e na tomada de decisão e, apesar de nossas expectativas, a RA e Realidade Misturada não acrescentavam valor à cirurgia realizada, na opinião do cirurgião. Porém, achei muito interessante a experiência de interação tátil com o modelo impresso 3D complementado com a Realidade Virtual integrados via tela plana do celular, em termos de usabilidade de interação, pois é mais natural a rotação utilizando os próprios dedos. Radiologistas frequentemente trabalham estas funções com seus mouses e telas planas de computador nas estações de trabalho, mas somente eles. Clínicos e cirurgiões não participam, são apenas coadjuvantes na visualização das imagens. Com o aplicativo M3DMIX, cada médico era proprietário de sua imagem, interagindo diretamente com o objeto, tendo a sensação de tocar o órgão sintetizado através das técnicas de modelagem 3D. Isso era algo novo, não apenas para mim. Rui, cirurgião experiente e atualizado, experimentou algo que não havia visto em congressos ou em cursos no Brasil e no exterior.

Apesar de ter sido uma experiência restrita, foi interessante e de valor a interação tátil com a tela do celular no estudo de caso da cirurgia torácica. A informação estava acessível a um toque de dedo e era interativa. Para apoiar a

comunicação, utilizamos o WhatsApp, que auxiliou muito, em tempo real, na compreensão dos problemas e dúvidas em relação à segmentação do órgão. Mas imaginávamos que seria possível melhorar nossa interação e comunicação através do uso de óculos de realidade aumentada, como relato a seguir.

4.4

Óculos para Realidade Aumentada: vendo e manipulando um coração projetado no peito

Entre o início do meu trabalho com Rui e o estudo de caso da cirurgia, comecei a explorar as possibilidades de utilização de óculos de RA. Apesar do meu interesse inicial nos óculos Riff de RV, eu não conseguia perceber a utilidade dos óculos de RV (totalmente imersivos no virtual) para a minha prática diária. Em minhas pesquisas bibliográficas, encontrava estudos relacionados a tratamento através da RV, ou RV como apoio a educação. Apesar de exercer atividades docentes na universidade, meu interesse em pesquisa estava relacionado com as mudanças e impacto das novas tecnologias na prática clínica. Acreditava que a RV era criativa e imersiva, porém não conseguia encontrar função em minha prática diária. Conseguia vislumbrar, em um futuro, o médico realizando ultrassonografia, utilizando óculos de RV associado ao transdutor de imagem, visualizando em tempo real os órgãos virtualizados e imerso na experiência da RV, associando a imagem 2D na tela plana do aparelho à imagem virtual tridimensional dos óculos. Mas não era o que eu praticava na clínica nem tampouco dominava as técnicas ultrassonográficas.

No segundo semestre de 2017, na mesma época do trabalho com cirurgia torácica, iniciei minhas pesquisas em modos de interação e suas interfaces. Conheci o conceito *Natural User Interface* (NUI), uma interface do usuário que é efetivamente invisível à medida que o usuário aprende interações continuamente e cada vez mais complexas. A palavra natural é utilizada nesse conceito porque a maioria das interfaces de computador utiliza dispositivos de controle artificial, cuja operação precisa ser aprendida. O Kinetic Microsoft é um exemplo de produto que utiliza NUI.

Nessa época, aplicações estavam sendo desenvolvidas para o Google Glass¹¹ (Figura 93) na área da saúde, inclusive com produtos comerciais (Atheers e Augmedix) que utilizavam NUI. Porém, o que se tornou determinante para minha pesquisa foi a iniciativa criada pelo NHS, National Health System, University College of London, UCL com o HoloLens¹² da Microsoft (Figura 94). Eles estavam desenvolvendo uma aplicação em RA para os óculos HoloLens para planejamento cirúrgico. Era exatamente com isso que eu queria trabalhar.

Eu acreditava que uma compreensão mais direta das relações espaciais, ver o ambiente real em RA, teria um efeito significativo no desempenho das tarefas que havíamos experimentado na tela 2D do celular. Adquiri essa crença através de estudos, tais como as pesquisas realizadas através da ciência do cérebro que demonstravam que diferentes regiões do cérebro especializadas no processamento da informação visual também são ativadas pelo tato, respondendo tanto ao estímulo tátil como visual. A representação de um objeto no mundo externo é multissensorial, uma vez que, para o processamento da informação visual, a interação de visão, tato e emoção é crucial para a interpretação do objeto visualizado. (KANDEL, 2016, p. 37). Se eu percebia de modo diferente as imagens médicas ao tocar nos órgãos segmentados na tela plana 2D, como seria ver e tocar uma imagem no mundo real através das dimensões alternativas da RA cobrindo o espaço físico? Essa relação multidimensional, entre realidade objetiva e a experiência subjetiva, propicia outra forma de compreensão do mundo externo e possibilita a comunicação do que é percebido virtual ou mentalmente. Vislumbrei que a RA funcionaria como uma oportunidade para melhorar a comunicação entre os médicos e entre médico e paciente.

A tecnologia da RA, a partir da qual os usuários podem visualizar e interagir com objetos virtuais, é baseada nestes pressupostos: a visualização é um sistema de processamento visual que contribui para a percepção espacial; e áreas corticais relacionadas ao tato se conectam ao córtex visual fazendo que, quando enxergamos alguma coisa, saibamos o que é e onde este objeto está no mundo.

¹¹ O Google Glass é um *Optical head-mounted display* (OHMD), projetado na forma de um óculos, que reflete imagens projetadas e permite o usuário ver através dele. Foi lançado em 2013 com o conceito de computadores vestíveis, ampliando o sentido da visão ao possibilitar a visualização de conteúdos gerados por computador — como imagens e textos — sobrepostos ao mundo real.

¹² <https://www.microsoft.com/en-us/hololens>

Óculos de RA apresentavam novas possibilidades de interação, percepção e entendimento, pois visualizar objetos de forma tridimensional auxiliam o entendimento de como os objetos realmente são no mundo real, percebendo e compreendendo de forma direta o abstrato e transformando código em imagens.¹³ Através da visualização, estamos sempre comunicando nossa localização espacial no mundo físico ao cérebro e gerando alguma forma de ação para interagir com o mundo externo.

¹³ Um código é uma regra para converter informações de um padrão à outro. Na visão, a codificação é entendida como a conversão dos padrões de estímulos da retina em sinais eletroquímicos usados para comunicação com o resto do cérebro; esta informação é então decodificada por outros processos computacionais para alcançar os efeitos perceptuais e comportamentais (PURVESA, 2014, p. 4752).

ProVis3D: PROpedêutica com VISualização tri(3)Dimensional

Neste capítulo, apresentamos o artefato ProVis3D desenvolvido nesta pesquisa. Antes da publicação desta tese, contudo, duas reportagens já apresentaram esse artefato na rede de televisão brasileira: uma que passou no jornal Bom Dia Brasil, da Rede Globo (Figura 89); e outra no jornal Repórter Brasil, da TV Brasil (Figura 90).



Figura 89 - Reportagem sobre o ProVis3D no Bom Dia Brasil (TV Globo).Fonte: <<https://globoplay.globo.com/v/6786754>>.



Figura 90 - Reportagem sobre o ProVis3D no TvBrasil. Fonte: <<https://youtu.be/mSjrowjVavk>>.

ProVis3D é o nome que cunhamos para designar tanto a técnica (serviço) da propedêutica clínica com uso de visualização interativa de imagens médicas tridimensionais, quanto a tecnologia (produto) que desenvolvemos para possibilitar a visualização e interação com imagens tridimensionais de casos clínicos. De fato, caracterizamos o ProVis3D como sendo um sistema de informação, como discuto na Seção 5.1, porque além da técnica, esse artefato também envolve pessoas, organizações e tecnologias comerciais. Para o desenvolvimento desse sistema de informação, tivemos que decidir que modelo de óculos seria usado como hardware, o que apresento na Seção 5.2. Os modelos virtuais 3D dos casos clínicos selecionados para esta pesquisa, foram construídos por especialistas em segmentação, conforme explico na Seção 5.3. Para a visualização e interação dos modelos virtuais 3D, desenvolvemos um ambiente virtual, que apresento na Seção 5.4. Por fim, como relato na Seção 5.5, realizamos testes e consideramos o ProVis3D suficientemente satisfatório para a realização da pesquisa empírica.

5.1 ProVis3D é um Sistema de Informação

A palavra propedêutica - formada por *pro*, que significa “antes”, e *paidein*, que significa “ensinar”, resultando em “ensinar previamente” - é usada para indicar a introdução de uma matéria: (DICIONÁRIO ETIMOLÓGICO).

Propedêutica é um termo histórico originado do grego *προπαιδεύω* que significa "ensinar previamente". Trata-se de um curso ou parte de um curso introdutório de disciplinas em artes, ciências, educação, etc. É o que provém ensinamento preparatório ou introdutório, os chamados conhecimentos mínimos. Pode ser definido como um conhecimento necessário para o aprendizado, mas sem a proficiência. (PROPEDÊUTICA, n.d., n.p.)

Propedêutica clínica é um termo usado em medicina, enfermagem, fisioterapia, odontologia, farmácia e veterinária para designar um conjunto de técnicas utilizadas para a elaboração de um diagnóstico e seu prognóstico com base em um conjunto de dados obtidos via observação, palpação, medida de temperatura e outros exames simples, sem o uso de procedimentos diagnósticos específicos e invasivos. Como fonte complementar de dados para a propedêutica clínica tradicional, nesta tese estamos propondo a visualização interativa de imagens tridimensionais computadorizadas, renderizadas a partir de modelos 3D de órgãos do paciente, sendo o modelo construído a partir da técnica de segmentação, que utiliza os arquivos das imagens do corpo obtidas por tomografia, que é um exame não invasivo. Nossa hipótese, nesta pesquisa, é que um médico, ao interagir com essas imagens tridimensionais, obtém informações de valor para tomar decisões clínicas, o que contribui para diminuir em algum grau a incerteza desse processo, que é o problema que objetivamos mitigar com essa técnica.

Para viabilizar uma propedêutica com uso de visualização interativa de imagens clínicas tridimensionais, foi preciso desenvolver um produto para esta finalidade. O produto consiste em um ambiente virtual interativo para que o médico consiga interagir usando os movimentos das mãos, com o modelo tridimensional projetado no ambiente físico através de óculos de Realidade Aumentada.

Nesta tese, empregamos o nome ProVis3D para designar o sistema de informação aqui desenvolvido, que consiste na tecnologia que implica em um processo de diagnóstico e prognóstico com uso de visualização interativa de imagens virtuais clínicas tridimensionais. Ainda que tenhamos desenvolvido uma tecnologia específica, compreendemos que as tecnologias evoluem enquanto o conceito de “propedêutica clínica com uso de visualização interativa de imagens

virtuais clínicas tridimensionais” permanece de modo independente de uma tecnologia específica. Construir uma tecnologia específica, contudo, é necessário para que se possa materializar o conceito e assim tornar possível a realização de estudos empíricos que possam ser úteis para avaliarmos a validade da técnica proposta e produzirmos conhecimentos técnicos e teóricos.

Um sistema de informação é tipicamente caracterizado pelo conjunto de tecnologias, pessoas e organizações, integrados de modo a resolver problemas organizacionais. Estamos nos baseando na clássica definição de sistema de informação elaborada por Laudon e Laudon (2014):

Um **sistema de informação (SI)** pode ser definido tecnicamente como um conjunto de componentes inter-relacionados que coletam (ou recuperam), processam, armazenam e distribuem informações destinadas a apoiar a tomada de decisões, a coordenação e o controle em uma organização. [...] Para compreender totalmente os sistemas de informação, é preciso conhecer suas dimensões mais amplas — a organizacional, a humana e a tecnológica (ver Figura 1.3) —, bem como seu poder de fornecer soluções para os desafios e problemas no ambiente empresarial. Chamamos essa compreensão mais ampla de sistemas de informação, que abrange um entendimento das dimensões organizacional e humana dos sistemas, bem como de suas dimensões técnicas, de **capacitação em sistemas de informação**. Essa capacitação inclui uma abordagem comportamental e técnica do estudo dos sistemas de informação. A **capacitação em computadores**, ao contrário, foca primordialmente o conhecimento da tecnologia de informação.



Figura 1.3 Sistemas de informação são mais do que computadores

Para usar os sistemas de informação com eficiência, é preciso entender as dimensões organizacional, humana e tecnológica que os formam. Um sistema de informação oferece soluções para importantes problemas ou desafios organizacionais que a empresa enfrenta.

Figura 91 - Sistemas de informação. Fonte: LAUDON; LAUDON, 2014, p.13-15.

Algumas pessoas confundem “sistema de informação” com “tecnologia de informação”. Para esses autores, as tecnologias fazem parte do sistema complexo que envolve também pessoas e organizações. Por isso, esses autores empregam o termo Tecnologia de Informação (TI) para se referir especificamente aos equipamentos e sistemas computacionais e reservam a palavra Sistema de Informação (SI) para denominar não apenas a tecnologia mas o contexto em que ela é utilizada, em termos de processos de trabalho e cultura organizacional, bem como as pessoas que as utilizam, em termos de papéis e conhecimentos:

Por **tecnologia de informação (TI)**, entenda-se todo o hardware e todo o software de que uma empresa necessita para atingir seus objetivos organizacionais. Isso inclui não apenas computadores, unidades de disco e dispositivos portáteis móveis, mas também como os sistemas operacionais Windows ou Linux, o pacote Microsoft Office de produtividade para desktop e os milhares de programas computacionais que podem ser encontrados em uma grande empresa. Já os “sistemas de informação” são mais complexos e, para serem bem compreendidos, devem ser analisados tanto da perspectiva tecnológica quanto do ponto de vista organizacional. (LAUDON; LAUDON, 2014, p. 13)

Na presente pesquisa, em termos de tecnologias de informação, desenvolvemos um ambiente virtual próprio para a interação com modelos tridimensionais de casos clínicos (*software*) integrado a um modelo de óculos de realidade aumentada (*hardware* comprado pronto, com sistema operacional próprio). No ambiente que desenvolvemos, são carregados arquivos de modelos tridimensionais de casos clínicos (*software*), construídos por técnica de segmentação (envolvendo o uso de *software* comercial) em que se interpola imagens obtidas por tomografia de cortes do corpo do paciente (que, por sua vez, têm *hardware* e *software* proprietários). Portanto, há um conjunto de tecnologias envolvidas no presente sistema de informação, algumas desenvolvidas especificamente nesta pesquisa, além de muitas outras tecnologias comerciais.

Em termos de pessoas, estamos considerando o uso dos óculos por um médico capacitado a usar um ambiente virtual e capacitado a dar sentido às imagens tridimensionais visualizadas, bem como um paciente com o qual o médico se relaciona. Não esperamos que seja o próprio médico que faça as imagens por tomografia, geralmente feitas por técnicos (ou tecnólogos) em radiologia. Assim como também não é esperado que o próprio médico faça a segmentação das imagens obtidas por radiografia esperamos que um dia essa técnica seja feita de forma automática por sistemas inteligentes, mas, por enquanto, contamos com especialistas em segmentação. Estamos falando, portanto, de pessoas com diferentes papéis e competências envolvidas nesse sistema de informação.

Em termos organizacionais, estamos considerando o uso dos óculos por um médico dentro de um consultório, ambulatório ou hospital. Hoje não temos organizações preparadas para o uso da técnica de propedêutica aqui proposta, nem há protocolos para a sua utilização clínica. Por isso, a propedêutica aqui proposta será avaliada no contexto de um laboratório experimental. A intensão é que, caso esse sistema de informação se mostre satisfatório (ao menos no contexto experienciado), novos trabalhos possam ser feitos para mudar a cultura necessária

para a apropriação dessas técnicas e tecnologias na área médica.

Sistema de Informação nos parece a melhor forma de caracterizar o que desenvolvemos nesta pesquisa, porque não se trata apenas de um ambiente, muito menos de óculos ou de modelos tridimensionais. Trata-se de um conjunto de tecnologias integradas, envolvendo pessoas com diferentes formações que precisam trabalhar em diferentes etapas do processo, o que requer mudanças em práticas da Medicina (organização).

Considerando a tríade organização-pessoas-tecnologias, Laudon e Laudon (2014) propõem o uso de um diagrama para caracterizar e compreender os sistemas de informação, como o que desenvolvemos e apresentamos na Figura 92, para “ilustrar graficamente como elementos humanos, organizacionais e tecnológicos atuam em conjunto na criação de uma solução de sistema de informação para os desafios organizacionais. [...] Quando você começar a analisar um problema organizacional, perceberá que essas dimensões [organizacional, humana e tecnológica] são guias úteis para entender com qual tipo de problema você está lidando” (LAUDON; LAUDON, 2014, p. 20). Instanciamos o diagrama proposto por esses autores para melhor caracterizar o sistema de informação desenvolvido nesta pesquisa.



Figura 92 - Sistemas de Informação desenvolvido nesta pesquisa. Fonte: do próprio autor com base no diagrama proposto por LAUDON; LAUDON, 2014, p. 20.

Podemos estabelecer algumas comparações dessa Figura 92 com o Modelo DSR apresentado anteriormente (Figura 10). O artefato ProVis3D é caracterizado como um sistema de informação, aqui desenvolvido para diminuir a incerteza nas decisões clínicas, caracterizada na Figura 92 como um desafio organizacional, e caracterizada no Modelo DSR como um problema (vale ressaltar que os autores

propuseram o diagrama a partir de um processo de busca de solução para problemas que ocorrem na organização). O contexto em que o problema ocorre envolve as organizações, pessoas e as tecnologias comerciais. As soluções de negócio estão relacionadas com os critérios de aceitação do artefato. Esse diagrama, contudo, não contemplada os elementos relacionados com uma pesquisa científica — conjecturas teóricas, avaliação empírica e as revisões de literatura (quadro teórico, estado da arte, conhecimento sobre problema-e-contexto, e quadro epistemológico-metodológico) —, pois o diagrama proposto por Laudon e Laudon (2014) visa a caracterizar o sistema de informação e apoiar o seu desenvolvimento, mas não visa a realizar uma pesquisa científica como é o objetivo do Modelo DSR.

O ProVis3D, enquanto tecnologia para visualização de imagens tridimensionais, funciona como um sistema simbólico, conforme a definição de Simon:

As estruturas de símbolos podem, e geralmente funcionam, como representação interna (por exemplo, "imagens mentais") dos ambientes aos quais o sistema de símbolos está tentando se adaptar. Eles permitem modelar esse ambiente com maior ou menor autenticidade e em maior ou menor detalhe, e costumam raciocinar sobre ele. Obviamente, para que essa capacidade possa ser útil ao sistema de símbolos, ela deve ter janelas no mundo e mãos também. Ele deve ter meios para adquirir informações de um ambiente externo que possa ser codificado em símbolos internos, bem como meios para produzir símbolos que iniciam ações no ambiente. Assim, ele deve usar símbolos para designar objetos, relações e ações no sistema externo do mundo. (SIMON, 1996, p. 22)

Desenvolvemos o ProVis3D conjecturando que esse artefato produz uma linguagem em que o médico constrói, nas palavras de Simon (1996), “imagens mentais” sobre o corpo do paciente, adquirindo informações que apoiam a tomar decisão sobre o diagnóstico e o prognóstico. É essa a conjectura que conseguiremos investigar nesta pesquisa. Essa conjectura, contudo, é a superfície que revela a potência que está por trás desta tese: uma linguagem muda a maneira como pensamos, nos habilitando a “designar objetos, relações e ações no sistema externo do mundo” (SIMON, 1996, p. 22). Novas formas de pensar resultam na produção de novos conhecimentos. Novos conhecimentos, por sua vez, têm potencial para mudar a cultura de uma área. Assim como determinadas tecnologias de visualização já mudaram as práticas médicas e provocaram mudanças revolucionárias na Medicina ao longo da história, reconhecemos que as tecnologias de visualização tridimensional já estão mudando as práticas médicas e transformarão a cultura dessa área a médio e longo prazo. Supomos que, num futuro não muito distante, essas

tecnologias estarão em uso em vários consultórios médicos, com protocolos de uso bem definidos, com técnicos preparados para prestar serviços necessários ao processo, com tecnologias mais aperfeiçoadas e com médicos bem formados para lidar com a visualização tridimensional em suas rotinas. É na direção desse futuro que a presente pesquisa visa dar mais um passo com a produção de conhecimentos técnicos e científicos por meio do pesquisa sobre o desenvolvimento e o uso do ProVis3D. Concordamos com Kommen (n.d., p. 2, apud ESCOBAR, 2018, p. 41): “fazer design digital também significa projetar a sociedade, e os designers devem se posicionar como um impulsionador da mudança social.”

5.2 Quais óculos de Realidade Aumentada usar?

Para o ProVis3D, projetado nesta pesquisa, era preciso selecionar um modelo de óculos de Realidade Aumentada que fosse adequado para o problema em questão. Explico as ponderações que nos levaram a escolher um determinado modelo de óculos.

Quando se fala em óculos de Realidade Aumentada, muitas pessoas se lembram do Google Glass (Figura 93). Apesar do grande sucesso na mídia e seu potencial de vendas em vários setores da indústria, incluindo na medicina, a Google deixou de produzir esses óculos em 2015. Meu interesse nesse vestível era decorrente da possibilidade de acessar exames de pacientes tendo as mãos livres para outros tipos de interação. Contudo, não conseguia perceber outras potencialidades ou funcionalidades para minha prática diária com o Google Glass.



Figura 93 - Google Glass.

O HoloLens (Figura 94), por sua vez, apresentava o conceito de HMD, *helmet-mounted display*, um dispositivo usado na cabeça, como um capacete, que

possui um pequeno dispositivo ótico em frente dos olhos. Este HMD reproduz uma animação computadorizada projetada em um espelho parcialmente refletido, permitindo sua projeção sobre o mundo real.



Figura 94 - Hololens.

Os projetos iniciais do HoloLens, na medicina, envolviam a área de educação, principalmente anatomia. Visualizar e interagir virtualmente com o corpo sintetizado parecia um passo a frente para o estudo anatômico e também para discussão da anatomia patológica. Posteriormente, projetos envolvendo planejamento cirúrgico e transmissão ao vivo de cirurgia, para alunos e residentes de medicina, apareceram como apelo comercial, porém sem validação acadêmica. No ano de 2019, a segunda versão do HoloLens foi lançada, ainda apenas para desenvolvedores.

O Meta 2 (Figura 95) é um HMD que apresenta um campo de visão (FOV) de 90°, o que possibilita uma experiência mais imersiva. Sua interação é manual, tem rastreamento posicional para interagir e manipular o conteúdo 3D holográfico, e uma resolução de 2.5K para alta definição. Seu campo de visão é significativamente maior e melhor em comparação ao HoloLens, pois, devido à falta de um display baseado em pixel (há painéis LCD duplos, que refletem o interior da viseira), os objetos visuais parecem mais nítidos a curta distância. O Meta 2 usa uma série de sensores e câmeras voltados para o exterior que mapeiam o ambiente físico e o utiliza como pano de fundo. Outro fator importante: seu preço é metade do HoloLens.



Figura 95 - Meta 2.

Pela dificuldade de adquirir o HoloLens, assim como pelas vantagens oferecidas pelo Meta 2 e as boas críticas em revistas especializadas a esse produto recém-lançado, me levaram a escolher o Meta 2 como óculos de RA para a visualização de casos clínicos no contexto da presente pesquisa.

Comecei a trabalhar com o Meta 2 no primeiro semestre de 2018. Com a experiência adquirida na montagem de projetos multidisciplinares (a já referida proposta para o Edital da FAPERJ em 2014), marquei uma reunião com Professor Alberto Raposo, Professor Associado do Departamento de Informática PUC-Rio e gerente de projetos no Instituto Tecgraf. O Prof. Alberto trabalha com Realidade Virtual, Realidade Aumentada e Interação Humano-Computador, tem grande experiência em desenvolvimento de projetos para indústria de Energia e Petróleo e também para entretenimento. Ele se interessou em participar da implementação de um ambiente em RA para interação de modelos anatômicos construídos a partir de exames de pacientes reais com o Meta 2, dispositivo em que não tinha experiência. Combinamos as etapas e começamos a fazer os testes necessários.



Figura 96 - Meta 2. Fonte: do autor.

No início de junho 2018, o Professor Jorge Lopes me convidou a participar de uma reportagem que sairia na TV aberta sobre projetos desenvolvidos no NEXT. Foi uma oportunidade para pensar como utilizar estes dispositivos na área da medicina, principalmente porque nesta data estávamos fazendo o caso da cirurgia torácica utilizando o M3DMIX. Simulamos a utilização do Meta 2 no Tecgraft, num roteiro de interação em que meu coração sairia de dentro do meu peito. A reportagem teve um impacto cinematográfico e a repercussão foi positiva entre meus pares.

Infelizmente, uma série de dificuldades se apresentaram no final de 2018, quase inviabilizando a utilização do Meta 2 na pesquisa que estávamos realizando, mas como tudo em pesquisa, esse evento gerou algumas oportunidades interessantes que me levaram a produzir outras soluções com resultados promissores. De fato, no final de 2018, os óculos Meta 2 que eu havia adquirido estava inoperante. O programador que estava trabalhando no desenvolvimento do dispositivo não pôde continuar o trabalho comigo e, pior, a empresa pediu falência nos EUA. Como o site da empresa não estava disponível e não havendo solução a curto e médio prazo, conversei com o Prof. Alberto Raposo para avaliarmos o que poderia ser feito. Ele me sugeriu migrar para o Rift e associa-lo ao Leap Motion (<https://www.leapmotion.com>) para simular a interação que havia sido desenvolvida com o Meta 2. O Leap Motion é um dispositivo sensor de hardware

de computador que suporta movimentos de mãos e dedos como entrada, análoga a um mouse, mas que não requer contato ou toque. A ideia era interessante, pois acoplar o Leap Motion ao Rift simulava a interação do Meta 2. Desta forma, não haveria restrição à interatividade direta com o objeto virtual, tendo em vista que o óculos com o dispositivo sensor mapeavam o mundo externo e as mãos conjuntamente, possibilitando interação direta. Prof. Alberto e seu grupo de pesquisa têm boa experiência em desenvolvimento com o Rift e Leap Motion e achamos que seria uma solução satisfatória para a presente pesquisa. Felizmente, o Meta 2 voltou a funcionar e resolvi utilizar os dois dispositivos, como apresento no próximo capítulo.

5.3 Modelos virtuais tridimensionais de casos clínicos

Nesta pesquisa, imagens de tomografia computadorizada (TC) e de ressonância magnética (RM) foram interpoladas para a construção de modelos tridimensionais de casos clínicos. A segmentação é feita por meio da técnica de limiarização. Os modelos cirúrgicos foram feitos na plataforma desktop da empresa M3DMIX; nos casos dos radiologistas, o modelo do fígado foi gerado no próprio serviço de imagens onde o radiologista trabalha e, finalmente, o modelo visualizado no caso do radiologista especialista foi produzido no NEXT.

Para a avaliação empírica utilizando o ProVis3D, foram construídos modelos 3D utilizando imagens médicas de casos reais e complexos. Quatro modelos 3D foram construídos para esta pesquisa. No primeiro caso, um tumor pulmonar que havia sido previamente avaliado como estudo de caso piloto, a aquisição da imagem foi feita por TC e posteriormente renderizada em modelo tridimensional. No segundo caso, uma má formação congênita denominada craniópagos, a aquisição das imagens para renderização tridimensional foi feita por RM. Os dois casos restantes envolviam um tumor hepático, porém de diferentes pacientes, com localização e segmentação diversa. As imagens para o estudo de ambos os casos de tumor hepático foram obtidas para a posterior modelagem 3D.

5.4 Ambiente virtual para visualização e interação com os casos clínicos

Foi preciso desenvolver um ambiente virtual para possibilitar a interação de um usuário com os modelos virtuais tridimensionais dos casos clínicos construídos para esta pesquisa. Para o desenvolvimento desse ambiente virtual, optamos pelo uso da plataforma Unity (Figura 97), um sistema de desenvolvimento de jogos 3D que disponibiliza componentes para o design de cenas virtuais realistas, bem como meios para especificar como os elementos virtuais devem se comportar e reagir aos comandos dos usuários. Foram desenvolvidos programas computacionais para controlar o comportamento dos objetos dentro do ambiente virtual interativo tridimensional. O ambiente projetado nesta tese foi construído por um grupo, constituído por um técnico e alunos de graduação do curso de Informática, no TECGRAFT sob a supervisão do Prof. Raposo.

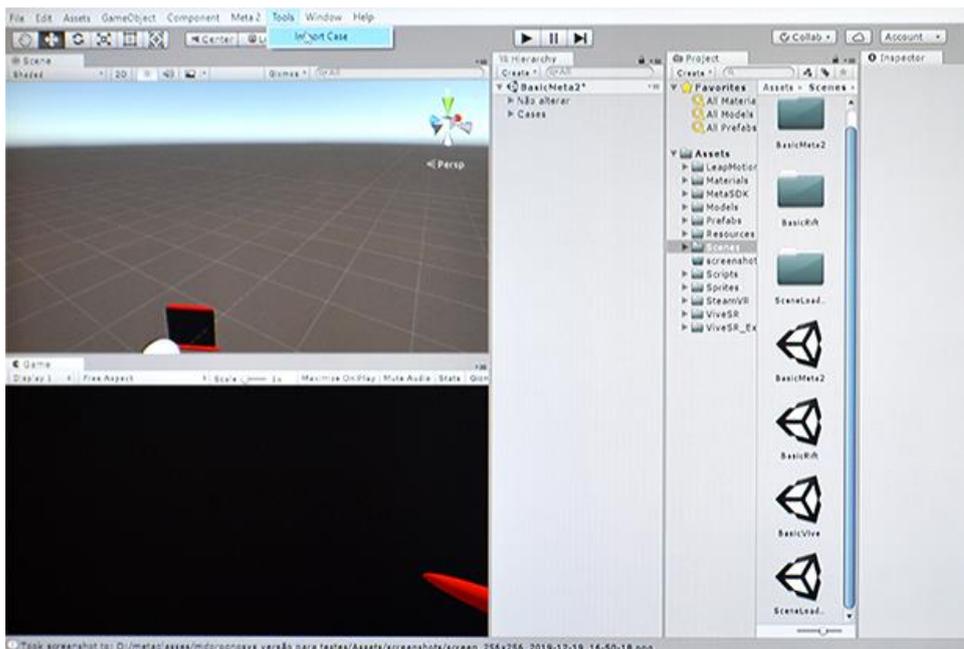


Figura 97 - Cenário para os objetos sejam importados no Unity. Fonte: do autor.

Conforme ilustrado na Figura 97, cada modelo 3D (que representa um caso clínico) precisa ser importado para o ambiente e configurado para que todos os objetos (que representam órgãos e vasos sanguíneos) fiquem visíveis e numa escala adequada dentro do cenário criado.

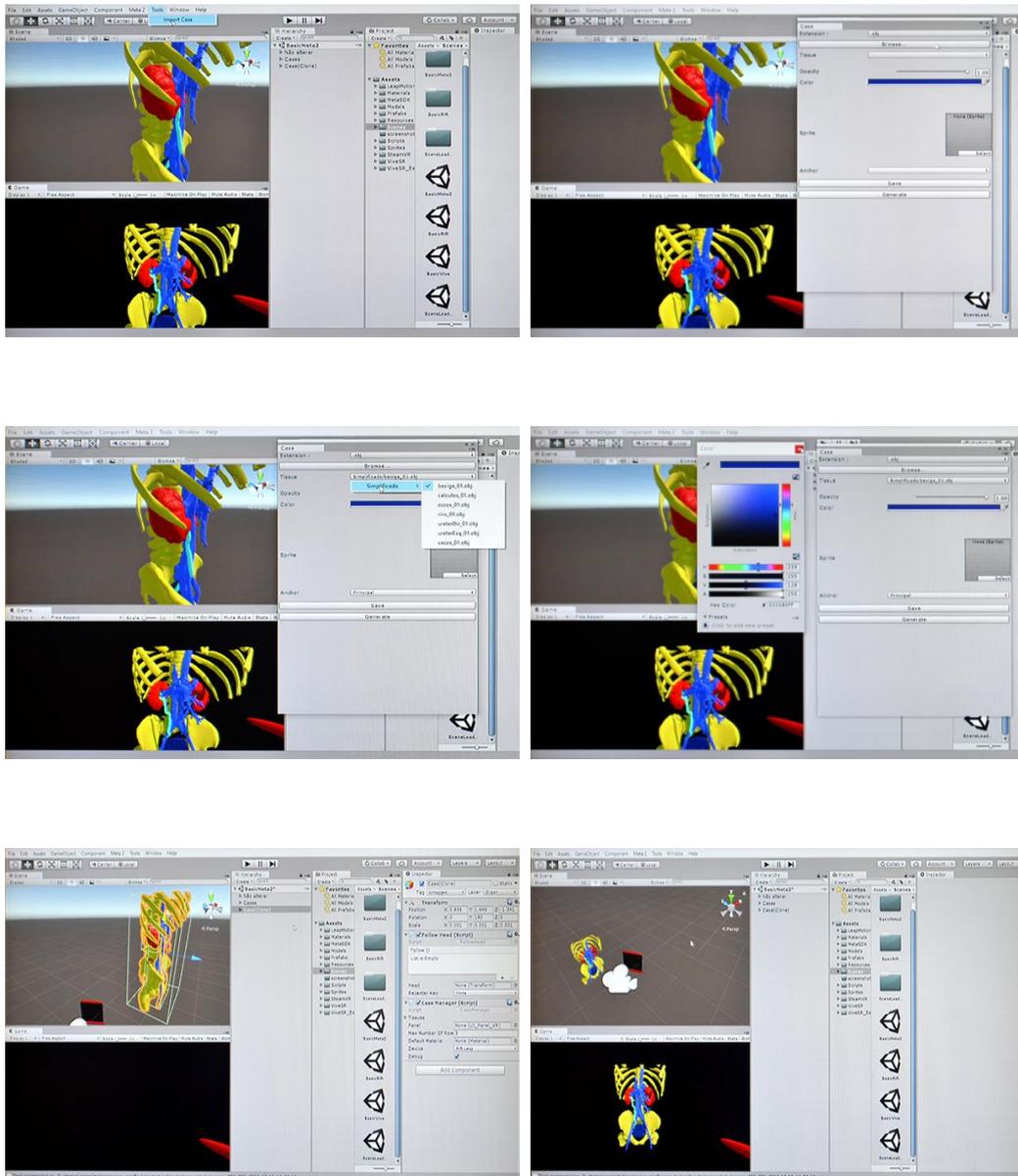


Figura 98 - Modelo visualizado no ambiente. Fonte: do autor.

Também é necessário configurar como os objetos estão relacionados entre si, de tal maneira que, ao mover um órgão, todos os demais órgãos do caso clínico acompanhem o movimento. Para testar esse ambiente, foi construído um modelo contendo sete objetos: bexiga, cálculos, ossos, rim, ureter direito, uréter esquerdo e vasos (ilustrados nas Figura 98). Nesse modelo, selecionei a bexiga como o objeto principal, e todos os demais objetos desse caso ficaram ligados à bexiga.

Assim que o usuário veste os óculos e inicializa o ambiente ProVis3D, o caso-teste já aparece automaticamente na frente do usuário (Figura 99). A imagem

visualizada pelo usuário através dos óculos Meta 2 também é apresentada na tela do computador no qual o dispositivo está conectado. Desta forma, outra pessoa pode igualmente visualizar as imagens e interagir com quem está usando os óculos.

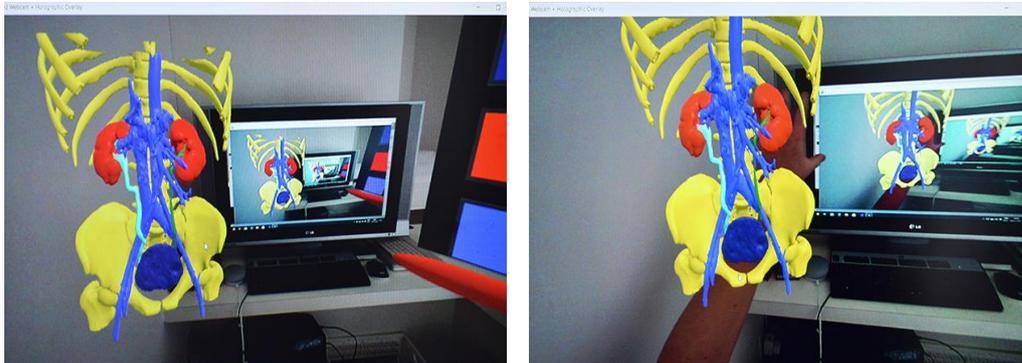


Figura 99 - Usuário testando a cena com o Meta 2. Fonte: do autor.

Para interagir com os objetos da cena, o usuário dos óculos precisa colocar suas mãos em frente aos óculos. O sistema reconhece as mãos e projeta sobre elas um círculo com halo azul (Figura 100). Quando o círculo fica totalmente preenchido de azul (Figura 101), significa que o usuário pode interagir com o objeto. O objeto pode ser arrastado, rotacionado, aumentado ou encolhido por meio de gestos com as mãos.

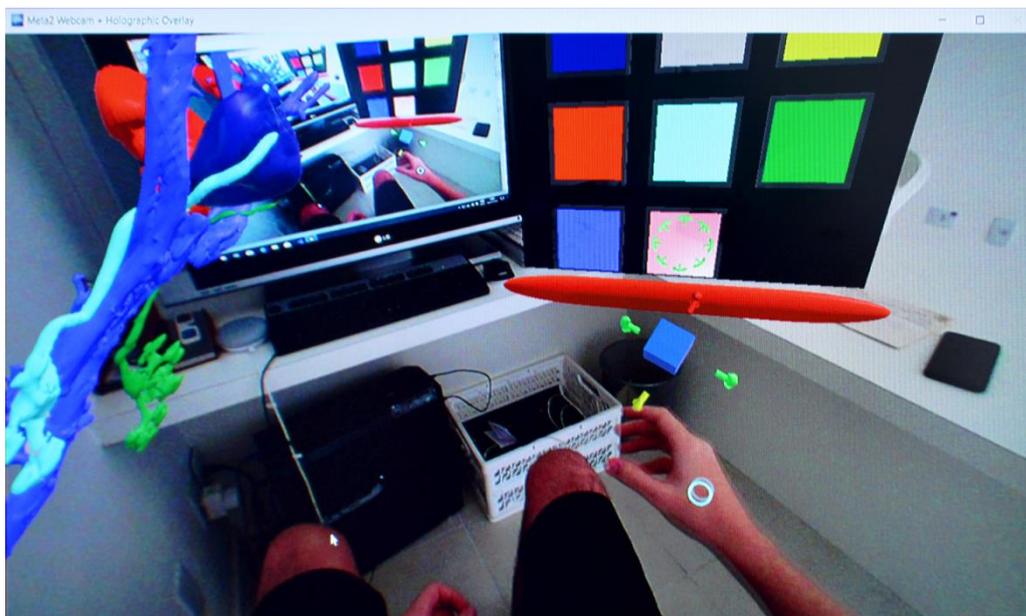


Figura 100 - Objeto e controle virtual visualizado. Círculo com halo azul não ativado. Fonte: do autor.

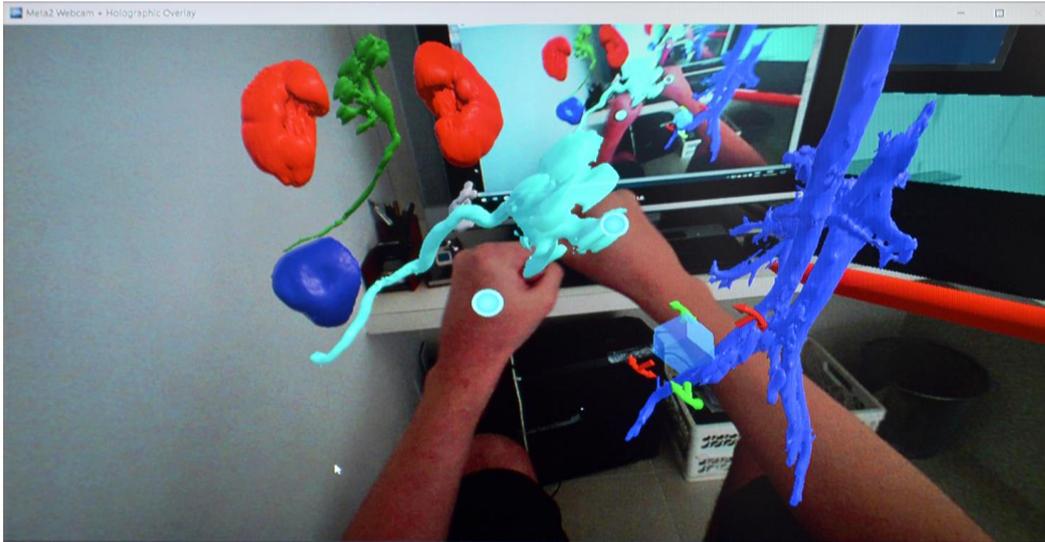


Figura 101 - Interação das mãos com a projeção dos objetos. Fonte: do autor.

Foi projetada outra forma para o usuário interagir com o Modelo 3D. À direita do objeto, o usuário visualiza a representação de controles (Figura 101). Por esses controles virtuais, o usuário também pode selecionar o órgão com que deseja interagir e escolher movimentar, rotacionar, aumentar e diminuir o tamanho por meio de alavancas virtuais.

5.5 Testes de verificação (do funcionamento) do ProVis3D

Foram realizados testes com o ambiente em diferentes dispositivos de RV, conforme descrito no Anexo Técnico desta tese. Com o Rift e Leap Motion, foi verificado que o ambiente estava funcionando adequadamente, pois era possível visualizar e interagir com um modelo virtual tridimensional de caso clínico. Durante os testes o HTC Vive e Leap Motion foi testado, para avaliação em Realidade Misturada (RMI), mas não achei a experiência boa nem percebi valor ao acrescentar o HTC Vive nesta pesquisa. Nossa ideia de colocar o HTC no experimento era de fazer o usuário ter experiências diferentes em cada óculos, RV com Rift, RMI com HTC Vive e RA com Meta 2, cada um com visualização própria. Após os testes com diferentes modelos de óculos de RV, o Meta 2 também funcionou corretamente para a visualização e interação, e esse modelo de óculos se mostrou a solução mais adequada (dentre as alternativas que tínhamos) para os objetivos desta pesquisa.

Consideramos que o ambiente estava funcionando adequadamente, pois possibilitava ao usuário interagir com os objetos no cenário virtual por meio de gestos com as mãos, sem controle manual, e o controle virtual funcionou de forma satisfatória. Consideramos a programação suficiente para a realização da pesquisa.

Os modelos 3D também estavam adequados. Tudo estava pronto para a realização de estudos de caso com médicos interagindo com casos clínicos, o que relato no próximo capítulo.

6

Avaliação empírica: análises e achados da pesquisa

Para a realização da avaliação empírica projetamos diferentes casos. A abordagem é observacional e interpretativa, com a finalidade de compreender e refletir sobre o comportamento do médico. Para apoiar a interpretação dos discursos dos entrevistados, foi utilizada a técnica de codificação da Teoria Fundamentada em Dados.(CHARMAZ, 2006)

6.1

Estudos realizados

Para realizarmos a análise da pesquisa, produzimos dados de diferentes fontes de evidência, visando a triangulação dos dados por meio de uma cadeia de evidências para que a conclusão sobre os estudos tivesse mais credibilidade. Selecionamos duas fontes de informação: a observação do uso do artefato e os discursos produzidos pelos médicos-usuários do artefato. Desta forma, observei e filmei a sessão de uso do ProVis3D por cada médico para consulta posterior e, após cada sessão de uso do ProVis3D, o médico-usuário foi entrevistado por aproximadamente vinte minutos sobre a experiência vivida. As entrevistas foram gravadas, filmadas e transcritas na íntegra, servindo como fonte de dados para interpretação (Apêndice) (Figura 102). É possível assistir às gravações das entrevistas, acessando o link <<https://drive.google.com/open?id=1DAaSmHVO2342LZQz9IR-vzKQF4DREuvO>>.



Figura 102 - Entrevista gravada com cirurgião. Fonte: <<https://drive.google.com/open?id=1DAaSmHVO2342LZQz9IR-vzKQF4DREuvO>>.

Projetamos diferentes casos, com 5 unidades de análise (cada médico convidado para usar o ProVis3D consiste em uma unidade de análise nesta pesquisa). A seleção da amostra para o estudo de caso foi feita com médicos de diferentes especialidades e de faixas etárias variadas.

Dr. Rui Haddad é cirurgião torácico, com experiência em diferentes técnicas cirúrgicas, robótica, videoassistidas e cirurgia aberta. Tem mais de 40 anos de formação profissional e docência. O caso selecionado foi de um nódulo pulmonar, ressecado por cirurgia videoassistida, previamente estudado no caso piloto desta pesquisa.

Dr. Dalton de Castro é cirurgião geral, com especialidade em cirurgias do tubo digestivo. Tem mais de 30 anos de experiência em cirurgia abdominal, principalmente aberta e videoassistida. Caso selecionado foi de um tumor hepático, operado por cirurgia aberta uma semana antes da entrevista.

Dr. Eduardo Viana é cirurgião geral, com especialidade de cirurgia do pâncreas. Tem experiência de aproximadamente 15 anos de cirurgia abdominal, especialmente cirurgia do pâncreas videoassistida. Participou da mesma cirurgia que Dr. Dalton no caso selecionado para o estudo.

Dr. Heron Werner é radiologista com especialidade em medicina fetal com mais de 20 anos de experiência. Trabalha com tecnologias de visualização 3D há

aproximadamente 10 anos. Participou do estudo com um caso de má formação congênita complexa chamada de craniópagos.

Dr. Vitor Sarderberg é médico radiologista, com experiência de aproximadamente 20 anos. Chefia o laboratório de imagem de clínica radiológica referência no Rio de Janeiro. Seu caso é de um tumor hepático, com as imagens produzidas por ele, utilizando técnicas de aquisição e segmentação diferentes do caso do Dr. Dalton e Dr. Eduardo.

Antes das entrevistas, solicitei a todos os médicos participantes a assinatura do termo de consentimento livre e esclarecido, termo de uso e política de privacidade de dados pessoais, termo de autorização para uso e vinculação de imagem, voz, dados pessoais e material bibliográfico (Anexo). Aos pacientes cujo exame foi realizado para gerar os modelos visualizados no ProVis3D, quatro termos de consentimento livre e esclarecido foram solicitados com a descrição da pesquisa em seus detalhes, três para maiores de 21 anos e um para menor de 21 anos. Todos os documentos foram devidamente lidos e assinados pelos participantes.

Durante aproximadamente dois meses, antes das entrevistas para o Estudo de Caso, o ProVis3D foi testado e aperfeiçoado. Uma vez por semana, o pesquisador comparecia ao laboratório do Tecgraft para testar os casos com uma equipe de alunos e programador do Tecgraft. Cada sessão de teste tinha a duração de aproximadamente uma hora, com a participação de um programador do Tecgraft e um aluno da graduação do curso de Informática. Todos os casos foram testados com êxito e o corpo virtual do pesquisador foi adicionado à cena do estudo. Este modelo virtual foi produzido em duas etapas: inicialmente o pesquisador foi escaneado no NEXT e seus arquivos foram enviados para Campinas, no Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer — CTI, para serem impressos em modelo físico de aproximadamente 35 cm (Figura 103). Posteriormente, os mesmos arquivos foram importados para o cenário Unity e programados para que o primeiro objeto a ser visualizado na cena fosse o corpo virtual. Quando iniciávamos a cena no ProVis3D, o usuário era orientado a interagir com o corpo virtual até alcançar o modelo 3D do órgão de interesse.

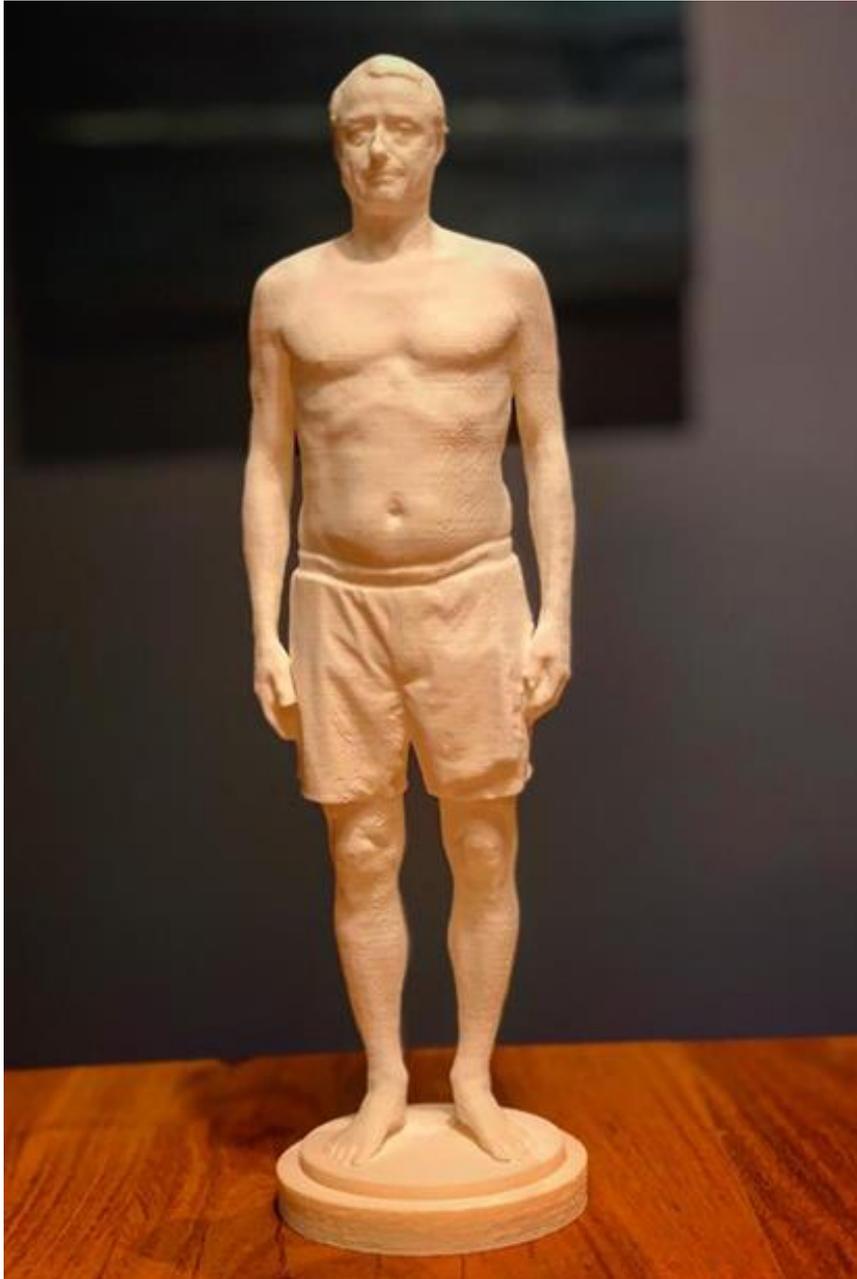


Figura 103 - Impressão 3D do corpo do pesquisador. Fonte: do autor.

A análise dos depoimentos coletados tem duas etapas: (a) análise das respostas dadas pelo grupo como um todo, chamada de análise inter-participantes; e (b) análise detalhada de cada uma das entrevistas individuais, chamada de análise intra-participantes. (NICOLACI-DA-COSTA,2007)

Escolhi como primeiro grupo para análise inter-participativa os cirurgiões. Todos os três cirurgiões tiveram grande aceitação da tecnologia. O ProVis3D foi capaz de obter informação de valor para o tratamento e diagnóstico e, segundo Dr. Rui, é um método útil para cirurgias robóticas e videoassistidas. Ele enfatizou que na robótica o cirurgião opera à distância em um console com visualização do campo

cirúrgico tridimensional e, devido a esta circunstância, o ProVis3D poderia ser de grande utilidade para o treinamento e planejamento cirúrgico: “Eu fiquei bastante impressionado com a técnica que vocês desenvolveram, ela permite que a gente visualize um modelo tridimensional de uma estrutura que a gente vai operar.”

Para a análise da pesquisa, acredito que o depoimento do Dr. Rui tem valor tanto por sua experiência prévia no estudo piloto como por sua vivência: “Eu vivi todas as etapas da medicina, tenho mais de cinquenta anos de medicina. Então eu vi tudo, a evolução da medicina desde a cirurgia aberta, a fase das 'grandes incisões, grandes cirurgias', que é o que se dizia na década de 70, até hoje onde a gente opera qualquer coisa com quatro incisões de 8mm e uma incisão de 11mm, que é o que se usa na cirurgia robótica.”

Dr. Rui é um cirurgião muito experiente e tem uma característica peculiar à sua faixa etária: desafios tecnológicos não são barreiras de entrada. Ele tem uma personalidade inovadora e uma grande curiosidade quando é exposto a novas tecnologias em sua área de atuação. Com mais de 60 anos, resolveu iniciar treinamento em cirurgia torácica robótica e hoje talvez seja o cirurgião no Rio de Janeiro, senão no Brasil, com maior número de casos operados por robótica.

Dr. Dalton e Dr. Eduardo são cirurgiões com experiência em cirurgias abdominais complexas do tubo digestivo e pâncreas. Têm idades diferentes e frequentemente operam juntos. A aceitação do ProVis3D foi igualmente positiva para os dois e ambos enfatizam a importância da visualização tridimensional no planejamento cirúrgico. Dr. Eduardo, mais jovem, treinado em uma época que as cirurgias minimamente invasivas eram o padrão de tratamento, enfatiza a utilidade do ProVis3D: “Eu acho que essa tecnologia encurta isso. Faz uma ponte direta para o 3D, de modo que eu acho que no futuro, quando estiver mais difundido e o software ainda melhor, acho que o cirurgião eventualmente vai trabalhar só com essa ferramenta.”

Para este grupo de usuários, é necessária uma curva de aprendizado longa para poder visualizar as imagens radiológicas, pois o cirurgião necessita criar mentalmente a imagem tridimensional a partir das imagens planas bidimensionais na tela do computador ou negatoscópio. Por isso Dr. Eduardo refere o ProVis3D como “uma ponte direta”, sem intermediação, com interação direta com o órgão que será abordado. Desta forma, como o artefato reflete o campo cirúrgico tridimensional que o cirurgião irá visualizar, ele poderá programar a cirurgia melhor

até o fim, não haverá o risco de encontrar outro cenário diferente do que foi visto no ProVis3D, e inicia a cirurgia seguindo exatamente sua programação.

A questão da interação direta com o modelo 3D foi ressaltada pelos três cirurgiões como forma de melhorar o raciocínio, diminuindo incertezas e apoiando o diagnóstico e planejamento cirúrgico. Em resumo, o cirurgião, ao interagir com imagens tridimensionais, obtém informações de valor para tomar decisões clínicas, o que contribui para diminuir, em algum grau, a incerteza desse processo. Entretanto, eles ressaltam a importância de um treinamento prévio com o ProVis3D, para melhorar a interação, relacionando o problema da interação ao estágio de desenvolvimento da programação do ProVis3D e não ao processo de visualização em si.

Para os cirurgiões, esta tecnologia de visualização cria uma linguagem, que apoiam a tomada de decisão, e as novas formas de se expressar e de pensar geram novos conhecimentos. O ProVis3D cria uma linguagem visual, uniformizando o pensamento e facilitando a comunicação, seja entre médicos especialistas ou não especialistas, podendo até incluir o paciente. Na visão deste grupo, é importante o paciente entender o que o cirurgião propõe como tratamento, explicar a suas escolhas e, como dito por Dr. Eduardo, com o ProVis3D, “até uma criança entende”. A uniformização da linguagem visual através da imagem 3D, possibilita que todos os atores vejam a mesma coisa e a informação seja entregue de forma completa e verdadeira, ampliando a capacidade de aprender.

Antes de analisar outro grupo, optei por fazer a análise detalhada de cada uma das entrevistas individuais, chamada de análise intra-participantes. Após a análise das entrevistas do grupo dos cirurgiões, resolvi que não repetiria a mesma dinâmica com o grupo de radiologistas. Minha avaliação foi que um número reduzido, dois médicos, com atividades diversas, um radiologista especialista e o outro não e com visões e experiências diferentes não poderiam oferecer uma visão de grupo para a análise inter-participantes. Desta forma, em vez de analisar os radiologistas como grupo, codifiquei as cinco entrevistas, e utilizei a técnica de codificação da Teoria Fundamentada em Dados para a análise das 5 unidades. Abaixo se encontram minhas observações de cada uma das entrevistas individuais.

Dr. Rui acredita que o ProVis3D é importante em todas as fases do planejamento cirúrgico, do diagnóstico ao tratamento. Nossa primeira experiência, com o estudo piloto, já apontava a facilidade de uso e utilidade da tecnologia para

visualização 3D, porém a experiência com a interação com os objetos virtuais foi crítica para avaliar o potencial de aceitação do artefato. Ele, que havia tido uma experiência completa com a visualização do objeto em RV e RA no celular, acentuou a importância da questão da interação com as mãos e que este tipo de interação possibilita segmentar o objeto diretamente. Interpreto isso como um progresso e a confirmação da minha conjectura inicial: a visualização associada à sensação tátil melhora a experiência do usuário e é outra forma de comunicação.

Outro dado importante para minha avaliação foi a questão da comparação feita por ele entre a imagem do livro bidimensional e a imagem 3D. Antes do procedimento cirúrgico, é importante saber a anatomia pulmonar e vascular — existem variações anatômicas na ordem de 15% a 20% dos casos e Dr. Rui precisa conhecer a anatomia pulmonar do paciente antes do procedimento para o planejamento estratégico da cirurgia. Podemos supor que Dr. Rui, quando faz seu planejamento e consulta os livros, precisa correlacionar os achados radiológicos com as imagens do atlas anatômico, pesquisar se há variações anatômicas no caso e se aquela alteração no exame radiológico realmente é uma variação anatômica ou um artefato da imagem. Ele só saberá a verdadeira anatomia quando fizer a cirurgia, enquanto que, como o ProVis3D propicia uma imagem 3D tão fidedigna, de acordo com o que é proposto pelo método, quanto aquela que ocorre no campo cirúrgico, ele pode obter uma informação que diminui a incerteza na tomada de decisão, melhorando o seu planejamento cirúrgico.

Na sua entrevista, tive a percepção que a tecnologia do ProVis3D está acompanhando o desenvolvimento da cirurgia minimamente invasiva, de forma escalável, e que o ProVis3D funciona como exame complementar a cirurgia robótica, da mesma forma que no passado, quando era necessário complementar os exames pré-operatórios com uma radiografia ou, atualmente, com ressonância ou tomografia.

Dr. Rui chama a atenção da importância da RA na área do ensino, seja para alunos, residentes ou cirurgiões iniciantes. O ProVis3D poderia ser utilizado nas cirurgias robóticas, com o primeiro cirurgião operando no console e os demais cirurgiões assistentes acompanhando a cirurgia com o ProVis3D. Ele acredita que compartilhar a tela do console com os alunos, residentes ou assistentes, utilizando um dispositivo como o ProVis3D, seria de grande importância pedagógica e para treinamento.

Dr. Dalton também havia experimentado a RA e RV no celular, não na mesma intensidade que o estudo piloto. Anteriormente eu havia mostrado a ele alguns casos e o mesmo caso que foi visualizado no ProVis3D nesta pesquisa. Foi uma experiência importante, pois ele comparou as duas formas de visualização e não hesitou em afirmar que a experiência com o ProVis3D era superior à experiência anterior com o celular. Afirmou que com o ProVis3D ele poderia entrar no centro cirúrgico já sabendo o que iria operar e seu planejamento seguiria a programação desejada. No caso das cirurgias hepáticas, o ProVis3D pode ajudar na volumetria, tendo em vista que o artefato disponibiliza um volume para visualização, manipulação e simulação, fazendo com que o procedimento seja mais seguro, com menos incertezas.

Mesmo levando em conta que são técnicas cirúrgicas diferentes, Dr. Dalton acredita que o ProVis3D pode auxiliar a cirurgia aberta e robótica, com diferentes usos, mas com objetivos semelhantes: diminuir incertezas, reduzir erros e evitar achados imprevistos. Em resumo, ProVis3D torna a cirurgia mais previsível.

Dr. Dalton observa que o ProVis3D pode auxiliar a comunicação com o radiologista. Na sua entrevista ele nos informou que depois de determinadas cirurgias, ele leva as fotos da peça cirúrgica para o radiologista ver o achado. Desta forma, orienta e ensina o radiologista a interpretar a sua imagem radiológica 2D em uma linguagem visual; ele acha que ProVis3D pode servir para auxiliar a comunicação entre especialistas de forma semelhante.

Dr. Eduardo, na entrevista, fala muito do desenhar como um processo de pensamento, de como as imagens 2D desencadeiam processos mentais que só por palavras não é possível descrever, sendo necessário imaginar, criar e desenhar imagens para comunicar a um terceiro a sua intenção. Por isso ele acha o ProVis3D mais amigável para quem não é radiologista e não possui esta linguagem e diz que “queima etapas no entendimento das imagens”. Sua linguagem durante a entrevista revela muito do que pensa, usando termos como “linguagem palpável”, que a imagem bidimensional “é um alfabeto grego para o paciente” ou que “até uma criança entende”. Ele sempre desenha para explicar ao paciente o procedimento cirúrgico, como forma de pensamento, uma “miniaula”, e acredita que o ProVis3D pode ser incorporado à rotina do planejamento cirúrgico, comunicando de forma mais efetiva e complementando a linguagem com imagens.

Uma observação interessante, durante as entrevistas, foi a expressão gestual dos cirurgiões. Em cada oportunidade que descreviam os atos cirúrgicos, quase que automaticamente, seus gestos expressavam os movimentos no campo cirúrgico, de acordo com a técnica utilizada. Quando Dr. Rui falava sobre a cirurgia robótica, suas mãos simulavam o movimento de toque das pinças robóticas, da mesma forma que Dr. Eduardo repetia o gestual dos movimentos de uma cirurgia videoassistida.

Dr. Heron é radiologista e especialista em medicina fetal. Tem uma larga experiência com o uso das tecnologias 3D e desenvolveu uma linha de pesquisa nesta área, com a ultrassonografia e ressonância magnética, reconhecida internacionalmente. Utilizando tecnologias 3D há aproximadamente nove anos, ele acredita que sua grande contribuição é “a criação de uma interface de discussão de casos complexos por uma equipe multidisciplinar, trazendo uma plataforma mais fácil para essa discussão”. Ele acredita que, com a melhor qualidade da imagem em RA, a informação fica mais simples e correta, facilitando a comunicação com equipes multidisciplinares. Ele utiliza o exemplo de cirurgias feitas dentro do útero de mulheres grávidas, nas quais é necessário discutir o planejamento do procedimento, fetoscopia, com um cirurgião especialista e um neonatologista; neste caso a RA, segundo ele, tem a possibilidade de aplicação na discussão multidisciplinar, no “fazer antes virtualmente antes do real” e “entregar essa realidade no ato cirúrgico”.

Durante a entrevista eu citei o achado técnico que considero o mais importante para desenvolvimento futuro: a possibilidade de interação com as mãos de um usuário que não está usando o ProVis3D. Ele funciona da seguinte forma: enquanto um usuário do ProVis3D está utilizando o artefato, se o usuário externo colocar as mãos no campo de visão do ProVis3D, a mão é mapeada pelas câmeras do artefato e ele pode interagir com o objeto e acompanhar a sua interação na tela do computador. Acredito que, a partir deste achado, outra forma de comunicação pode ser desenvolvida para discussão multidisciplinar em casos complexos, utilizando o ProVis3D.

Falando sobre a sua experiência como especialista ao longo dos anos, Dr. Heron descreve como era difícil no início da sua carreira explicar as alterações encontradas em exames radiológicos bidimensionais, sempre em uma escala de cinza e em diferentes planos, dificultando a comunicação. Com as tecnologias 3D

isso mudou, pois, atualmente, com a informação volumétrica, é possível segmentar órgãos e vasos, fazer uma visualização com cores diferentes de cada órgão e visualizar estes modelos tridimensionais em RV, RA e imprimi-los fisicamente. Para ele, esta mudança transformou completamente a forma de comunicação, criando uma outra linguagem para as conversas entre os especialistas da equipe multidisciplinar.

Com sua vivência, utilizando as tecnologias de visualização 3D, ele desenvolveu técnicas de aquisição de volumes em diferentes modalidades radiológicas. A partir deste conhecimento ele percebeu a potencialidade de cada método diagnóstico para modelagem 3D, assim como o potencial de visualização que essa tecnologia oferecia em diferentes formas de visualização; o mesmo arquivo de imagem que é usado para imprimir modelos físicos tem a potência de ser visualizado em RV ou RA. Desta forma, a sua prática mudou, pois, a partir de agora, ele começa a pensar não apenas no diagnóstico, mas no prognóstico dos seus achados e na forma em que pode oferecer uma imagem, em RA ou RV, para produzir uma melhor informação para equipes multidisciplinares.

Dr. Heron acredita que ProVis3D tem bom potencial de aceitação. Ele acredita que cada forma de visualização tem sua aplicação, a RV para maior precisão e RA para interação, e que estamos em um período de transição no domínio das imagens e das ferramentas virtuais, mais relacionado com as dificuldades do controle em termos de precisão do ajuste fino do software do que no processo de visualização. Considera um grande avanço a possibilidade de interação com as imagens.

Dr. Vitor participou do estudo com um caso que ele havia anteriormente trabalhado no seu laboratório de imagem, na aquisição, processamento e pós-processamento da imagem 2D. Porém, já havia visualizado esta imagem na tela plana e na tela do celular como RA e RV. Seu perfil é de um radiologista generalista, com experiência recente com tecnologias de visualização 3D, trabalhando em uma workstation e interagindo com outros médicos de forma limitada, através de laudos ou telefonemas e, eventualmente, presencialmente na sua área de trabalho.

Ele acha que a RA vem para agregar muito valor na interação de médicos de diferentes especialidades: “essa ferramenta é fundamental para isso”. Ele acredita que com a RA poderá interagir de uma forma diferente quando, por exemplo, um médico liga para ele para discutir um caso, e os dois conseguem ver a

mesma imagem em RA simultaneamente, “eu de um lado e ele de um outro em ambientes diferentes” discutindo aquela imagem, agregando valor na conduta tomada e apoiando a execução do procedimento.

Na sua prática, Dr. Vitor, a visualização de uma imagem de RA ao médico assistente não altera sua rotina. O processo é quase automático e basicamente ele precisa apenas selecionar, nos pós-processamento da imagem, o modelo 3D que o médico irá visualizar. O que muda, na sua opinião, é que agora “entrega uma melhor informação”, que o médico assistente pode olhar, movimentar e examinar, interagindo de forma diferente. É importante frisar que Dr. Vitor considera que a imagem virtual possibilita uma impressão real, representa com mais fidelidade o que ele está pensando e “que pelo laudo fica mais difícil falar” e a interação acrescenta valor à informação. Na minha opinião, esta afirmação a respeito da interação de um usuário radiologista, valoriza a minha conjectura a respeito da visualização associada a sensação tátil ser capaz de produzir informação de valor.

6.2 Codificação

Para apoiar a interpretação do discurso dos entrevistados, foi utilizada a técnica de codificação da Teoria Fundamentada em Dados. Charmaz (2005) sugere que, para interpretar os dados, o pesquisador deve codificá-los e revê-los com objetivos diferentes ao longo do tempo. “Codificação significa categorizar segmentos de dados com um nome abreviado que resume e contabiliza simultaneamente cada pedaço de dados. Seus códigos mostram como você seleciona, separa e classifica dados para iniciar uma contabilidade analítica deles” (CHARMAZ, 2005, p. 43, tradução nossa).

A codificação foi feita bloco a bloco. Cada bloco foi tratado como um trecho da fala de um participante, como ilustrado na Figura 104. Após esta etapa iniciamos a codificação focada, que Charmaz (2006, p. 57) descreve da seguinte forma: “Codificação focada significa usar os códigos anteriores mais significativos e / ou frequentes para filtrar grandes quantidades de dados. A codificação focada exige decisões sobre quais códigos iniciais fazem mais sentido analítico para categorizar seus dados de forma incisiva e completa.” Após a etapa da codificação focada, devemos observar o resultado da codificação em busca de relações entre os

códigos. Ao relacionarmos os códigos em busca da compreensão dos fenômenos, executamos a codificação teórica (CHARMAZ, 2005).

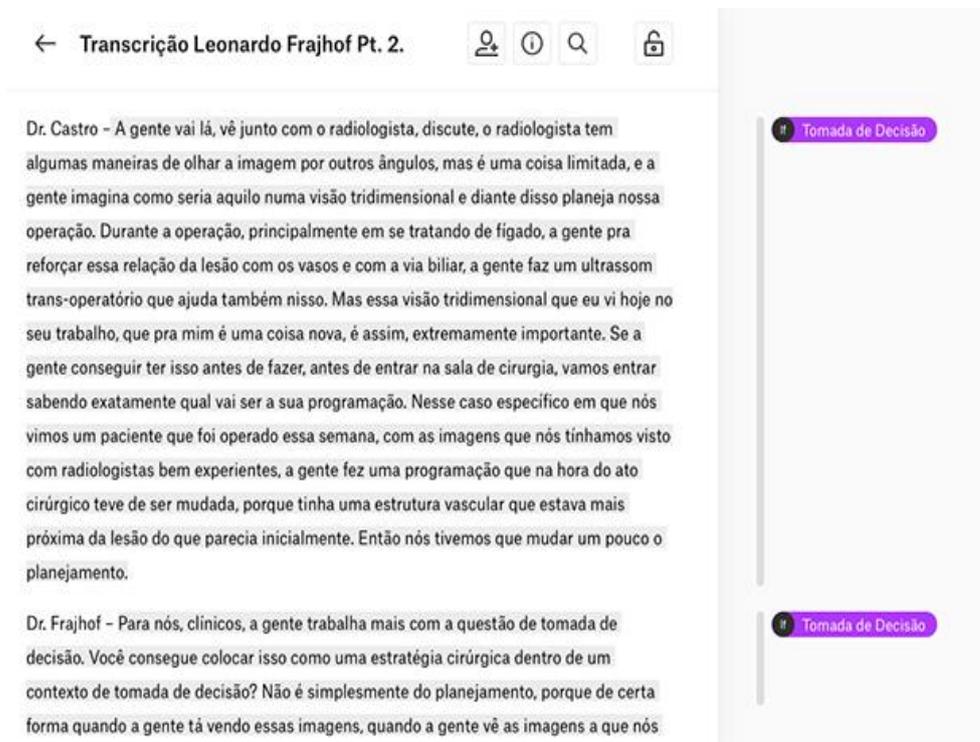


Figura 104 - Codificação bloco a bloco. Fonte: do autor.

Na primeira etapa da análise de dados, foram criados 17 códigos. Iniciei a análise interpretando cada código, transcrevendo o trecho que foi selecionado e codificado.

6.2.1

Bricolagem de técnicas

Este código se refere ao período de transição que estamos vivenciando na medicina. A partir dessa mistura de técnicas ou formas de fazer, unindo diferentes elementos, mudanças da prática podem ser identificadas. Os trechos selecionados revelam que a linguagem necessária para expressar o pensamento está incompleta. Podemos considerar que, nesta fase de transição, a imagem é diferente da linguagem, pois a linguagem não consegue carregar o significado e uma outra forma de comunicação se manifesta.

Isso acontece muito hoje em dia, quando a gente leva, ou tira e fotografa um espécime cirúrgico, e mostra para um radiologista que está vendo a tela. Ele aprende com isso. Eu acho que isso vai facilitar muito esse aprendizado do radiologista que está vendo a tela. (DALTON)

Mas enquanto não for, a gente conseguir estar olhando “bom, isso aqui é a lesão tomográfica, que corresponde a isso aqui”, pra ter uma segurança de que você não está vendo um eventual artefato, ou alguma coisa... quer dizer, ter uma boa tomografia trifásica, com contraste, para você saber que aquela reconstrução saiu daquele corte, daquela imagem.

O que acontece, às vezes, é que essas sequências, elas têm uma variação tissular um pouco menor, então não basta eu só fazer uma sequência isotrópica, a sequência 3D, que vai gerar aqueles modelos 3D, não basta eu só fazer essa sequência, tenho que ainda usar antigas em que me dê uma diferenciação tissular maior e que vai me ajudar no diagnóstico.(EDUARDO)

Na primeira citação, o movimento de levar a peça cirúrgica ou a foto ao radiologista revela, a meu ver, a intenção do cirurgião em melhorar o seu aprendizado e, de forma análoga, melhorar a compreensão do radiologista da imagem que foi apresentada anteriormente, visando melhorar a informação para uma próxima cirurgia.

Na segunda citação, quando o médico percebe a possibilidade de outra forma de visualização das imagens, a limitação do exame de imagem aparece. Ele busca encontrar correspondências entre o que o que ele viu ou pensa ser aquela imagem e busca outras técnicas para melhorar a informação, que, mesmo podendo ser otimizada, não diminui a incerteza.

A última citação caracteriza esta mudança que está em curso, apesar da melhoria das imagens e suas técnicas, o médico especialista não consegue pensar de forma totalmente diferente, precisa resgatar sua linguagem e cultura para avançar no conhecimento nas novas tecnologias 3D.

6.2.2

Contexto real.

Aqui a referência do código é como os médicos estão lidando com essa tecnologia 3D. Vou iniciar transcrevendo um texto que considero muito importante para compreender o potencial das tecnologias 3D de visualização:

Esse caminho da realidade virtual, ele veio através dos nossos estudos com a impressão 3D. Nós começamos a vislumbrar o estudo de patologias fetais, isso foi em 2007, que nós começamos a fazer os primeiros estudos, fazendo reconstrução 3D a partir de exames de tomografia computadorizada e ressonância magnética. Até então, era muito difícil esse uso nas ultrassonografias, que é o método de screening das más formações fetais, pela capacidade da aparelhagem da reconstrução 3D. Então a tomografia até então, tudo que se falava de impressão 3D vinha da tomografia e das outras áreas de conhecimento (egiptologia, museologia e tudo mais). Na área médica, também na área medicina interna e tudo mais. Agora, na área de medicina fetal, nada disso era desenvolvido porque tudo era muito centrado na tomografia. Então nós passamos a ver o seguinte, bom, vamos começar com a ressonância magnética, porque a ressonância vai me dar cortes também, e eu vou poder segmentar esses cortes. O grande problema, na época, é que os cortes eram espessos, então a minha qualidade de reconstrução para a impressão 3D era muito ruim. Então nós tivemos que trabalhar um

pouco com as empresas, e isso foi evoluindo muito rápido com as empresas de ressonância, para ver protocolos em que eu pudesse ter cortes mais finos, o mais próximo de 1mm possível, como tem na tomografia. E isso nós conseguimos com o tempo. Então em 2008 nós começamos a fazer a impressão 3D de fetos a partir da ressonância magnética. E logo depois começamos a correr no campo da ultrassonografia, que é o grande método, o método importante de screening. É a primeira barreira, o primeiro método de diagnóstico das malformações fetais. E com o tempo nós conseguimos também já segmentar a partir das aquisições volumétricas da ultrassonografia. Então isso tudo estava mais ou menos resolvido em termos de tecnologia em torno de 2009, 2010. A partir desses exames segmentados, nós começamos a colocar o seguinte: agora eu posso ter uma outra visualização de tudo isso segmentado que seja colocar os óculos de realidade virtual, a navegação virtual. Então se eu posso segmentar o feto e ter a visão dele externa e a parte interna, como por exemplo você segmentar as vias aéreas, eu posso ter uma visão endoscópica do feto. E a partir de 2011 nós começamos a navegar dentro das vias aéreas do feto. E isso passou a ser um fato muito importante, porque eu saí do campo do diagnóstico e passei a evoluir no campo de avaliação do prognóstico, isso é importante. Porque a medida que você vai evoluindo na imagem, aquela equipe multidisciplinar que te cerca, cirurgião, neonatologista, eles já não querem só o diagnóstico, eles querem saber o seguinte: eu sei que o feto tem um tumor, por exemplo, como é que ele vai nascer? Como vai ser a minha conduta no nascimento dele? E essa conduta, ela vai modificar em função do grau de penetração de um tumor, por exemplo, do posicionamento desse tumor, por exemplo. E se você mostra isso em cima de imagens reais, virtuais, né, mas muito reais, muito fidedignas, isso passa a ser muito interessante e isso dá uma segurança para essa equipe que vai receber esse feto. Então antes eu olhava uma imagem bidimensional em escala de cinza e agora eu tenho um modelo 3D colorido com todas as estruturas nas suas posições reais, e eu posso com um óculos de realidade virtual literalmente caminhar dentro das vias aéreas e ver a relação daquele tumor com as vias aéreas. E aí a conduta pós-natal, ela vai ser tomada em cima de imagens 100% fidedignas e isso dá uma segurança para essa equipe multidisciplinar muito grande. (HERON)

A partir do conhecimento destas tecnologias, descritas neste trecho, busquei entender como inserir estas técnicas na minha pesquisa e modificar a minha prática. A linha de pesquisa do Dr. Heron foi um referencial. Ele conseguia levar o conhecimento para sua prática diária:

E além disso a possibilidade de já empregar essa realidade nos atos cirúrgicos, então você vê que hoje nós temos cirurgias minimamente invasivas, e na minha área, na medicina fetal, em que nós já temos cirurgia intraútero, todo esse equipamento, toda essa possibilidade de aplicação é enorme.

A partir da minha pesquisa eu pude aplicar a tecnologia de visualização 3D na minha prática diária, em casos reais. Eu não tinha ainda o Meta 2, mas comecei a usar o M3DMIX no celular com RA e RV. A experiência foi produtiva, do ponto de vista científico assim como profissional: minha conjectura de pesquisa se confirmou, que a RA auxilia a tomada de decisão, publicamos um artigo, Dr. Rui aceitou participar do experimento com o ProVis3D e comecei a trabalhar com casos clínicos com o M3DMIX no meu consultório. Os relatos, o primeiro do Dr. Rui e o segundo do Dr. Dalton, registram nossa experiência após utilizar tecnologias 3D de visualização em casos reais do consultório:

Mas eu acho que como uma demonstração do paciente, falar ‘olha eu vou tirar um segmento,

porque o seu nódulo está situado a 2 cm de uma margem, a 2cm da outra, eu vou conseguir tirar a lesão toda, com isso eu vou tirar os linfáticos também’... para explicar esse tipo de procedimento, eu acho que sim.

É, com essa linguagem nova, primeiro a gente tem que se acostumar a ver essas imagens. E essa imagem vai refletir exatamente o que a gente vê no campo cirúrgico, que é um campo tridimensional. E isso é importante na decisão sim, porque em alguns casos isso impede uma cirurgia, ou retarda uma operação porque você tem que diminuir uma lesão, se não a lesão se torna irressecável e isso muda a estratégia cirúrgica em muitos casos. Então algumas imagens que eu vi com você hoje ali, eu acho impressionantes, é uma coisa que vem para ficar e que vai ajudar muito. Quem tiver acesso a isso vai ter uma possibilidade de programar muito mais os seus procedimentos, e principalmente de não fazer uma cirurgia em que você não possa ir até o fim. Você pode programar antes e saber até onde ir e vai evitar talvez alguns procedimentos desnecessários. Porque às vezes a gente no ato cirúrgico vê que aquilo é um pouco além do que se pensava e a cirurgia se torna impossível.(RUI)

As tecnologias 3D de visualização não são restritas a uma modalidade de cirurgia, a uma especialidade ou úteis apenas em casos cirúrgicos. Utilizar casos cirúrgicos para esta pesquisa me parece a melhor forma de avaliar a tomada de decisão na forma de diagnóstico e prognóstico, em um determinado período de tempo. Em estudos clínicos, a variável tempo de resolução do problema poderia inviabilizar a pesquisa.

6.2.3

Contribuição científica

Nesse código, eu selecionei a aceitação da técnica interativa pelos médicos usuários. No primeiro momento da codificação, quando selecionei os trechos, não estava interessado em fazer correlações a principio, selecionava o texto e codificava de acordo com o que eu pensava ser adequado. Analisando os códigos, vejo que na verdade este código diz respeito mais a contribuição técnica do que científica: “E aí a conduta pós-natal, ela vai ser tomada em cima de imagens 100% fidedignas e isso dá uma segurança para essa equipe multidisciplinar muito grande.” “E essa técnica do óculos, ela também é muito adequada para cirurgia torácica videoassistida.” “E o conhecimento anatômico prévio através de modelos tridimensionais como esses que estão sendo desenvolvidos ajuda fundamentalmente.” “E é uma coisa que eu achei espetacular ali, você segmenta tudo.” “Então eu posso pegar, tirar as artérias, separar as artérias do modelo, colocar separadas e virar de um lado pro outro e estudar aquilo ali. Eu posso tirar as artérias e um tumor junto, por exemplo, se eu for operar um tumor de pulmão, estudar a interação dela com a artéria.” “Então isso abre um campo na cirurgia fantástico, que eu passo a misturar o exame com o real, e o treinamento e tudo o mais.” “Eu fiquei

bastante impressionado com a técnica que vocês desenvolveram, ela permite que a gente visualize um modelo tridimensional de uma estrutura que a gente vai operar.”
 “Vai conseguir tudo que ele quiser do ponto de vista de planejamento terapêutico.”

Comecei a perceber que trechos selecionados neste código também foram selecionados para outros códigos, possibilitando que eu pudesse começar a criar, a partir da análise da recorrência de trechos selecionados, noções mais abrangentes. Dessa forma, nomear códigos erroneamente não seria um problema na análise, apenas a primeira etapa. Apresento estas noções na próxima sessão.

6.2.4

Entre sistemas linguísticos que interagem

Início a seleção dos registros com uma resposta a uma pergunta ao Dr. Rui. Na entrevista eu faço a pergunta provocativa: “Se tudo pode ser entendido pela imagem, por que precisamos dar nomes a ela? A imagem cria linguagem?”
 “Certamente. Visual, sim. Linguística eu acho que não. Já tem tudo definido, anatomia já definida, as artérias todas já têm nome, os brônquios já têm nome, os segmentos já tem nome... mas do ponto de vista visual, sem a menor sombra de dúvida.”

Para mim este trecho é importante pois responde uma questão recorrente durante a minha experimentação. Se tecnologias criam linguagem, isso não significa que a nova linguagem seja superior a anterior ou que seja complementar. Uma nova linguagem é uma camada que se sobrepõe a uma outra camada linguística, criando novas relações, comportamentos e conhecimento. Outras formas de comunicação emergem para compartilhar os novos conhecimentos.

O que eu achei muito interessante, foi como anteriormente, antes dos óculos, como que a gente fez uma forma de comunicação no WhatsApp.(LEONARDO)

Há uma curva de aprendizado para o cirurgião, até que você consiga passar aquelas imagens na sua cabeça e imaginar o que você vai encontrar na hora da operação.(EDUARDO)

Tomar uma decisão, que é uma coisa que é uma linguagem diferente, é uma linguagem visual e que inclusive é diferente do que a gente vê em cirurgia, a gente faz muito cirurgia juntos, eu acompanho as suas cirurgias, a anatomia cirúrgica ensina muito a gente. Então tem agora uma questão que você consegue ver isso antes da cirurgia. (LEONARDO)

6.2.5

Experiência

Aqui estão trechos que descrevem a experiência dos usuários.

Posteriormente, agrupei este código a um outro no ATLAS*ti* pela primeira vez no processo de codificação, pois acreditava que se tratasse da mesma classe, iniciando a categorização em noções. Este código representa as facilidades de uso e a utilidade da tecnologia. São os aspectos técnicos relacionados como modelo de aceitação da tecnologia (TAM), onde aceitação e o uso da tecnologia podem ser explicados em termos de crenças, atitudes e intenções internas de um usuário.

Os principais trechos codificados:

A gente vai lá, vê junto com o radiologista, discute, o radiologista tem algumas maneiras de olhar a imagem por outros ângulos, mas é uma coisa limitada, e a gente imagina como seria aquilo numa visão tridimensional e diante disso planeja nossa operação.” “Agora os óculos eu me senti super confortável para usar, não tive problema nenhum, acho que foi super tranquilo. (EDUARDO)

E nós vislumbramos, desde o início, primeiro a possibilidade da parte educacional. É uma maneira de você transferir para os seus alunos uma realidade mais aproximada daquilo, dos casos clínicos que nós estamos discutindo. E eu acho que ao longo desse desenvolvimento, foi muito bom na questão de ser uma interface de discussão multidisciplinar. Então alguns diagnósticos mais complexos a gente conseguiu trazer uma plataforma mais fácil para essa discussão. (HERON)

Ela permite que a gente visualize um modelo tridimensional de uma estrutura que a gente vai operar. (EDUARDO)

Eu achei os óculos confortáveis, nenhuma sensação desagradável, exceto talvez nos primeiro dez segundos, um pouquinho de adaptação, uma ligeira sensação de que você está meio fora do seu espaço, mas acho que o cérebro rapidamente se adequa àquilo.(EDUARDO)

“Eu acho que essa tecnologia encurta isso. Faz uma ponte direta para o 3D, de modo que eu acho que no futuro, quando estiver mais difundido e o software ainda melhor, acho que o cirurgião eventualmente vai trabalhar só com essa ferramenta. (EDUARDO)

E essa evolução veio ao longo dos anos com a qualidade da imagem cada vez melhor. Então eu vislumbro a realidade aumentada, eu vejo a realidade aumentada como, ainda dentro do campo de uma discussão multidisciplinar, isso é uma plataforma fantástica de você passar de uma maneira mais simples e didática e correta para as pessoas que estão discutindo com você uma determinada patologia.(HERON)

6.2.6 Fenômeno

Caracterizei este código para registrar as impressões marcantes dos usuários. Aqui aparecem questões técnicas e conjecturais:

E essa evolução veio ao longo dos anos com a qualidade da imagem cada vez melhor. Então eu vislumbro a realidade aumentada, eu vejo a realidade aumentada como, ainda dentro do campo de uma discussão multidisciplinar, isso é uma plataforma fantástica de você passar de uma maneira mais simples e didática e correta para as pessoas que estão discutindo com você uma determinada patologia. E além disso a possibilidade de já empregar essa realidade nos atos cirúrgicos, então você vê que hoje nós temos cirurgias minimamente invasivas, e na minha área, na medicina fetal, em que nós já temos cirurgia intraútero, todo esse equipamento, toda essa possibilidade de aplicação é enorme. (HERON)

Eu acho que o médico cirurgião vai precisar de um treinamento específico para usar os óculos. Não achei que foi fácil a interação com as imagens, porque foi a primeira vez, talvez

a segunda vez que tive essa interação e por um tempo muito pequeno. Mas eu acho que um treinamentozinho, de talvez uma hora, o médico vai ficar bastante familiarizado com aquilo ali e vai conseguir tudo que ele quiser do ponto de vista de planejamento terapêutico. Não vejo grandes melhorias a serem feitas nesse padrão de imagem que vocês já atingiram, não. (DALTON)

É, a computação revolucionou toda a medicina. Isso é uma coisa muito importante que seja dita, tudo vem do desenvolvimento da tecnologia computacional. E está sendo utilizado cada vez mais em cirurgia também, com grandes benefícios pro paciente. Ela ainda é um procedimento mais caro do que os outros, mas eu acho que quando você faz uma análise de custos, e isso é muito importante que seja dito, não se leva em conta o tempo de recuperação do paciente, a volta dele ao trabalho, nada disso é computado nas análises de custo. As análises de custo feitas hoje visam apenas o que você gastou pra fazer aquilo ali. O benefício social que essa cirurgia traz, isso não é computado. E isso aí que eu acho que é grande segredo e o grande objetivo da cirurgia minimamente invasiva. (RUI)

Esse último fragmento da entrevista do Dr. Rui, apesar de não estar diretamente relacionado com a pesquisa, contextualizou onde ocorre a mudança de paradigma na medicina, como exposto nos Capítulos 3 e 4 desta tese. A digitalização da informação criou uma nova linguagem e outra língua. Na Renascença, a matemática percorreu os diferentes campos do conhecimento, da perspectiva nas pinturas renascentistas ao telescópio de Galileu, criando a representação como espaço do conhecimento. Na Era da Informação, os bytes estão presentes em diferentes mídias, nas telas e coisas ao nosso redor. Do prontuário eletrônico à visualização das imagens, a informação vem em formato digital, permanece apenas analógico o médico que faz a leitura desta informação, com uma linguagem binária que adiciona uma camada digital para a interpretação do espaço ao seu redor .

6.2.7

Impacto da solução

Este é o código com maior número de trechos selecionados:

A linguagem mudou completamente. Você vê o seguinte, eu tenho mais de 30 anos de formado, eu tenho a minha especialidade faz seis anos, então eu trabalho na área de medicina fetal desde 94. As discussões na década de 90 eram discussões com uma linguagem completamente diferente. Você tinha aquelas imagens bidimensionais, então se perdia muito tempo em mostrar a patologia para a equipe multidisciplinar. Então por exemplo, eu estou lá com o cirurgião e tenho uma imagem bidimensional de um tumor cervical, um teratoma cervical. Eu tenho que ficar explicando para ele ‘olha, isso aqui é a região cervical, isso aqui é o tumor, esse tumor parece que está invadindo mais essa região aqui’ e o cirurgião fica olhando uma imagem bidimensional em escala de cinza, é muito mais complicado. Então a linguagem, ela muda a partir do momento que eu tenho uma imagem volumétrica daquilo ali. Aquilo ali é segmentado e transformado em modelos 3D que eu posso ver com realidade virtual ou realidade aumentada. Então na hora que eu começo a mostrar esse tumor e o grau de invasão do tumor, isso muda completamente para o cirurgião. Ele pode colocar um óculos e vai ver nitidamente se existe uma invasão ou não das áreas nobres da região cervical, entendeu? Eu estou economizando tempo, porque não preciso explicar onde está o tumor, onde estão as vias aéreas, porque é óbvio ali, a imagem é nítida, e a qualidade dessa discussão,

ela é impressionante. Então eu acho que hoje, a maneira de discussão multidisciplinar é num formato de linguagem completamente diferente de alguns anos atrás. (HERON)

Acho que a interação, do mesmo jeito, é muito interessante, eu nunca tinha feito isso antes. Achei muito interessante você poder adicionar estruturas, tirar estruturas vasculares e virar a peça no espaço.” “Bom, eu sou radiologista, né? Trabalho com imagens, com o pós-processamento dessas imagens, e eu acho que esse tipo de tecnologia veio para agregar muito valor para a gente. Para todo mundo, né? (VITOR)

E acho que a gente está sempre tentando melhorar a nossa comunicação com o médico assistente. E acho que essa ferramenta é fundamental para isso.” “E essa imagem vai refletir exatamente o que a gente vê no campo cirúrgico, que é um campo tridimensional.(VITOR)

E logo depois começamos a correr no campo da ultrassonografia, que é o grande método, o método importante de screening. É a primeira barreira, o primeiro método de diagnóstico das malformações fetais. E com o tempo nós conseguimos também já segmentar a partir das aquisições volumétricas da ultrassonografia. Então isso tudo estava mais ou menos resolvido em termos de tecnologia em torno de 2009, 2010. A partir desses exames segmentados, nós começamos a colocar o seguinte: agora eu posso ter uma outra visualização de tudo isso segmentado que seja colocar os óculos de realidade virtual, a navegação virtual. (HERON)

E muitos deles não usam mais console, usam televisão com 3D e alguns desses projetos usam óculos para você visualizar, o que é muito interessante. Eu vejo isso como um grande avanço, principalmente no ensino da cirurgia. (RUI)

E o conhecimento anatômico prévio através de modelos tridimensionais como esses que estão sendo desenvolvidos ajuda fundamentalmente. (RUI)

E é uma coisa que eu achei espetacular ali, você segmenta tudo. (DALTON)

Ele pode colocar um óculos e vai ver nitidamente se existe uma invasão ou não das áreas nobres da região cervical, entendeu? Eu estou economizando tempo, porque não preciso explicar onde está o tumor, onde estão as vias aéreas.(HERON)

Então algumas imagens que eu vi com você hoje ali, eu acho impressionantes, é uma coisa que vem para ficar e que vai ajudar muito. Quem tiver acesso a isso vai ter uma possibilidade de programar muito mais os seus procedimentos, e principalmente de não fazer uma cirurgia em que você não possa ir até o fim. (DALTON)

Então antes eu olhava uma imagem bidimensional em escala de cinza e agora eu tenho um modelo 3D colorido com todas as estruturas nas suas posições reais, e eu posso com um óculos de realidade virtual literalmente caminhar dentro das vias aéreas e ver a relação daquele tumor com as vias aéreas. (HERON)

Então ele poder interagir com essa imagem que você processou, hoje isso é fantástico. (VITOR)

Então eu pego a tomografia, e na minha concepção 3D eu desenho para ele entender o que vai ser feito. Se tiver isso na frente dele, colorido, que ele possa rodar e você possa dar uma mini aula ali, vai ser muito bom.” “Eu achei extremamente interessante porque nós, cirurgiões, a gente está acostumado a ter a necessidade de pensar de uma maneira tridimensional. (EDUARDO)

Então eu posso pegar, tirar as artérias, separar as artérias do modelo, colocar separadas e virar de um lado pro outro e estudar aquilo ali. Eu posso tirar as artérias e um tumor junto, por exemplo, se eu for operar um tumor de pulmão, estudar a interação dela com a artéria. (RUI)

Então eu tenho uma sensação de profundidade muito boa, isso me permite a dissecação das estruturas com muito mais precisão. (RUI)

Então o que melhorou eu acho que é justamente a informação. Eu entrego uma informação para ele que ele pode olhar e analisar, e me ligar “olha, você escreveu isso no laudo...” — que antes ele tinha um laudo, com umas imagens impressas e ficava meio refém do que a gente falava. Mas eu tô vendo isso aqui então a gente interage e eu falo “não, eu escrevi isso por que tem essa imagem, roda um pouquinho para você poder ver”. Então acho que a informação tá sendo muito melhor dada pro cirurgião, acho que isso melhorou.(VITOR)

Eu achei extremamente interessante porque nós, cirurgiões, a gente está acostumado a ter a necessidade de pensar de uma maneira tridimensional, e a gente tem que fazer um exercício,

na radiologia, vendo a imagem em 2D com o radiologista e há um treinamento, há uma curva de aprendizado para o cirurgião, até que você consiga passar aquelas imagens na sua cabeça e imaginar o que você vai encontrar na hora da operação. Eu acho que essa tecnologia encurta isso. (EDUARDO)

Eu acho que essa tecnologia encurta isso. Faz uma ponte direta para o 3D, de modo que eu acho que no futuro, quando estiver mais difundido e o software ainda melhor, acho que o cirurgião eventualmente vai trabalhar só com essa ferramenta. Não vai precisar mais quebrar a cabeça com o radiologista para tentar aprender um pouco de radiologia para poder então programar sua operação. (EDUARDO)

Eu acho que essa visão tridimensional pode melhorar muito a avaliação da tela.” “Eu comentei com você na época, eu achei os óculos fantásticos. (VITOR)

Exatamente, ali eu posso passar minha impressão real, sugerir uma invasão de uma estrutura ou não, que talvez às vezes pelo laudo fique um pouco mais complicado de a gente falar. (VITOR)

Existem algumas estratégias para você aumentar esse fígado, por exemplo se uma lesão ocupa todo o lobo direito do fígado, abraça os vasos e mantém só o lobo e esse lobo esquerdo é um lobo esquerdo pequeno, você tem artifícios médicos, embolizações segmentares, para fazer com que haja um aumento do lado esquerdo antes da cirurgia e esse paciente se torne operável. E essas imagens, do meu ponto de vista, vão ajudar muito nessa decisão. (DALTON)

Cada fragmento deste código é uma parte da evidência da questão central desta tese, revelando e desvelando nossa conjectura: que essa tecnologia de visualização realmente cria uma linguagem que possibilita aos médicos produzirem novos conhecimentos. Analisando o código, percebo que em cada resposta o usuário usa a primeira pessoa para responder a minha questão, revelando que o ProVis3D conseguiu reproduzir a minha intenção na pesquisa, fazendo o usuário reproduzir a minha experiência e questionamento, produzindo os dados necessários para minha pesquisa.

6.2.8

Incertezas.

Este código identifica os trechos relacionados com o problema em contexto e como o ProVis3D auxilia a decisão ou diminui o grau de incerteza:

E isso é importante na decisão sim, porque em alguns casos isso impede uma cirurgia, ou retarda uma operação porque você tem que diminuir uma lesão, se não a lesão se torna irrisecável e isso muda a estratégia cirúrgica em muitos casos. Então algumas imagens que eu vi com você hoje ali, eu acho impressionantes, é uma coisa que vem para ficar e que vai ajudar muito. Quem tiver acesso a isso vai ter uma possibilidade de programar muito mais os seus procedimentos, e principalmente de não fazer uma cirurgia em que você não possa ir até o fim. Você pode programar antes e saber até onde ir e vai evitar talvez alguns procedimentos desnecessários. Porque às vezes a gente no ato cirúrgico vê que aquilo é um pouco além do que se pensava e a cirurgia se torna impossível. (DALTON)

E vai aumentar a segurança de que a gente está entendendo aquilo de maneira correta, porque você vendo a tomografia e imaginando, você não sendo radiologista que está vendo aquilo todo dia, de vez em quando você sai com uma impressão tridimensional que não é exatamente

a que corresponde ao que a gente vê na hora da operação. Às vezes a tomada de decisão que deveria ser pré-operatória em quase 100% dos casos, muitas vezes torna-se intraoperatória, o que é muito mais complicado..(DALTON)

Nesse caso específico em que nós vimos um paciente que foi operado essa semana, com as imagens que nós tínhamos visto com radiologistas bem experientes, a gente fez uma programação que na hora do ato cirúrgico teve de ser mudada, porque tinha uma estrutura vascular que estava mais próxima da lesão do que parecia inicialmente. Então nós tivemos que mudar um pouco o planejamento. (DALTON)

Se a gente conseguir ter isso antes de fazer, antes de entrar na sala de cirurgia, vamos entrar sabendo exatamente qual vai ser a sua programação.(EDUARDO)

É, a gente tem a rotina. Esses exames muitas vezes mostram, e quando mostram uma invasão, uma coisa muito extensa, isso é um fato. Agora, quando não mostra, às vezes você tem surpresas negativas no ato cirúrgico. E eu acho que com essas imagens aqui, a gente vai diminuir muito essas surpresas negativas. Você vai entrar sabendo exatamente o que vai fazer. (DALTON)

Frequentemente, a tomada de decisão ocorre em um contexto de incertezas diagnósticas e o médico necessita de uma série de recursos materiais e imateriais para obter informação de valor que possa auxiliar a sua decisão diagnóstica. O ProVis3D aparece aqui como uma técnica de apoio ao diagnóstico, planejamento cirúrgico e com potencial de diminuir a incerteza. A impressão é que o artefato complementa uma informação que está ausente e se torna presente durante o procedimento, indicando que o artefacto pode ser uma técnica útil na propedêutica clínica.

6.2.9 Informação

As duas citações são do mesmo usuário, o radiologista, importante citar para relacionar o código com o usuário. Podemos supor que dar uma informação de valor é importante para ele e o ProVis3D agrega valor.

Eu entrego uma informação para ele que ele pode olhar e analisar, e me ligar : (..) olha, você escreveu isso no laudo... — que antes ele tinha um laudo, com umas imagens impressas e ficava meio refém do que a gente falava.

Mas eu to vendo isso aqui então a gente interage e eu falo ‘não, eu escrevi isso por que tem essa imagem, roda um pouquinho para você poder ver’. Então acho que a informação tá sendo muito melhor dada pro cirurgião, acho que isso melhorou.

Aqui há um código com citações reduzidas. Porém pela importância do usuário que expressa esta opinião, o radiologista geral Dr. Vitor, que possui uma linguagem própria e que intermedia as informações entre diferentes especialistas, compartilhando seus pensamentos nas conversas e documentando suas palavras através do laudo escrito, perceber o potencial das tecnologias 3D, por este usuário,

necessita um registro próprio para marcar esta nova fronteira do conhecimento.

6.2.10 Interação

Considero a interação tátil com o modelo 3D importante para melhorar a informação visual e a codificação de trechos, revela isso:

Além disso, o robô, ele tem o movimento da pinça similar ao movimento da mão humana, então isso ajuda muito. (RUI)

Então conhecer a anatomia antes do procedimento cirúrgico, poder interagir com ela, da forma que é possível fazer com o uso do óculos é fundamental no planejamento de um procedimento cirúrgico atual.(RUI)

Então isso eu acho que isso vai trazer uma facilidade muito grande e vai deixar o nosso gesto cada vez mais seguro.(HERON)

Eu acho que o médico cirurgião vai precisar de um treinamento específico para usar os óculos. Não achei que foi fácil a interação com as imagens, porque foi a primeira vez, talvez a segunda vez que tive essa interação e por um tempo muito pequeno. Mas eu acho que um treinamentozinho, de talvez uma hora, o médico vai ficar bastante familiarizado com aquilo ali e vai conseguir tudo que ele quiser do ponto de vista de planejamento terapêutico. (RUI)

O Eduardo estava falando aqui agora que a gente manda uma imagem normalmente impressa de uma reconstrução tridimensional, e ele não pode interagir com essa imagem. (VITOR)

O que eu achei da praticidade, acho que tem a questão de você usar a mão para rodar, de vez em quando o comando não responde tão rapidamente. Demora um pouquinho para você entender que tem que fechar a mão para acionar o botão, mas acho que isso também é rapidamente assimilado. Talvez com a melhoria do software... algumas vezes tive que apertar duas, três vezes para que ele respondesse, talvez isso pudesse ficar mais rápido. (EDUARDO)

Em resposta à minha pergunta “Quer dizer, a gente tem uma dificuldade de interação, né, e você acha que ele te facilita alguma coisa? Vamos pensar disso como uma tecnologia de visualização, te facilita alguma coisa?”, Dr. Haddad respondeu: “Muito, facilita muito”.

A visualização com interação, com a sensação tátil, do modelo 3D melhora o entendimento, da mesma forma que o toque e a palpação produzem conhecimento no exame físico do paciente. O exame físico é a parte fundamental da propedêutica clínica, é o momento de interação e empatia do médico com o paciente. Não seria válido dizer que o ProVis3D simula o toque do médico, pois a percepção não é o único fato envolvido no toque, mas podemos especular que a sensação de tocar as imagens produz uma percepção sensorial que vincula a imagem ao paciente, como pensamento ou sensação.

6.2.11 Linguística

Este código tem relação direta com minhas conjecturas teórica. Interessante notar as diferenças entre os trechos deste código e o código 4, comparando a seleção dos trechos:

Acho que a gente está sempre tentando melhorar a nossa comunicação com o médico assistente. (VITOR)

Bom, eu sou radiologista, né? Trabalho com imagens, com o pós-processamento dessas imagens, e eu acho que esse tipo de tecnologia veio para agregar muito valor para a gente. Para todo mundo, né? Na interação dos médicos de diferentes especialidades. (VITOR)

Como é que você vê essa conversa, muito comum, essa conversa do radiologista, junto com o médico clínico ou com o cirurgião, você vê se tem algum impacto, você tem uma conversa diferente? (LEONARDO)

E eu acho que ao longo desse desenvolvimento, foi muito bom na questão de ser uma interface de discussão multidisciplinar. (HERON)

Então eu vislumbro a realidade aumentada, eu vejo a realidade aumentada como, ainda dentro do campo de uma discussão multidisciplinar, isso é uma plataforma fantástica de você passar de uma maneira mais simples e didática e correta para as pessoas que estão discutindo com você uma determinada patologia. (HERON)

Então o que melhorou eu acho que é justamente a informação. Eu entrego uma informação para ele que ele pode olhar e analisar, e me ligar “olha, você escreveu isso no laudo...” — que antes ele tinha um laudo, com umas imagens impressas e ficava meio refém do que a gente falava.

Então por exemplo, tumorações em fetos e a discussão com o cirurgião, a discussão com neonatologistas, eu acho que isso vai ficando mais fácil. (HERON)

Então se eu posso segmentar o feto e ter a visão dele externa e a parte interna, como por exemplo você segmentar as vias aéreas, eu posso ter uma visão endoscópica do feto. E a partir de 2011 nós começamos a navegar dentro das vias aéreas do feto. E isso passou a ser um fato muito importante, porque eu saí do campo do diagnóstico e passei a evoluir no campo de avaliação do prognóstico, isso é importante. Porque a medida que você vai evoluindo na imagem, aquela equipe multidisciplinar que te cerca, cirurgião, neonatologista, eles já não querem só o diagnóstico, eles querem saber o seguinte: eu sei que o feto tem um tumor, por exemplo, como é que ele vai nascer? Como vai ser a minha conduta no nascimento dele? E essa conduta, ela vai modificar em função do grau de penetração de um tumor, por exemplo, do posicionamento desse tumor, por exemplo. E se você mostra isso em cima de imagens reais, virtuais, né, mas muito reais, muito fidedignas, isso passa a ser muito interessante e isso dá uma segurança para essa equipe que vai receber esse feto. Então antes eu olhava uma imagem bidimensional em escala de cinza e agora eu tenho um modelo 3D colorido com todas as estruturas nas suas posições reais, e eu posso com um óculos de realidade virtual literalmente caminhar dentro das vias aéreas e ver a relação daquele tumor com as vias aéreas. E aí a conduta pós-natal, ela vai ser tomada em cima de imagens 100% fidedignas e isso dá uma segurança para essa equipe multidisciplinar muito grande. (HERON)

“Então, só o cirurgião vê a cirurgia em 3D, os auxiliares não veem a cirurgia em 3D. Eu acho que com o uso do óculos todo mundo vai poder ver a cirurgia em 3D, e é para lá que estamos evoluindo. (RUI)

Está entendendo aquilo de maneira correta, porque você vendo a tomografia e imaginando, você não sendo radiologista que está vendo aquilo todo dia. (EDUARDO)

“Eventualmente até ter que desenhar para você entender qual é a relação tridimensional daquilo, vai queimar essa etapa, vai ficar uma coisa muito mais rápida pra gente. (EDUARDO)

Exatamente, ali eu posso passar minha impressão real, sugerir uma invasão de uma estrutura ou não, que talvez às vezes pelo laudo fique um pouco mais complicado de a gente falar. (VITOR)

Mas eu acho que como uma demonstração do paciente, falar ‘olha eu vou tirar um segmento, porque o seu nódulo está situado a 2 cm de uma margem, a 2cm da outra, eu vou conseguir tirar a lesão toda, com isso eu vou tirar os linfáticos também’... para explicar esse tipo de procedimento, eu acho que sim. (RUI)

Não é simplesmente do planejamento, porque de certa forma quando a gente tá vendo essas imagens, quando a gente vê as imagens a que nós estamos acostumados, na tela ou nas radiografias, ela tem uma linguagem que nos é comum. E a impressão que eu tenho é que isso é um outro tipo de linguagem. (DALTON)

O Eduardo estava falando aqui agora que a gente manda uma imagem normalmente impressa de uma reconstrução tridimensional, e ele não pode interagir com essa imagem. Então ele poder interagir com essa imagem que você processou, hoje isso é fantástico. Porque é exatamente isso, ele pode estar olhando a imagem ali num momento, me ligar, e a gente olhar simultaneamente, eu de um lado, ele do outro, em ambientes diferentes, e discutir aquela imagem, aquele exame, aquele paciente. (VITOR)

Linguística eu acho que não. Já tem tudo definido, anatomia já definida, as artérias todas já tem nome, os brônquios já tem nome, os segmentos já tem nome... mas do ponto de vista visual, sem a menor sombra de dúvida. (RUI)

Marcando como recorrência, este último registro nos leva para a questão teórica central desta pesquisa: a técnica interativa de visualização tridimensional em ambientes virtuais cria uma linguagem que possibilita aos médicos conversarem de um modo diferente e sobre coisas com as quais não estavam habituados.

6.2.12

Protocolos e recomendações

Este código representa a concepção que para o ProVis3D funcionar no futuro como propedêutica clínica será necessário mudar protocolos e técnicas radiológicas. Recomendações dizem respeito à possibilidade de o ProVis3D ser uma técnica de rotina na avaliação clínica: “Agora dentro dos protocolos nas outras áreas o que eu vejo, cada vez mais, essas sequências isotrópicas são utilizadas.”

O que acontece, às vezes, é que essas sequências, elas têm uma variação tissular um pouco menor, então não basta eu só fazer uma sequência isotrópica, a sequência 3D, que vai gerar aqueles modelos 3D, não basta eu só fazer essa sequência, tenho que ainda usar antigas em que me dê uma diferenciação tissular maior e que vai me ajudar no diagnóstico. (HERON)

Então nós tivemos que trabalhar um pouco com as empresas, e isso foi evoluindo muito rápido com as empresas de ressonância, para ver protocolos em que eu pudesse ter cortes mais finos, o mais próximo de 1mm possível, como tem na tomografia. (HERON)

Faço isso na minha workstation. Então, a partir disso eu entregaria a imagem impressa para o médico assistente, para o cirurgião. Mas aí hoje, essas máscaras eles já enviam para o programa, e ele mesmo processa e já cria essa imagem de Realidade Aumentada, essa imagem tridimensional dinâmica que o cirurgião vai poder manipular. (VITOR)

Na verdade, assim, para a gente, processar esse tipo de imagem e entregar a Realidade Aumentada não mudou muito. Porque a gente faz os exames do paciente, e a partir das imagens que a gente adquire a gente leva para uma workstation, faz o processamento dessas imagens, e essas imagens pós-processadas a gente já vai criando mascaras. (VITOR)

No processamento em si, talvez não mude tanto. Não impacta tanto na nossa rotina. (VITOR)

Os equipamentos, eles tem evoluído muito rápido. Então, sim, os protocolos mudaram. Por exemplo, na minha área, eu não tinha sequências isotrópicas para a reconstrução 3D. E a partir do momento desses estudos nós passamos a adotar, dentro da nossa rotina, as sequências isotrópicas. E isso foi muito importante, porque eu posso estudar esses volumes novamente, dentro de casos complexos. Alguma coisa que você achava que fosse, e nasceu e era um pouco diferente, passa a ser uma curva de aprendizado porque eu posso voltar nesses volumes e estudar novamente. Isso é fantástico. Além disso, esses volumes passam a ser um domínio educacional, que também é muito bom. Agora dentro dos protocolos nas outras áreas o que eu vejo, cada vez mais, essas sequências isotrópicas são utilizadas. E isso é importante, são imagens que vão nos permitir a gente reconstruir aquilo em 3D. O que acontece, às vezes, é que essas sequências, elas têm uma variação tissular um pouco menor, então não basta eu só fazer uma sequência isotrópica, a sequência 3D, que vai gerar aqueles modelos 3D, não basta eu só fazer essa sequência, tenho que ainda usar antigas em que me dê uma diferenciação tissular maior e que vai me ajudar no diagnóstico. Sem dúvida essas sequências estão cada vez mais aperfeiçoadas e possibilitando modelos, dando a possibilidade de modelos cada vez mais reais. Porque de uma certa forma, você tem uma rotina de exames complementares antes de você operar. (DALTON)

Sem dúvida essas sequências estão cada vez mais aperfeiçoadas e possibilitando modelos, dando a possibilidade de modelos cada vez mais reais. (HERON)

Vai conseguir tudo que ele quiser do ponto de vista de planejamento terapêutico. (HERON)

Você pode programar antes e saber até onde ir e vai evitar talvez alguns procedimentos desnecessários. Porque às vezes a gente no ato cirúrgico vê que aquilo é um pouco além do que se pensava e a cirurgia se torna impossível. (DALTON)

Uma nova cultura médica emerge com as tecnologias de visualização 3D. Novos protocolos de aquisição serão necessários para aquisição das imagens, criação de algoritmos para processamento automático serão criados e outros dispositivos para visualização das imagens serão desenvolvidos. Ambientes virtuais para discussão de casos clínicos necessitam ser projetados para que equipes multidisciplinares possam discutir casos complexos, cada um em seu local de trabalho. E operar à distancia não será mais apenas uma prova de conceito, será rotina. Os médicos pensam assim, pois os novos conhecimentos permitem a eles falar sobre isso, e a tecnologia propicia estes pensamentos. O ProVis3D representa nesta pesquisa estas intenções do pesquisador, que busca suas evidências.

6.2.13

Robótica

Robótica é um código que remete à transformação digital e trabalhos futuros. Localiza-se na mudança de paradigma que a RA esta inserida; mudança da visualização 2D para 3D. Robótica e RA caminham juntas na mesma dimensão do

paradigma da mudança. Novas técnicas trazem novos conhecimentos.

Bom, vindo isso na perspectiva de futuro nós temos talvez duas centenas de modelos de robôs sendo produzidos. Já temos um autorizado pela FDI, dos Estados Unidos, que é modular. Então o que eu acho importante de explicar, é que hoje todas as cirurgias devem ser feitas com técnicas minimamente invasivas, que são técnicas que sangram menos, causam menos dor no paciente, causam menos infecção, o paciente recupera-se muito mais rápido... e entre as cirurgias minimamente invasivas nós temos a vídeo, que vem desde a década de 90, ou até de 80... 90 foi a parte torácica, 80 foi a parte abdominal. E a cirurgia robótica, que é uma cirurgia mais recente. E esses robôs estão evoluindo de forma muito rápida, como toda a tecnologia que a gente vem acompanhando nos últimos anos. O DaVinci, que é o robô que existe hoje, ele é uma plataforma única, todos os braços saem de um mesmo pedestal, por assim dizer. Mas é realmente espetacular, é mesmo muito prático e tem que se fazer um treinamento específico para aquilo ali. Mas os robôs que vêm aí eles são braços independentes que você pode colocar em qualquer lugar dentro da sala de cirurgia. Então você coloca um braço do lado direito e o outro do lado esquerdo do paciente, um braço pode entrar pela cabeça e o outro braço entrar por baixo, e isso facilita muito o procedimento cirúrgico e é muito melhor do que se você operar com uma estrutura fixa. Então o que vem por aí é uma coisa extraordinária, que eu acho que vai impactar muito nos resultados da cirurgia e hoje, a parte de cirurgia torácica por exemplo, já tem trabalhos mostrando que a cirurgia robótica tem um índice de cura maior do que a cirurgia de vídeo, maior ainda do que a cirurgia aberta, por várias razões técnicas que o robô, como uma estrutura de alta tecnologia, permite que nós utilizemos.

Cirurgia torácica robótica, e a cirurgia robótica, ela permite que a gente veja o campo cirúrgico em três dimensões. Então eu tenho uma sensação de profundidade muito boa, isso me permite a dissecação das estruturas com muito mais precisão. Além disso, o robô, ele tem o movimento da pinça similar ao movimento da mão humana, então isso ajuda muito. E o conhecimento anatômico prévio através de modelos tridimensionais como esses que estão sendo desenvolvidos ajuda fundamentalmente. Eu vivi todas as etapas da medicina, tenho mais de cinquenta anos de medicina. Então eu vi tudo, a evolução da medicina desde a cirurgia aberta, a fase das 'grandes incisões, grandes cirurgias', que é o que se dizia na década de 70, até hoje onde a gente opera qualquer coisa com quatro incisões de 8mm e uma incisão de 11mm, que é o que se usa na cirurgia robótica. Passando pela vídeo, também, que é ainda uma grande arma na cirurgia moderna. Vídeo não está acabada por causa da robótica, elas duas se complementam. E essa técnica do óculos, ela também é muito adequada para cirurgia torácica videoassistida. (RUI)

O desenvolvimento da visualização 3D acompanha o desenvolvimento da robótica e que no future as duas tecnologias vão se combinar, uma absorvendo o conhecimento da outra produzindo informação de maior valor e incremento exponencial das duas tecnologias.

6.2.14

Tomada de decisão

Este código resalta problema em contexto e as possibilidades que o ProVis3D apresenta para apoio à decisão.

A gente vai lá, vê junto com o radiologista, discute, o radiologista tem algumas maneiras de olhar a imagem por outros ângulos, mas é uma coisa limitada, e a gente imagina como seria aquilo numa visão tridimensional e diante disso planeja nossa operação. Durante a operação,

principalmente em se tratando de fígado, a gente pra reforçar essa relação da lesão com os vasos e com a via biliar, a gente faz um ultrassom trans-operatório que ajuda também nisso. Mas essa visão tridimensional que eu vi hoje no seu trabalho, que pra mim é uma coisa nova, é assim, extremamente importante. Se a gente conseguir ter isso antes de fazer, antes de entrar na sala de cirurgia, vamos entrar sabendo exatamente qual vai ser a sua programação. Nesse caso específico em que nós vimos um paciente que foi operado essa semana, com as imagens que nós tínhamos visto com radiologistas bem experientes, a gente fez uma programação que na hora do ato cirúrgico teve de ser mudada, porque tinha uma estrutura vascular que estava mais próxima da lesão do que parecia inicialmente. Então nós tivemos que mudar um pouco o planejamento. (DALTON)

Interessante perceber que um usuário iniciante se sente tão seguro com a tecnologia que dispensaria seu exame transoperatório. A relação do campo cirúrgico com a visualização 3D é simétrica e representa de forma fidedigna, para o que é proposto como precisão nesta forma de visualização, o que ocorre no campo cirúrgico. Existe uma correlação entre a imagem e o pensamento representacional do campo cirúrgico, que diminui as incertezas na tomada de decisão.

Discutir conduta, tirar dúvida... eu acho que isso agrega para o paciente. E eu acho que o foco principal é o paciente. Agrega muito valor na conduta que vai ser tomada, na facilidade que ele vai ter para executar o procedimento. (VITOR)

E isso é importante na decisão sim, porque em alguns casos isso impede uma cirurgia, ou retarda uma operação porque você tem que diminuir uma lesão, se não a lesão se torna irressecável e isso muda a estratégia cirúrgica em muitos casos. (DALTON)

Então o que melhorou eu acho que é justamente a informação. (VITOR)

Eu achei extremamente interessante porque nós, cirurgiões, a gente está acostumado a ter a necessidade de pensar de uma maneira tridimensional, e a gente tem que fazer um exercício, na radiologia, vendo a imagem em 2D com o radiologista e há um treinamento, há uma curva de aprendizado para o cirurgião, até que você consiga passar aquelas imagens na sua cabeça e imaginar o que você vai encontrar na hora da operação. (EDUARDO)

Eu acho que essa visão tridimensional pode melhorar muito a avaliação da tela. Você pode diminuir os erros que acontecem na tela plana, na medida em que você puder comparar a tela plana com a parte tridimensional. (EDUARDO)

Pensar de uma maneira tridimensional relaciona aqui a habilidade cognitiva com a ação desenvolvida. Pensar a imagem significa planejar a sua atividade, de que forma agir e avaliar a estratégia. Com ProVis3D o médico tem imagem direta, sem esforço cognitivo e ainda pode interagir com a imagem, o que significa simular a sua ação. Para o usuário essa tecnologia pode diminuir o erro, auxilia a tomada de decisão.

Isso eu acho que tem grande impacto no planejamento da cirurgia. Basicamente, o impacto que eu vejo nisso, ele serve tanto para diagnóstico quanto para tratamento, porque é muito importante a gente saber a localização da lesão quando for fazer um procedimento cirúrgico. (DALTON)

Mas eu acho que esse óculos é para a gente estudar isso antes. (DALTON)

O Eduardo estava falando aqui agora que a gente manda uma imagem normalmente impressa

de uma reconstrução tridimensional, e ele não pode interagir com essa imagem. Então ele poder interagir com essa imagem que você processou, hoje isso é fantástico. Porque é exatamente isso, ele pode estar olhando a imagem ali num momento, me ligar, e a gente olhar simultaneamente, eu de um lado, ele do outro, em ambientes diferentes, e discutir aquela imagem, aquele exame, aquele paciente. Discutir conduta, tirar dúvida...(VITOR)

O que eu gostaria de testar eu acho que numa próxima etapa é você projetar essa imagem dos óculos num paciente. Acho que isso também para o médico assistente vai trazer muito valor, ele chegar ali no consultório dele e ele vai mostrar a imagem. (VITOR)

No estudo piloto que guiou esta pesquisa, nós projetamos a imagem sobre o corpo do paciente durante a cirurgia. Dr. Rui (ver o apêndice das entrevistas) achou que a projeção não adicionou valor a sua propedêutica pré-operatória. No caso, sobrepor a imagem no corpo não modificou a sua conduta cirúrgica, seu campo de visão já estava determinado, o local da incisão para colocar os equipamentos óticos para cirurgia videoassistida não seriam modificados. Revendo esta questão, não vejo isso não seja uma verdade absoluta, talvez haja alguma usabilidade em projetar a imagem sobre o corpo em determinadas cirurgias. A própria literatura sobre RA confirma esta reflexão.

Olha, Leonardo, quando a gente vai fazer uma cirurgia num órgão complexo e com várias estruturas, como por exemplo é o fígado, que é o caso em questão, a gente tem que fazer um estudo muito detalhado das imagens prévias em relação a estudar a relação dessa lesão com os vasos, com a via biliar, e planejar a cirurgia. Isso é uma coisa muito importante em qualquer procedimento nessa situação. Na maioria das vezes, esse planejamento é feito diante de uma tela de radiografia ou ressonância num plano bidimensional, num plano reto. (DALTON)

Porque a medida que você vai evoluindo na imagem, aquela equipe multidisciplinar que te cerca, cirurgião, neonatologista, eles já não querem só o diagnóstico, eles querem saber o seguinte: eu sei que o feto tem um tumor, por exemplo, como é que ele vai nascer? Como vai ser a minha conduta no nascimento dele? E essa conduta, ela vai modificar em função do grau de penetração de um tumor, por exemplo, do posicionamento desse tumor, por exemplo. E se você mostra isso em cima de imagens reais, virtuais, né, mas muito reais, muito fidedignas, isso passa a ser muito interessante e isso dá uma segurança para essa equipe que vai receber esse feto. (HERON)

Sim, sim. E vai aumentar a segurança de que a gente está entendendo aquilo de maneira correta, porque você vendo a tomografia e imaginando, você não sendo radiologista que está vendo aquilo todo dia, de vez em quando você sai com uma impressão tridimensional que não é exatamente a que corresponde ao que a gente vê na hora da operação. (EDUARDO)

Às vezes a tomada de decisão que deveria ser pré-operatória em quase 100% dos casos, muitas vezes torna-se intraoperatória, o que é muito mais complicado. (DALTON)

Entender a imagem, pensar as relações anatômicas e visualizar as imagens da forma que elas realmente são auxilia a tomada de decisão, a habilidade cognitiva auxilia a pensar qual ação deverá ser tomada e possibilita a expressão deste pensamento para a equipe multidisciplinar que atua no caso. Outra cultura emerge com as novas tecnologias tridimensionais.

6.2.15 Trabalhos futuros

Aqui a codificação teve a intenção de prospectar trabalhos futuros:

A gente já está aqui olhando para estruturas virtuais, em que você pode interagir com essas estruturas e vê-las em cima do paciente, posicioná-las no paciente. Então isso abre um campo na cirurgia fantástico, que eu passo a misturar o exame com o real, e o treinamento e tudo o mais. Agora eu ainda acho que a gente precisa avançar nesse ajuste fino dos controles dessas imagens.

A pessoa que está vendo a tela plana pode se aperfeiçoar. Isso acontece muito hoje em dia, quando a gente leva, ou tira e fotografa um espécime cirúrgico, e mostra para um radiologista que está vendo a tela. Ele aprende com isso. Eu acho que isso vai facilitar muito esse aprendizado do radiologista que está vendo a tela.

Acho que no futuro a tomografia pode até ser substituída, eventualmente. Mas enquanto não for, a gente conseguir estar olhando “bom, isso aqui é a lesão tomográfica, que corresponde a isso aqui”, pra ter uma segurança de que você não está vendo um eventual artefato, ou alguma coisa... quer dizer, ter uma boa tomografia trifásica, com contraste, para você saber que aquela reconstrução saiu daquele corte, daquela imagem.

Acho que seria muito interessante se a gente pudesse ter — não sei se isso será possível no momento, mas se a gente pudesse ter essa facilidade no celular, para você talvez não precisar usar esses óculos para todo mundo, você puder também fazer algumas dessas interações, manipulações do material numa situação tridimensional no seu celular.

É interessante notar que a tecnologia 3D faz o médico, Dr. Heron, pensar o que poderia fazer com aquilo, qual a melhor estratégia de uso desta tecnologia, como incorporar na sua rotina e quais os ganhos possíveis. Colocar em sua rotina significa utilizar em seus procedimentos, incorporar na sua prática, comunicar seus novos conhecimentos e melhorar sua performance.

E isso foi muito importante, porque eu posso estudar esses volumes novamente, dentro de casos complexos. Alguma coisa que você achava que fosse, e nasceu e era um pouco diferente, passa a ser uma curva de aprendizado porque eu posso voltar nesses volumes e estudar novamente. Isso é fantástico. Além disso, esses volumes passam a ser um domínio educacional, que também é muito bom. (HERON)

E muitos deles não usam mais console, usam televisão com 3D e alguns desses projetos usam óculos para você visualizar, o que é muito interessante. Eu vejo isso como um grande avanço, principalmente no ensino da cirurgia. (RUI)

E uma coisa que imaginei que pudesse complementar, é se eventualmente pudesse naquele painel ter uma forma de você ter a tomografia ali. E se você pudesse ir baixando na tomografia os cortes, e de alguma maneira tivesse uma correlação do que você está vendo na tomografia com o que você está vendo...(EDUARDO)

Ele pode mostrar no celular, mas também pode projetar a imagem no paciente e espelhar aquilo em uma televisão, e assim, isso vai agregar realmente muito valor para ele e para o paciente. Acho que isso vai ser assim, formidável.(VITOR)

Então eu pego a tomografia, e na minha concepção 3D eu desenho para ele entender o que vai ser feito. Se tiver isso na frente dele, colorido, que ele possa rodar e você possa dar uma mini aula ali, vai ser muito bom. (EDUARDO)

Então isso abre um campo na cirurgia fantástico, que eu passo a misturar o exame com o real, e o treinamento e tudo o mais. (HERON)

Então por exemplo, o que nós estamos vislumbrando hoje? Eu vou operar um feto, que está ainda dentro do útero da mãe. É uma cirurgia complexa, que você vai invadir, vai ter um campo de visão muito pequeno, dentro de uma fetoscopia, e se eu puder fazer isso virtualmente antes de fazer o real? Então isso pode ser fantástico, e nisso a realidade virtual, a realidade aumentada podem nos ajudar. Pode nos ajudar no planejamento cirúrgico, como é que nós vamos fazer essa cirurgia, como é que nós vamos treinar essa cirurgia, e o que nós vamos enfrentar nessa cirurgia, e ela pode ser usada também no ato cirúrgico. Então isso eu acho que isso vai trazer uma facilidade muito grande e vai deixar o nosso gesto cada vez mais seguro. (HERON)

Essa ferramenta é uma ferramenta muito mais amigável para quem não é radiologista. Então acho que isso deve ser o futuro. (EDUARDO)

Eu acho que isso é uma coisa que tem tudo para ser expandida e as pessoas vão cada vez tomar mais intimidade com isso. (EDUARDO)

Na hora que você passa a ter o domínio da imagem e o domínio das ferramentas que você tem ao seu redor, virtuais, eu acho que existe para um cirurgião, por exemplo, uma leve curva de aprendizado nessa manipulação. (EDUARDO)

Aqui aparece claramente a relação entre visão, interação e aprendizado. Este fragmento da entrevista revela a relação da visualização com interação a novos conhecimentos. Nas cirurgias minimamente invasivas não a visualização do corpo aberto, é necessário outro tipo de movimento com as mãos, o cirurgião imagina o campo cirúrgico e depois do treinamento o gesto se torna automático e a visão do campo cirúrgico é indireta. Possivelmente as tecnologias 3D interativas auxiliam esta etapa anterior ao ato cirúrgico.

O Eduardo estava falando aqui agora que a gente manda uma imagem normalmente impressa de uma reconstrução tridimensional, e ele não pode interagir com essa imagem. Então ele poder interagir com essa imagem que você processou, hoje isso é fantástico. Porque é exatamente isso, ele pode estar olhando a imagem ali num momento, me ligar, e a gente olhar simultaneamente, eu de um lado, ele do outro, em ambientes diferentes, e discutir aquela imagem, aquele exame, aquele paciente. Discutir conduta, tirar dúvida... eu acho que isso agrega para o paciente. E eu acho que o foco principal é o paciente. (VITOR)

O que eu gostaria de testar, eu acho que numa próxima etapa, é você projetar essa imagem dos óculos num paciente. (VITOR)

Se essa ferramenta for uma ferramenta que, se ela estiver presente ao alcance do cirurgião no seu consultório, ou eventualmente até no seu celular, no seu laptop, eu acho que o cirurgião vendo aquela imagem e rodando, eventualmente uma dúvida tirada por um radiologista, ele vendo a imagem na tomografia e cirurgião vendo a reconstrução, acho que os casos em que a gente precisa se deslocar até o serviço de radiologia, para ir no setor de radiologia sentar do lado da tela para ele te explicar, eventualmente até ter que desenhar para você entender qual é a relação tridimensional daquilo, vai queimar essa etapa, vai ficar uma coisa muito mais rápida pra gente. (EDUARDO)

E muitos deles não usam mais console, usam televisão com 3D e alguns desses projetos usam óculos para você visualizar, o que é muito interessante. Eu vejo isso como um grande avanço, principalmente no ensino da cirurgia. (RUI)

Então a linguagem, ela muda a partir do momento que eu tenho uma imagem volumétrica daquilo ali. Aquilo ali é segmentado e transformado em modelos 3D que eu posso ver com realidade virtual ou realidade aumentada. Então na hora que eu começo a mostrar esse tumor e o grau de invasão do tumor, isso muda completamente para o cirurgião. (HERON)

Na hora que você passa a ter o domínio da imagem e o domínio das ferramentas que você tem ao seu redor, virtuais, eu acho que existe para um cirurgião, por exemplo, uma leve curva

de aprendizado nessa manipulação. (EDUARDO)

Se eu for num livro de anatomia, estudar a anatomia daquele órgão, daquele segmento que eu vou operar, eu posso encontrar uma variação anatômica que ocorre em cerca de 15 a 20% dos casos. Então conhecer a anatomia antes do procedimento cirúrgico, poder interagir com ela, da forma que é possível fazer com o uso do óculos é fundamental no planejamento de um procedimento cirúrgico atual. (RUI)

Isso vai ser fundamental, tanto no desenvolvimento da técnica quanto no ensino da técnica. Então, o impacto vai ser muito grande. (HERON)

O avanço das tecnologias digitais de visualização tridimensional de imagens clínicas tem potencial para tornar-se um instrumento para apoiar o diagnóstico e o planejamento terapêutico, acessível ao conhecimento de médicos não especialistas. A linguagem visual tridimensional possibilitada por essas tecnologias deve permitir que equipes multidisciplinares discutam casos clínicos com apoio das imagens tridimensionais. Não deverá ser absolutamente necessário um especialista para traduzir os achados imagéticos; médicos de diferentes especialidades conversarão com apoio das imagens tridimensionais coordenando a estratégia diagnóstica e facilitando a tomada de decisão e o planejamento cirúrgico.

6.2.16 *Técnica*

Nas primeiras análise das entrevistas, quando havia algo relacionado à verificação, conforme o modelo DSR da técnica, o trecho era selecionado. Os critérios de verificação estão relacionados ao funcionamento do artefato: são critérios para avaliar se o artefato funciona, se não tem problemas graves que impeçam o seu uso. Já os critérios de aceitação do artefato estão relacionados à validade do artefato, devendo ser indicados para avaliar se um artefato resolve satisfatoriamente o problema no contexto. As recorrências foram transcritas:

Achei a plataforma muito boa de trabalhar, a questão de você ter ali as estruturas e do lado o painel, então você vira para o painel, escolhe o que você quer e trabalha aqui. Então se puder melhorar um pouquinho a responsividade da mão... (EDUARDO)

Acho que os comandos vão melhorar, isso é natural. (RUI)

Agora dentro dos protocolos nas outras áreas o que eu vejo, cada vez mais, essas sequências isotrópicas são utilizadas. E isso é importante, são imagens que vão nos permitir a gente reconstruir aquilo em 3D. O que acontece, às vezes, é que essas sequências, elas têm uma variação tissular um pouco menor, então não basta eu só fazer uma sequência isotrópica, a sequência 3D, que vai gerar aqueles modelos 3D, não basta eu só fazer essa sequência, tenho que ainda usar antigas em que me dê uma diferenciação tissular maior e que vai me ajudar no diagnóstico. Sem dúvida essas sequências estão cada vez mais aperfeiçoadas e possibilitando modelos, dando a possibilidade de modelos cada vez mais reais. (HERON)

Agora os óculos eu me senti super confortável para usar, não tive problema nenhum, acho que foi super tranquilo. (EDUARDO)

Até então, era muito difícil esse uso nas ultrassonografia, que é o método de screening das más formações fetais, pela capacidade da aparelhagem da reconstrução 3D. Então a tomografia até então, tudo que se falava de impressão 3D vinha da tomografia e das outras áreas de conhecimento (egiptologia, museologia e tudo mais). Na área médica, também na área medicina interna e tudo mais. Agora, na área de medicina fetal, nada disso era desenvolvido porque tudo era muito centrado na tomografia. Então nós passamos a ver o seguinte, bom, vamos começar com a ressonância magnética, porque a ressonância vai me dar cortes também, e eu vou poder segmentar esses cortes. O grande problema, na época, é que os cortes eram espessos, então a minha qualidade de reconstrução para a impressão 3D era muito ruim. Então nós tivemos que trabalhar um pouco com as empresas, e isso foi evoluindo muito rápido com as empresas de ressonância, para ver protocolos em que eu pudesse ter cortes mais finos, o mais próximo de 1mm possível, como tem na tomografia. E isso nós conseguimos com o tempo.(HERON)

E a cirurgia robótica, ela permite que a gente veja o campo cirúrgico em três dimensões. (RUI)

Da primeira vez da Realidade Virtual para a segunda que a gente testou já tinha melhorado bastante, então a tendência é melhorar, isso daí não é uma coisa que me preocupa. (RUI)

Durante a operação, principalmente em se tratando de fígado, a gente pra reforçar essa relação da lesão com os vasos e com a via biliar, a gente faz um ultrassom trans-operatório que ajuda também nisso. (DALTON)

E além disso a possibilidade de já empregar essa realidade nos atos cirúrgicos, então você vê que hoje nós temos cirurgias minimamente invasivas, e na minha área, na medicina fetal, em que nós já temos cirurgia intraútero, todo esse equipamento, toda essa possibilidade de aplicação é enorme. (HERON)

E essa evolução veio ao longo dos anos com a qualidade da imagem cada vez melhor. (HERON)

Então alguns diagnósticos mais complexos a gente conseguiu trazer uma plataforma mais fácil para essa discussão. (HERON)

Então eu tenho uma sensação de profundidade muito boa, isso me permite a dissecação das estruturas com muito mais precisão. (RUI)

Essa ferramenta é uma ferramenta muito mais amigável para quem não é radiologista. Então acho que isso deve ser o futuro. (EDUARDO)

Eu achei os óculos confortáveis. (EDUARDO)

Eu achei os óculos extremamente interessantes, mas eu acho que tem um tempo de treinamento. A gente que não é dessa área tem que se habituar a lidar com isso. (DALTON)

Eu acho que isso é uma coisa que tem tudo para ser expandida e as pessoas vão cada vez tomar mais intimidade com isso. (DALTON)

Eu acho que o médico cirurgião vai precisar de um treinamento específico para usar os óculos. Não achei que foi fácil a interação com as imagens, porque foi a primeira vez, talvez a segunda vez que tive essa interação e por um tempo muito pequeno. Mas eu acho que um treinamentozinho, de talvez uma hora, o médico vai ficar bastante familiarizado com aquilo ali e vai conseguir tudo que ele quiser do ponto de vista de planejamento terapêutico. Não vejo grandes melhorias a serem feitas nesse padrão de imagem que vocês já atingiram, não. Eu vivi todas as etapas da medicina, tenho mais de cinquenta anos de medicina. Então eu vi tudo, a evolução da medicina desde a cirurgia aberta, a fase das “grandes incisões, grandes cirurgias”, que é o que se dizia na década de 70, até hoje onde a gente opera qualquer coisa com quatro incisões de 8mm e uma incisão de 11mm, que é o que se usa na cirurgia robótica.(RUI)

6.2.17

Vigotsky

Este último código relaciona o referencial teórico à pesquisa, o trabalho de Vigotsky. A análise de Lev Semyonovich Vygotski, psicólogo do início do século

passado, sobre as relações entre desenvolvimento e aprendizagem, no caso da aquisição da linguagem, são noções fundamentais para a comunicação, língua e linguagem como meios para a construção do conhecimento e formação da cultura.

Vygotski construiu sua teoria a partir do interesse em compreender as funções psicológicas superiores ou processos mentais superiores. Esse tipo de atividade, como pensar objetos ausentes, imaginar eventos nunca vividos, planejar ações ou tomada de decisão, é considerado um processo superior na medida que se diferencia de mecanismos elementares, tais como as ações reflexas, e resulta de um desenvolvimento que envolve a interação do organismo individual com o meio físico e social em que vive (OLIVEIRA, 1997, p. 27).

Um conceito central para compreensão de sua teoria é a mediação. Para Vygotski, a mediação é a aquisição de conhecimentos realizada por meio de um elo intermediário entre o ser humano e o ambiente, fundamentalmente intermediada por instrumentos e signos (OLIVEIRA, 1997, p. 27). Neste sentido, o instrumento é um elemento interposto que amplia as possibilidades do homem perante a natureza, um objeto social e mediador entre o indivíduo e o mundo (OLIVEIRA, 1997, p. 30).

Estes são trechos que fizeram de alguma forma uma associação direta na atividade de codificar:

Até ter que desenhar para você entender qual é a relação tridimensional daquilo, vai queimar essa etapa, vai ficar uma coisa muito mais rápida pra gente.(EDUARDO)
Até uma criança consegue entender aquilo.(EDUARDO)

Então eu vislumbro a realidade aumentada, eu vejo a realidade aumentada como, ainda dentro do campo de uma discussão multidisciplinar, isso é uma plataforma fantástica de você passar de uma maneira mais simples e didática e correta para as pessoas que estão discutindo com você uma determinada patologia.(HERON)

Faz uma ponte direta para o 3D, de modo que eu acho que no futuro, quando estiver mais difundido e o software ainda melhor, acho que o cirurgião eventualmente vai trabalhar só com essa ferramenta. Não vai precisar mais quebrar a cabeça com o radiologista para tentar aprender um pouco de radiologia para poder então programar sua operação.(EDUARDO)

O que eu faço hoje em dia no consultório, é que eu desenho. (EDUARDO)

Porque é óbvio ali, a imagem é nítida, e a qualidade dessa discussão, ela é impressionante. (HERON)

Sim, fica uma linguagem muito mais palpável. (HERON)

Totalmente, porque hoje em dia você explicar para um paciente que vai ser operado numa tomografia, é a mesma coisa que mostrar um alfabeto grego. Você acha às vezes que ele está entendendo, mas 99% das vezes não está. E como eu disse antes, isso aí é um modelo que até uma criança entender.(EDUARDO)

6.3 Noções emergentes da codificação

Nesta seção eu organizo os códigos iniciais mais significativos ou frequentes em forma de achados, categorizados como uma noção, para classificar, sintetizar, integrar e organizar a totalidade de dado produzidos e apoiar a interpretação dos discursos dos entrevistados. Desta forma, buscamos compreender o fenômeno através dos significados que os usuários atribuem a ele.

Cinco noções foram selecionadas como aspecto relevante para análise final da pesquisa.

6.3.1

Problema: a incerteza na tomada de decisão clínica.



Figura 105 - Noção: problema. Fonte: do autor.

Nesta pesquisa, a tomada de decisão foi abordada como uma habilidade cognitiva necessária para uma boa prática clínica, um conhecimento tácito construído a partir de uma série de valores, experiências e acesso a técnicas e tecnologias de avaliação e tratamento. Como frequentemente a tomada de decisão ocorre em um contexto de incertezas diagnósticas, buscamos avaliar se o artefato ProVis3D poderia reduzir a incerteza e promover informações úteis para a tomada

de decisão clínica.

A tomada de decisão é a base do raciocínio médico integrando habilidades cognitivas (pensamentos) e conhecimento clínico para análise das informações. Segundo a Teoria do Processo Dual, o Sistema 2 é o responsável pelas funções analíticas e, frequentemente, quando se depara com evidências em excesso, produz mais incertezas. Por outro lado, o Sistema 1, quando utiliza heurísticas de representatividade nas suas decisões, pode ser levado a decidir através de probabilidades mal calculadas e produzir informação de pouco valor.

Seguindo a lógica das minhas ponderações, há duas formas de abordar o problema da incerteza na tomada de decisão clínica: melhorar o raciocínio clínico ou investigar quais melhorias podem ser obtidas a partir da tecnologia, tendo como conjectura que apenas o acesso à tecnologia avançada não é o fato que determina necessariamente uma informação de valor

Criando a categoria Problema, compreendemos que esta forma de visualização e interação, com o ProVis3D, integra habilidades cognitivas (pensamentos) e conhecimentos clínicos para a análise das informações, melhorando as habilidades cognitivas relacionadas ao Sistema 1, reconhecimento de padrões e memória associativa, construindo uma interpretação coerente do que está acontecendo. Podemos considerar que o ProVis3D produz novos conhecimentos ao invés de produzir um excesso de evidências que aumentam a incerteza na tomada de decisão.

Desta forma, podemos supor que a visualização de imagens computacionais tridimensionais, como um meio para fornecer informações de valor para apoiar a decisão, pelo artefato ProVis3D melhora a intuição característica do Sistema 1, reduzindo a incerteza e promovendo informações úteis para a tomada de decisão clínica.

6.3.2

Linguagem e comunicação

A noção “Linguagem e comunicação” foi construída para dar um significado real ao novo conhecimento adquirido (Figura 106).



Figura 106 - Noção: Linguagem e comunicação. Fonte: do autor.

Interagindo com um modelo virtual tridimensional, o médico, ao mesmo tempo que melhora suas habilidades cognitivas, é levado a pensar de maneira diferente da usual. As imagens 3D interativas constituem uma linguagem, uma forma de expressão, que produz outra forma de pensar e dá sentido às informações médicas complementares e dispersas, criando uma nova linguagem que, relacionando a visualização à sensação tátil, produz um novo conhecimento das relações anatômicas e uma outra forma de comunicação entre equipes médicas multidisciplinares, médicos especialistas e pacientes.

Podemos considerar que, para obter uma informação de valor para sua tomada de decisão clínica, o ProVis3D criou uma linguagem que possibilita novas formas de comunicação e faz emergir novos conhecimentos que apoiam a tomada de decisão clínica. O artefato tem potencial para tornar-se um instrumento para apoiar o diagnóstico e o planejamento terapêutico, acessível ao conhecimento de médicos não especialistas. A linguagem visual tridimensional, possibilitada por essas tecnologias, permite que equipes multidisciplinares discutam casos clínicos com apoio das imagens tridimensionais.

6.3.3 *Técnicas e tecnologias*

Os códigos da Figura 107 construíram a noção “Técnicas e tecnologias” que se relaciona com o artefato ProVis 3D.

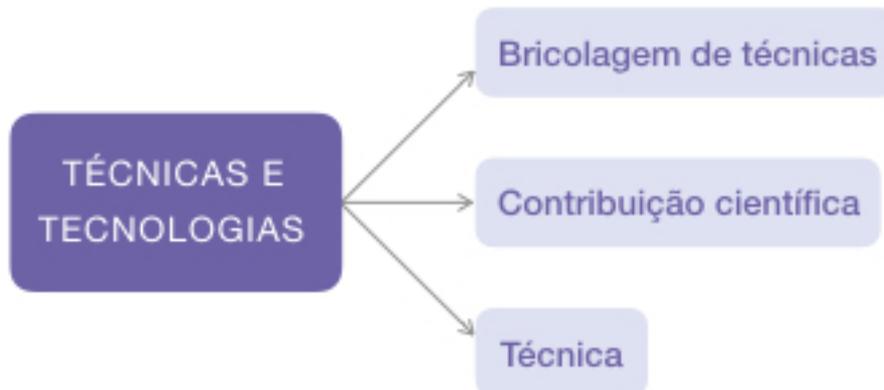


Figura 107 - Noção: Técnicas e tecnologias. Fonte: do autor.

Nesta pesquisa projetei um artefato para a visualização de casos clínicos reais por meio de Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA). As imagens médicas foram configuradas em uma cena virtual como réplica virtual tridimensional do ambiente a ser aumentado. Essa réplica está alinhada com a visão do ambiente dos usuários, para que os elementos virtuais apareçam como sobrepostos aos elementos correspondentes no mundo real.

A escolha da técnica foi feita para criar uma tecnologia para a interação com o objeto 3D em um cenário virtual, interação com as próprias mãos, sem controle manual, para organizar a estratégia de avaliação da experiência do usuário.

Buscamos entender que estas técnicas ou tecnologias, por si mesmas, não produzem a resolução de um problema; é a partir da produção de linguagem que a tecnologia se torna um instrumento mediador entre o homem e o mundo, exigindo que pensemos de outra maneira, criando uma linguagem para comunicar seus conhecimentos. A tecnologia de visualização criou uma nova linguagem, através das técnicas não invasivas para o diagnóstico, produzindo novos conhecimentos,

com o potencial para transformar a prática clínica e, da mesma forma, mudando a propedêutica conforme o desenvolvimento de técnicas para obter o diagnóstico.

6.3.4

Critério de avaliação

Os códigos experiência e fenômeno organizam a noção sobre critério de avaliação sobre a aceitação do artefacto. Esta noção baseia-se na hipótese de que a aceitação e o uso da tecnologia podem ser explicados em termos de crenças, atitudes e intenções internas de um usuário, influenciadas principalmente por dois fatores: utilidade e facilidade de uso da tecnologia. Duas formulações orientam a noção:

- Facilidade de uso percebida: O que achou dos óculos? O que sentiu ao usar os óculos? Como foi a interação? Quais as facilidades? Quais as dificuldades? O que deveria ser mantido? O que deveria ser modificado?
- Utilidade da tecnologia: Qual a utilidade dessa tecnologia para a discussão do caso médico? Que informações a tecnologia nos fornece? De que maneira essa tecnologia poderia ser útil na sua prática? Qual o potencial dessa tecnologia para a tomada de decisão clínica? Qual o potencial dessa tecnologia para alterar as práticas médicas?

6.3.5

Novos conhecimentos.

Os códigos da Figura 108 criam a noção de novos conhecimentos.

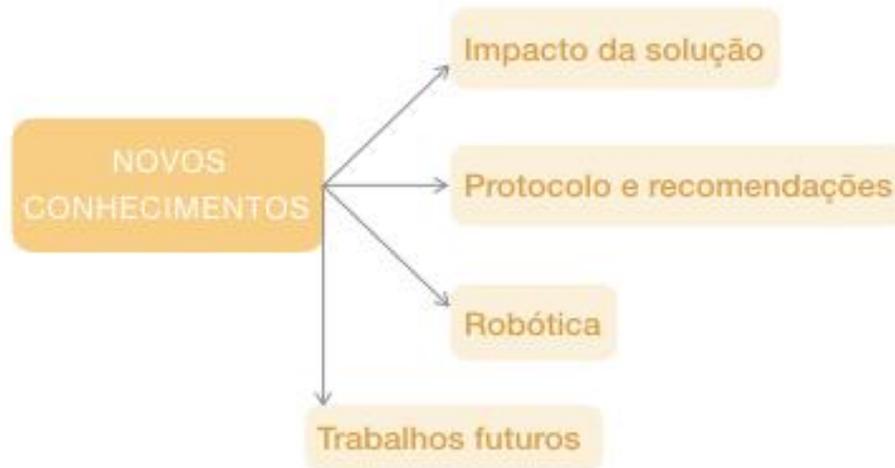


Figura 108 - Noção: Novos conhecimentos. Fonte: do autor.

Com o ProVis3D não há o esforço cognitivo de criar mentalmente imagens tridimensionais para o entendimento anatômico, estando elas disponíveis de forma direta. Há ainda a possibilidade de interação com o modelo anatômico representado, potencializando o entendimento das imagens médicas como linguagem visual.

O avanço das tecnologias digitais de visualização tridimensional de imagens clínicas tem potencial para tornar-se um instrumento para apoiar o diagnóstico e o planejamento terapêutico, acessível ao conhecimento de médicos não especialistas. A linguagem visual tridimensional, possibilitada por essas tecnologias, deve permitir que equipes multidisciplinares discutam casos clínicos com apoio das imagens tridimensionais, auxiliando na interpretação da imagem e dando sentido a ela. Não deverá ser absolutamente necessário um especialista para traduzir os achados imagéticos; médicos de diferentes especialidades conversarão com apoio das imagens tridimensionais coordenando a estratégia diagnóstica e facilitando a tomada de decisão e o planejamento cirúrgico.



Figura 109 - Pensamento médico tridimensional. Fonte: do autor.

6.4 Respondendo as questões

Será que estamos certos e tudo isso faz sentido, ou será que estamos enganados? Para buscar respostas para as questões de pesquisa: será que o artefato realmente possibilita obter informação de valor para a tomada de decisão clínica?; será que essa tecnologia de visualização realmente cria uma linguagem que possibilita aos médicos produzirem novos conhecimentos? Para responder essas questões, avaliamos se o artefato é satisfatório e se as conjecturas parecem válidas.

Os relatos produzidos nas entrevistas foram interpretados e seus resultados foram apresentados nas seções 6.1 e 6.2. Nesta seção respondemos às questões.

6.4.1

Questão para Avaliação do Artefato

O artefacto possibilita obter informação de valor para a tomada de decisão clínica?

O artefato ProVis3D tem potencial para apoiar a decisão clínica. Podemos considerar que uma visualização de forma tridimensional, com as imagens médicas

em posição anatômica, mantendo as relações espaciais entre órgãos e vasos, para o que é proposto como precisão nesta forma de visualização, e correspondendo à sua posição no mundo real, ou seja, como estas estão dispostas no interior do corpo humano e sobreposta no mundo real, é uma informação de valor inédito na cultura médica. Além de poderem ser visualizadas, há possibilidade de interação com as imagens, simulando a percepção tátil, e de produzir sua movimentação: tocar em órgãos segmentados, vasos e vísceras, separar estas estruturas, aumentar seu tamanho e fazer a rotação do objeto em torno de seu eixo. Desta forma, o ProVis3D cria a experiência que ocorre mentalmente através da visualização das imagens médicas em telas planas e potencializa os recursos de interação restritos em suas funcionalidades na área de trabalho do radiologista.

Nesse sentido, identificamos que o ProVis3D apoia a tomada de decisão clínica, auxiliando o julgamento do médico e diminuindo suas incertezas, devido a potência cognitiva do artefato de representar os órgãos de forma fidedigna, de acordo com o que é proposto pelo método, simulando mentalmente o procedimento cirúrgico e produzindo informação de valor.

6.4.2

Questão para Avaliação das Conjecturas

A tecnologia de visualização realmente cria uma linguagem que possibilita aos médicos produzirem novos conhecimentos?

Tecnologia interativa de visualização tridimensional, em realidade aumentada, cria uma linguagem; faz os médicos conversarem de um modo diferente sobre coisas que não estão habituados, possibilitando aos médicos produzirem novos conhecimentos.

A possibilidade de visualizar imagens médicas de forma tridimensional, da mesma forma que observamos objetos no mundo real e poder interagir com elas, revelou ser uma experiência inédita para os médicos envolvidos na pesquisa; com visualização e interação tridimensional o médico não especialista não precisa experimentar o esforço cognitivo, analítico e mental, quando faz a reconstrução 3D das imagens a partir da tela plana bidimensional. Para o cirurgião poder ver um órgão sintético de forma aproximada e anatômica, antes do ato cirúrgico, e construir uma interpretação coerente do que está sendo visualizado, possibilita intuitivamente

uma linguagem visual como forma de expressão. Podemos considerar que a tecnologia possibilita a simulação mental do procedimento, de forma escalável e simétrica, produzindo uma experiência multidimensional, a dimensão bidimensional em escala cinza, numérica e precisa das imagens planas, e o modelo 3D localização no mundo real, tridimensional, simulacro do órgão real. A tecnologia de visualização tridimensional interativa estimula a cognição sensória do observador, produz um conhecimento direto, sem mediação e de forma imediata com a imagem.

O ProVis3D é um serviço, uma propedêutica, uma tecnologia para visualização tridimensional de modelos virtuais de casos clínicos. A interação e visualização experimentada pelos médicos é similar à ação e a técnica propedêutica do exame físico, exame das mãos. No exame buscamos sensações, batimento de um pulso radial, a pressão sobre a mão quando palpamos a ponta do coração, após a inspeção ou palpação do precórdio. Percutimos a barriga a procura de sons familiares ou presença de reações indesejáveis. Este contato, que nos faz humanos, é onde a comunicação se faz entre médico e paciente, criando vínculo e empatia. O médico ao utilizar o ProVis3D pensa a imagem médica de maneira diferente da usual e obtém informação de valor para produzir as informações necessárias para iniciar a dedução das hipóteses diagnósticas.

O ProVis3D produz uma linguagem em que o médico constrói imagens mentais sobre o corpo do paciente, adquirindo informações que apoiam a tomar decisões sobre o diagnóstico e o prognóstico: uma linguagem muda a maneira como pensamos, nos habilitando a “designar objetos, relações e ações no sistema externo do mundo” (SIMON, 1996, p. 22). Novas formas de pensar resultam na produção de novos conhecimentos. Novos conhecimentos, por sua vez, têm potencial para mudar a cultura de uma área. Assim como determinadas tecnologias de visualização já mudaram as práticas médicas e provocaram mudanças revolucionárias na Medicina ao longo da história, reconhecemos que as tecnologias de visualização tridimensional já estão mudando as práticas médicas e transformarão a cultura dessa área a médio e longo prazo.

Para fundamentar nossa conjectura, de que tecnologia de visualização cria uma linguagem que possibilita aos médicos produzirem novos conhecimentos, buscamos no campo da psicologia os estudos de Lev Semyonovich Vygotski sobre o desenvolvimento da linguagem e a sua relação com fenômenos cognitivos. De

acordo com ele, as funções psicológicas superiores são simultaneamente apoiadas em características biológicas, da espécie humana, e construídas ao longo de sua história social (OLIVEIRA, 2001).

A análise de Vigotsky, no início do século passado, buscou entender o fenômeno do pensamento e da linguagem através de uma síntese conceitual integrando o homem como ser biológico e social; as funções psicológicas têm um suporte biológico, pois são produtos da atividade cerebral; o funcionamento psicológico fundamenta-se nas relações sociais entre indivíduo e meio; a relação homem-mundo é uma relação mediada por sistemas simbólicos (VYGOTSKI, 1987).

Vygotski construiu sua teoria a partir do seu interesse em compreender as funções psicológicas superiores ou processos mentais superiores. Esse tipo de atividade, como pensar objetos ausentes, imaginar eventos nunca vividos, planejar ações ou tomada de decisão, é considerado um processo superior na medida que se diferencia de mecanismos elementares, tais como as ações reflexas, e resulta de um desenvolvimento que envolve a interação do organismo individual com o meio físico e social em que vive (OLIVEIRA, 1997, p. 27).

Um conceito central para compreensão de sua teoria é a mediação. Para ele, a mediação é a aquisição de conhecimentos realizada por meio de um elo intermediário entre o ser humano e o ambiente, fundamentalmente intermediada por instrumentos e signos (OLIVEIRA, 1997, p. 27). Neste sentido, o instrumento é um elemento interposto que amplia as possibilidades do homem perante à natureza, um objeto social e mediador entre o indivíduo e o mundo (OLIVEIRA, 1997, p. 30). No sentido psicológico, o signo é análogo ao instrumento no mundo:

A invenção e uso de signos como meios auxiliares para solucionar um determinado problema psicológico é análoga à invenção e uso de instrumentos só que agora no campo psicológico. O signo age como instrumento de atividade psicológica de maneira análoga ao papel do instrumento no trabalho. (VYGOTSKI, 1991, p. 59-60)

Os elementos mediadores na relação entre homens e o mundo — instrumentos, signos e todos os elementos do ambiente humano carregados de significado cultural — são fornecidos pela relação entre os homens. Seus sistemas simbólicos, particularmente a linguagem, exercem um papel fundamental na comunicação entre indivíduos e no estabelecimento de significados compartilhados (OLIVEIRA, 1997, p. 40).

Para Vygotski, a linguagem tem duas funções básicas. A principal função é a de intercâmbio social: é para se comunicar com seus semelhantes que o homem cria e utiliza os sistemas de linguagem. A segunda função é transformar a linguagem em um instrumento do pensamento: “A linguagem ordena o real, agrupando todas as ocorrências de uma mesma classe de objetos, eventos, situações sob uma mesma categoria conceitual, organizando a mediação entre sujeito e o objeto do conhecimento” (OLIVEIRA, 1997, p. 42-43).

O novo e essencial nessa investigação é a noção que ele introduz na teoria do pensamento e da linguagem, a descoberta de que os significados das palavras não são dados a priori, mas sim construídos a partir de uma representação da realidade na consciência. Para Vygotski (1991, p. 399), o fundamento do funcionamento psicológico é tipicamente humano e social, portanto histórico.

Vygotsky dedicou-se ao estudo das funções psicológicas superiores. De acordo com Freitas (2005):

Ao longo do processo de desenvolvimento, o indivíduo deixa de necessitar marcas externas e passa a utilizar signos internos, que constituem as representações mentais, e que substituem os objetos do mundo real. Os signos internalizados são como marcas exteriores, elementos que representam objetos, eventos, situações. O homem é capaz de operar mentalmente sobre o mundo: planejar, estabelecer relações, compreender, associar. A capacidade de lidar com representações que substituem o real possibilita ao homem libertar-se do espaço e do tempo presentes, efetuar relações mentais na ausência das coisas, imaginar e planejar intencionalmente.

Desta forma, linguagem, imagem e ação (na forma de planejamento) tornam-se representações mentais e ao mesmo tempo substrato para nossa relação no mundo externo e a construção do conhecimento. Para ele, “as representações mentais de imagens expressam estruturas espaciais características da percepção visual” (VYGOTSKY, 2001). Neste contexto podemos entender que a linguagem visual expressa informação, e desta forma é passível de comunicar sentido e tem o potencial de criar outra cultura; a historiografia das artes demonstra claramente isso na arte moderna, quando pintores começam a explorar o universo das imagens abstratas que não representam objetos próprios da nossa realidade concreta exterior.

Para pensar as questões da linguagem e pensamento desenvolvidos por Vigotsky no início do século passado no campo das ciências biológicas, utilizei o conceito de artefato como instrumento para mediação cognitiva:

Os artefatos são uma versão externalizada de um pensamento, um reflexo da contemplação e uma maneira de comunicar o conhecimento pessoal a outras pessoas, mesmo após o

desaparecimento do seu criador. Artefatos são entidades semânticas, que podem ser rotuladas e lembradas como separadas das coisas. (BUZSÁKI, 2019, p. 225, tradução nossa)

György Buzsáki é o professor de neurociência de Biggs na Faculdade de Medicina da Universidade de Nova York e é considerado um dos maiores nomes em sua área; sua teoria sobre o funcionamento do cérebro se assemelha em muito com os conceitos sobre pensamento e linguagem de Vigotsky. Finaliza seu último livro, *The Brain from Inside Out*, dizendo que suas conclusões sobre os processos mentais são similares às de Kahneman em *Thinking, Fast and Slow*, a saber:

(...) que a ampla distribuição da dinâmica cerebral permite realizar operações complementares que geralmente parecem fundamentalmente diferentes. Essas redes dedicadas podem tomar rapidamente decisões acertadas, mas a precisão requer um processo mais prolongado em uma grande área do cérebro. Não existem dois sistemas, apenas um sistema com duas caudas. (BUZSÁKY, 2019, p. 339, tradução nossa)

Ou seja, a visão de um neurocientista sobre o funcionamento do cérebro se assemelha a visão de um psicólogo cognitivo, que por sua vez utiliza seus conceitos neurobiológicos de forma similar aos conceitos desenvolvidos por Vigotsky. Podemos ver a seguir, neste trecho de Buzsáky, a semelhança com os estudos sobre Sistema 1 (S1) e Sistema 2 (S2) por Alfano descritos nesta pesquisa na seção 1.2, na qual ele diz:

A principal diferença funcional é que, enquanto que a atividade no córtex motor leva à ação imediata (S1), a atividade no córtex pré-frontal (S2) pode simular apenas a ação, que chamamos de *planos e imaginação*. (BUZSÁKY, 2019, p. 223, tradução nossa)

Podemos considerar que, a partir destas aproximações, pesquisas podem ser desenvolvidas em diferentes campos do conhecimento, mesclando diferentes áreas tais como psicologia, computação visual e neurociência:

1. Como os artefatos podem comunicar informações semânticas de um cérebro para outro, sem a exploração episódica trabalhosa (S2) do indivíduo, estudar o Sistema 1 com o ProVis3D seria uma hipótese plausível. A hipótese da pesquisa partiria da especulação: como a visualização esta relacionada ao S1, seria possível avaliar o comportamento de usuários com ProVis3D utilizando Ressonância Magnética funcional (RMf)?¹⁴

¹⁴ “A RMf é uma medida em tempo real da ativação de regiões do cérebro. A fMRI mede é a ativação cerebral que depende do nível de oxigênio sanguíneo. Quanto mais difícil for uma tarefa de uma parte específica do cérebro, mais recursos, como o oxigênio, precisam. O sangue oxigenado altera o campo magnético local um pouco mais do que o sangue desoxigenado, e essa alteração pode

2. Existe um potencial de interação com vários usuários quando utilizamos o Meta 2. O HMD consegue mapear a mão de um usuário externo e o usuário pode interagir com o modelo 3D. É possível criar um suporte ao modo multiusuário, na qual os usuários poderiam compartilhar experiências ao mesmo tempo.

ser detectada na presença de um forte campo magnético. Assim, medindo pequenas alterações no campo magnético e, assim, o fluxo sanguíneo oxigenado, o pesquisador pode indiretamente quantificar a atividade que está acontecendo em diferentes partes do cérebro” (ALFANO, 2016, p. 181).

7

Conclusão

7.1

Principais contribuições

O artefato ProVis3D tem potencial para apoiar a decisão clínica. Podemos considerar que uma visualização de forma tridimensional, com as imagens médicas em posição anatômica, mantendo as relações espaciais entre órgãos e vasos de forma aproximada, para o que é proposto nesta forma de visualização, e correspondendo à sua posição no mundo real, ou seja, como estas estão dispostas no interior do corpo humano e sobreposta no mundo real, é uma informação de valor inédito na cultura médica. Além de poderem ser visualizadas, há possibilidade de interação com as imagens, simulando a percepção tátil, e de produzir sua movimentação: tocar em órgãos segmentados, vasos e vísceras, separar estas estruturas, aumentar seu tamanho e fazer a rotação do objeto em torno de seu eixo. Desta forma, o ProVis3D cria a experiência que ocorre mentalmente através da visualização das imagens médicas em telas planas e potencializa que outros médicos e/ou pacientes tenham acesso aos recursos de interação restritos em suas funcionalidades na área de trabalho do radiologista.

Nesse sentido, identificamos que o ProVis3D apoia a tomada de decisão clínica, auxiliando o julgamento do médico e diminuindo suas incertezas, devido à potencia cognitiva do artefato de representar os órgãos de forma fidedigna, para o que é proposto como precisão pelo método, simulando mentalmente o procedimento cirúrgico e produzindo informação de valor.

A possibilidade de visualizar imagens médicas de forma tridimensional, da mesma forma que observamos objetos no mundo real, e poder interagir com elas, revelou ser uma experiência inédita para os médicos envolvidos na pesquisa; com visualização e interação tridimensional o médico não especialista não precisa experimentar o esforço cognitivo, analítico e mental, quando faz a reconstrução 3D das imagens a partir da tela plana bidimensional. Para o cirurgião poder ver um órgão sintético de forma fidedigna, para o que é proposto como precisão pela forma de visualização, e anatômica, antes do ato cirúrgico, e construir uma interpretação coerente do que está sendo visualizado, possibilita, de forma instantânea e automática, uma linguagem visual como forma de expressão. Podemos considerar

que a tecnologia possibilita a simulação mental do procedimento, de forma escalável e simétrica, produzindo uma experiência multidimensional, a dimensão bidimensional em escala cinza, numérica e precisa das imagens planas, e o modelo 3D localização no mundo real, tridimensional, simulacro do órgão real. A tecnologia de visualização tridimensional interativa estimula a cognição sensória do observador, produz um conhecimento direto, sem mediação e de forma imediata com a imagem.

O ProVis3D produz uma linguagem em que o médico constrói imagens mentais sobre o corpo do paciente, adquirindo informações que apoiam a tomar decisões sobre o diagnóstico e o prognóstico: uma linguagem muda a maneira como pensamos, nos habilitando a “designar objetos, relações e ações no sistema externo do mundo” (SIMON, 1996, p. 22). Novas formas de pensar resultam na produção de novos conhecimentos. Novos conhecimentos, por sua vez, têm potencial para mudar a cultura de uma área. Assim como determinadas tecnologias de visualização já mudaram as práticas médicas e provocaram mudanças revolucionárias na Medicina ao longo da história, reconhecemos que as tecnologias de visualização tridimensional já estão mudando as práticas médicas e transformarão a cultura dessa área a médio e longo prazo.

7.2 **Limitações e Trabalhos Futuros**

Partindo do pressuposto que, num futuro não muito distante, essas tecnologias estarão em uso em vários consultórios médicos, com protocolos de uso bem definidos, com técnicos preparados para prestar serviços necessários ao processo, com tecnologias mais aperfeiçoadas e com médicos bem formados para lidar com a visualização tridimensional em suas rotinas, projeto que será necessário desenvolver outras funcionalidade para que o ProVis3D possa ser um produto para serviços da propedêutica clínica. Considerando o uso de tecnologias de visualização tridimensional como linguagem e fonte de dados para apoiar o raciocínio nas decisões clínicas, avaliamos que algumas tecnologias tem o potencial de melhorar a experiência do usuário e suas funcionalidades.

Não existe, até o presente momento, um dispositivo vestível para RA com preço acessível e que realmente entregue o que promete. Consequentemente, são

poucos os desenvolvedores que produzem soluções ou programações para RA, sendo necessário desenvolver soluções a partir das programações implementadas em RV, adaptando-as aos dispositivos de RA. Uma limitação do sistema desenvolvido para o ProVis3D é relacionada à importação dos arquivos de modelos tridimensionais, de casos clínicos que são carregados em outro software, para serem segmentados e posteriormente transferidos para o sistema do ProVis3D, sem integração automática. Isso pode gerar problemas e aumentar a carga de trabalho; toda vez que um objeto é colocado pela primeira vez no sistema, todos os passos devem ser repetidos e os modelos devem sempre estar no mesmo formato e, se não estiverem, será necessário transferir o objeto para outro software para fazer a formatação necessária. Ou ainda, se a malha do objeto não for suavizada, comprometendo a qualidade da visualização, o arquivo deverá ser importado para outro software para realizar os ajustes necessários.

Conseqüentemente, vejo como um dos trabalhos futuros, a integração dos diferentes softwares necessários para que o ProVis3D funcione com facilidade de uso para um usuário médico, pois um usuário como esse não tem disponibilidade de tempo ou conhecimento para cumprir todas essas etapas. Apesar das empresas de imagem disponibilizarem reconstruções 3D em seus laudos, ainda não é possível receber um arquivo pronto para colocar no ProVis3D. Para tal, é necessário, atualmente, que o laboratório tenha um serviço de processamento e pós-processamento de imagem para que os arquivos sejam gerados quando solicitados. Outra questão é que os softwares comerciais não são totalmente automatizados, é necessário um trabalho manual e algumas habilidades para completar a segmentação dos arquivos médicos. Desenvolver algoritmos para a automatização completa dos arquivos será uma etapa necessária para que o ProVis3D seja uma solução ou serviço para médicos em ambulatórios ou em consultório.

Uma forma possível e inovadora de melhorar a experiência do médico com o ProVis3D seria criar novas formas de interação utilizando interfaces de conversação baseadas em voz e texto com Inteligência Artificial (IA). Utilizar os sistemas baseados em algoritmos de aprendizagem do Processamento de Língua natural (PLN), uma subárea da ciência da computação, inteligência artificial e da linguística que trabalha com a geração e compreensão automática de línguas humanas naturais, como aplicação de comando de voz para melhorar a experiência da interação manual com modelo 3D e reforçar cognitivamente a interação da visão

e sensação tátil. Ou criar uma interface de programação de aplicações (API),¹⁵ um plug-in, para prontuários eletrônicos ou sistemas de informação para médicos-usuário, criando um banco de dados de casos clínicos para treinamento e aprendizado.

Acredito que no futuro outras aplicações que não imaginamos ou pensamos irão estar disponíveis para o uso e RA. Acredito que esta tecnologia para visualização será a plataforma de trabalho dos médicos, readquirindo o caráter ancestral do olhar associado ao toque que inaugurou o conhecimento clínico que acompanha minha vida profissional nos últimos 40 anos.

¹⁵ “Interface de Programação de Aplicações (ou Interface de Programação de Aplicação), cujo acrônimo API provém do Inglês Application Programming Interface, é um conjunto de rotinas e padrões estabelecidos por um software para a utilização das suas funcionalidades por aplicativos que não pretendem envolver-se em detalhes da implementação do software, mas apenas usar seus serviços.”

Fonte:

<[https://pt.wikipedia.org/wiki/Interface de programa%C3%A7%C3%A3o de aplica%C3%A7%C3%B5es](https://pt.wikipedia.org/wiki/Interface_de_programa%C3%A7%C3%A3o_de_aplica%C3%A7%C3%B5es)>.

Referências bibliográficas

- ALLOA, E. *Pensar a imagem*. Belo Horizonte: Editora Autêntica, 2015.
- ANTONIO, N. P.; FORNAZIN, M.; ARAUJO, R. M.. Metodologia de Pesquisa de Estudo de Caso em Sistemas de Informação. In: FRANÇA, T. C. de; FRANÇA, J. B. dos S. (Org.). *Minicursos da ERSI-RJ 2018 — V Escola Regional de Sistemas de Informação do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: SBC, 2018, p. 41-67.
- BAX, M. P. Design Science: filosofia da pesquisa em ciência da informação e tecnologia. In: XV ENANCIB — Encontro Nacional de Pesquisa em Ciência da Informação. Belo Horizonte, 2014.
- BLEVIS, E. What Design Is Matters Less Than What Designs Are: Explanations for HCI and Design, a Case Story. In: ZIMMERMAN, J.; EVENSON, S.; BAUMANN, K.; PURGATHOFER, P. (Org.) *Human factors and computing systems*. Vienna: ACM Press, 2004.
- BORGES, J. L. *Historia Universal da Infância*. Porto Alegre: Globo, Porto Alegre, 1975.
- BRADLEY, W.G. History of Medical Imaging. *Proceedings of the American Philosophical Society*, v. 152, n. 3, p. 349-361, set. 2008.
- BRAUNWALD. *Heart Disease: A Textbook of Cardiovascular Medicine*. Philadelphia: Elsevier, 2005.
- BUDGEN, D. et al. Does the technology acceptance model predict actual use? A systematic literature review. *Information and Software Technology*, n. 52, 2010, p. 463-479.
- BUZSÁKI, G. *The Brain from inside out*. Oxford: Oxford University Press, 2019.
- CANGUILHEM, G. *O Normal e o Patológico*. 2 ed. São Paulo: Editora Forense Universitária, 1982.
- CAO, C.; CERFOLIO, R.J. Virtual or Augmented Reality to Enhance Surgical Education and Surgical Planning Thorac Surg Clin n. 29, 2019, p. 329–337.
- CARROLL, L. *Sylvie and Bruno*. Londres/Nova York: McMillan, 2015.

Disponível em:

<https://www.gutenberg.org/ebooks/620?msg=welcome_stranger>.

Acesso em: 12 abr. 2019.

CHARMAZ, K.C. *Grounded Theory: A Practical Guide Through Qualitative Analysis*. Londres: SAGE, 2006.

CROSKERRY, P. A Universal Model of Diagnostic Reasoning. *Acad Med*, v. 84, n. 8, 2009.

DAVIS, F. et al. User acceptance of computer technology: a comparison of two theoretical models. *Management Science*, v. 35, n. 8, 1989, p. 982-1003.

DAVIS, F. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, v. 13, n. 3, 1989, p. 319-340.

DENZIN, N.K.; LINCOLN, Y.S. Introduction: the discipline and practice of qualitative research. In: DENZIN, N.K.; LINCOLN, Y.S. (Org.). *Handbook of qualitative research*. 2 ed. Londres: SAGE, 2000, p. 1-28.

DICIONÁRIO ETIMOLÓGICO. Propedêutica. Documento online: <https://www.dicionarioetimologico.com.br/propedeutica/>. Acesso em 08/01/2020.

DRESCH, A.; LACERDA, D.P.; ANTUNES JÚNIOR, J.A.V. *Design Science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia*. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ESCOBAR, A. *Designs for the pluriverse: Radical interdependence, autonomy, and the making of worlds*. Duke University Press, 2018.

FILHO, C. M. Peripécias de Humberto Maturana no país da comunicação. *Revista FAMECOS*, v. 13, n. 31, 2006.

FILIPPO, D.; PIMENTEL, M.; WAINER, J. Metodologia de pesquisa científica em sistemas colaborativos. In: PIMENTEL, M.; FUKS, H. *Sistemas Colaborativos*. Rio de Janeiro; Elsevier, 2011, p. 379-404.

FINDELI, A. La recherche-projet: une méthode pour la recherche en design. Paper presented at the Symposium de recherche sur le design, Bâle, Suisse, 2004. Disponível em:

<<https://pt.slideshare.net/geoffreydorne/findeli2005recherche-projet>>.

Acesso em: 18 jan. 2020.

FOUCAULT, M. O Nascimento da Clínica. São Paulo: Editora Forense Universitária, 1977.

FREITAS, N.K. Representações Mentais, Imagens Visuais e Conhecimento no Pensamento de Vigotsky. *Ciênc. cogn.* [online], v.6, n.1, 2005, p. 109-112.

GAVER, W. What should we expect from research through design? *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing System CHI '12*. Austin: ACM Press, 2012, p. 937-46.

GODIN, D.; ZAHEDI, M. Aspects of Research through Design: A Literature Review. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/a4ef/785b14d1c519726c0d638096416cf3d956cb.pdf?_ga=2.76716054.2037548385.1576333858-2044378403.1521142845>. Acesso em: 18 jan. 2020.

GRAY, H. *Anatomia*. 29 ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 1977.

HAIDT, J. The Dark Psychology of Social Networks. *The Atlantic*, dez. 2019. Disponível em: <<https://www.theatlantic.com/magazine/archive/2019/12/social-media-democracy/600763/>>.

HALL, S. *Cultura e representação*. Editora PUC-Rio, 2016.

HAM, W.A. *Histologia*. 7 ed. Guanabara Koogan, 1977.

HEIDEGGER, M. A Questão da Técnica. In: *Ensaio e Conferências*. Tradução: Emmanuel Carneiro Leão. Petrópolis: Vozes, 2001, p. 11-38.

HOUNSFIELD, G.N. Computed Medical Imaging. *Journal of Computer Assisted Tomography*, v. 4, n. 5, p. 665-674, out. 1980.

KAHNEMAN, D. *Rápido e devagar: duas formas de pensar*. Rio de Janeiro: Objetiva, 2011.

KANDEL, R.E. *Reductionism in Art and Brain Science: Bridging the Two Cultures*. New York: Columbia University Press, 2016.

KASSIRER, J.P. The Principles of Clinical decision Making: An Introduction to Decision Analysis. *The Yale Journal of Biology and Medicine*, n. 49, p. 149-164, 1976.

KELLY, K. AR will spark the next big tech platform – call it Mirrorworld. *Wired*, 12 fev. 2019. Disponível em: <www.wired.com/story/mirrorworld-ar>

- next-big-tech-platform/>. Acesso em: 12 abr. 2019.
- KLEIN, H. K.; MYERS, M. D. A Set of Principles for Conducting and Evaluating Interpretive Field Studies in Information Systems. *MIS Quarterly*, v. 23, n. 1, 1999, p. 67-93.
- LAUDON, K.; LAUDON, J. *Sistemas de informação gerenciais*. São Paulo: Person, 2014.
- LEVY, P. *As tecnologias da inteligência*. Rio de Janeiro: Ed. 34, 1993.
- LYONS, A S. *Medicine: an illustrated history*. Abrams, 1978.
- MANNHEIMER, W.A. *Microscopia dos materiais*. Rio de Janeiro: E-papers, 2002.
- MARTINS, R. de A. *Filosofia e História da Biologia*, v. 6, n. 1, 2011, p. 105-142.
- McGURKG, M. et al. Rapid prototyping techniques for anatomical modelling in medicine. *Ann R Coll Surg Engl*, v. 79, 1997, p. 169–174.
- MILGRAM, P.; KISHINO, F. A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information and Systemas E series D*, v. 77, p. 1321, 1994.
- MORI et al. What Is the Real Cardiac Anatomy? *Clinical Anatomy*, n. 32, 2019, p. 288–309.
- MORI, S.; SPICER, D.E.; ANDERSON, R.H. Revisiting the anatomy of the living heart. *Circ J* 80, 2016, p. 24–33.
- NICOLACI-DA-COSTA, A.M. O campo da pesquisa qualitativa e o Método de Explicitação do Discurso Subjacente (MEDS). *Psicol. Reflex. Crit.* [online]. 2007, v. 20, n. 1, p. 65-73.
- OLIVEIRA, M.K. *Vygotski: Aprendizado e desenvolvimento, um processo sócio-histórico*. 4 ed. São Paulo: Scipione, 1997.
- ORLIKOWSKI, W. J.; BAROUDI, J. Studying Information Technology in Organizations. *Information Systems Research*, v. 2, n.1, 1991, p. 1-28.
- PAL, P. An easy rapid prototyping technique with point cloud data. *RAP PROTO J*, v. 7, n. 2, 2001, p. 82-89.
- PEFFERS, K.; TUUNANEN T.; ROTHENBERGER M. A. et al. A design science research methodology for information systems research. *Journal of Management Information Systems (JMIS)*, v. 24, n. 3, 2008, p. 45-77.
- PIMENTEL, M. Estudo de caso em sistemas colaborativos. In: PIMENTEL,

M.; FUKS, H. (org.) *Sistemas Colaborativos*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011. Disponível em: <<http://sistemascolaborativos.uniriotec.br/wp-content/uploads/sites/18/2019/06/SC-cap25-estudocaso.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2019.

PIMENTEL, M. et al. Design Science Research: pesquisa científica para o desenvolvimento de artefatos inovadores. In: Araujo, R.M.; CHUERI, L.O.V. (Org.). *Pesquisa e Inovação: Visões e interseções*. Rio de Janeiro: Publit, 2017, p. 47-66.

PIMENTEL, M. et al. DSR-Model: a model to think-do Design Science. *IEEE Transactions on Engineering Management – Special Issue on Design Science Research in Information Systems and Technology*. 2019, no prelo.

PIMENTEL, M. Um Pesquisador em Computação em Busca de um Modo de FazerPensar Pesquisas em Informática na Educação. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, v. 26, n. 1, 2018, p. 51-69.

PIMENTEL, M.; FILIPPO, D.; SANTORO, F.M. Design Science Research: fazendo pesquisas científicas rigorosas atreladas ao desenvolvimento de artefatos computacionais projetados para a educação. In: JAQUES, P.A.; PIMENTEL, M.; SIQUEIRA, S.; BITTENCOURT, I. (Org.) *Metodologia de Pesquisa em Informática na Educação: Concepção da Pesquisa*. Porto Alegre: SBC, 2019. Disponível em: <<https://metodologia.ceie-br.org/livro-1/>>.

POGGESI, M. *Encyclopedia Anatomica*. Colônia, Alemanha: Taschen, 1999.

PORTER, R. *Flesh in the Age of Reason*. 1 ed. W.W. Norton & Company, 2003.

PORTER, R. *The Cambridge illustrated history of medicine*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

PREIM, B.; BOTHA, C. *Visual computing for medicine*. Elsevier, 2014.

PREIM, B.; HAGEN, H. HCI in Medical Visualization. *Scientific Visualization: Interactions, Features Metaphors*, v. 2, p. 292-310, 2011.

PROPEDÊUTICA. In: Wikipedia. Documento online: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Proped%C3%AAutica>. Acesso em: 08/01/2020.

PURVESA, D. et al. How biological vision succeeds in the physical world. *PNAS*, v. 111, n. 13, abr. 2014.

- RIFKIN, BA. *Human anatomy: five centuries of art and science*. Abrams, 2006.
- ROMEIRO, V. *Semiologia médica*. São Paulo: Editora Guanabara Koogan, 1980. 12 ed.
- SAKAS, G.; WALTER, S. Extracting surfaces from fuzzy 3D-ultrasound data. *In Proc. of ACM*.
- SAMPIERI, R.H.; LUCIO, P.B. *Metodologia de pesquisa*. Porto Alegre: Penso, 2013. 5 ed.
- SANDERS, E. B.-N. *Information, inspiration and co-creation*. The 6th International Conference of the European Academy of Design. Bremen, 2005.
- SANTAELLA, L. O homem e as máquinas. In: DOMINGUES, D. (Org.). *A Arte no século XXI: a humanização das tecnologias*. São Paulo: Ed. da UNESP, 1997, p. 33-44.
- SIMON, H. A. *The sciences of the artificial*. Cambridge: MIT Press, 1996.
- STAPPERS, P.; GIACCARDI, E. Research through Design. *The Encyclopedia o Human-Computer Interaction, 2nd Ed*. Copenhagen: Interaction Design Foundation. Disponível em: <<https://www.interaction-design.org/literature/book/the-encyclopedia-of-human-computer-interaction-2nd-ed/research-through-design>>. Acesso em: 18 jan. 2020.
- TVERSKY, A.; KAHNEMAN, D. Judgement Under Uncertainty: Heuristics and Biases. *Sciences, New Series*, v. 185, n. 4157, 1974.
- ULBRICHT, R.V.; BRAGA, G.C.M. Revisão sistemática quantitativa: identificação das teorias cognitivas que apoiam o design de interface no uso da realidade aumentada na aprendizagem, v. 5, n. 1, jan.-abr. 2011.
- VARELA, F.; MATURANA, H. R. *A árvore do conhecimento*. São Paulo: Palas Athena, 2001.
- VESALIUS, A. *De humani corporis fabrica. Tabulae sex/ Ilustrações e comentários dos trabalhos anatômicos: Ateliê Editorial*. São Paulo Imprensa Oficial do Estado: Editora Unicamp, 2002.
- VYGOTSKI, L.S. *A construção do pensamento e da linguagem*. São Paulo: Martins Fontes, 2000.
- VYGOTSKI, L.S. *A formação social da mente*. 4 ed. São Paulo: Martins Fontes, 1991.

VYGOTSKI, L.S. *Formação social da mente*. São Paulo: Martins Fontes, 1987.

VYGOTSKI, L.S. *Psicologia da arte*. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

WALSHAM, G. *Interpreting Information Systems in Organizations*. Chichester, 1993, p. 4-5.

WALSHAM, G. Interpretive case studies in IS research: nature and method. *European Journal of Information Systems*, v. 4, 1995, p.74-81.

YIN, R. K. *Estudo de Caso: Planejamento e Métodos*. 5 ed. Porto Alegre, Bookman, 2015.

ZHU, M. et al. A Novel Augmented Reality System for Displaying Inferior Alveolar Nerve Bundles in Maxillofacial Surgery. *Scientific Reports*, v. 7, 2017.

Apêndice 1: Questionário respondido por e-mail no dia 7/3/2017 pelo Dr. Rui Hadad

1) O que o 3D acrescenta ao 2D?

As necessidades de imagens em 3D advêm principalmente do uso da cirurgia robótica, cuja imagem é 3D - HD. Assim imagem do exame radiográfico 3D é mais fidedigna para uso nesse contexto. O console da cirurgia robótica permite que sejam acoplados outros dispositivos que são projetados dentro do campo de visão do cirurgião. Assim, colocar por exemplo um Ipad conectado com o console de cirurgia robótica e ver no console a imagem 3D do caso que está sendo operado, será de imensa utilidade.

2) Em que a Realidade Aumentada acrescenta ao planejamento cirúrgico?

A possibilidade de colocar as imagens obtidas pelo programa na mesma posição do paciente que se está operando com o toque de um dedo num iPad. Para isso precisamos de ter a imagem da realidade aumentada mais estável e mais fixa do a que tive a oportunidade de ver com o Leonardo.

3) Quais são os requisitos mínimos para que os modelos 3D sejam os mais fidedignos possíveis?

Separar por cores as estruturas artérias (brancas), veias (azuis) e brônquios (verdes), delimitar segmentos e posicionar o tumor (vermelho ou preto) dentro do modelo.

4) O que poderia ser feito com esta tecnologia para a melhoria dos seus resultados?

Possibilitar o conhecimento das estruturas anatômicas com suas variantes, permitindo que se "opere" virtualmente a lesão no computador.

5) Citar outros pontos relevantes para desenvolvimento de uma solução para desktop e mobile?

1. Acho que as duas plataformas (desktop e tablet/smartphone) devem ser feitas possibilitando o planejamento da cirurgia no desktop e o uso da imagem em

realidade aumentada durante o ato cirúrgico no tablet ou telefone celular. 2. Conforme eu disse, a imagem em RA deve ser mais estável e fácil de manusear (rodar, inverter, remover estruturas, colocá-las de volta, etc.). 3. O app deve ser fácil e intuitivo e ter um tempo de construção das imagens o mais rápido possível.

Apêndice 2: Transcrição da entrevista com Dr. Rui Haddad, 6 de março de 2018

Leonardo: Rui, vamos começar, vamos dar prosseguimento à nossa primeira entrevista (Apêndice 1). Hoje é dia 6 de março de 2018. Então, só para a gente fazer um resumo, há 10 dias atrás teve a cirurgia, né?

Rui: OK.

Leonardo: Então, a ideia aqui, eu vou te fazer algumas perguntas, mas a ideia é para a gente tentar entender, tanto você quanto eu, qual foi a experiência de usar essas tecnologias, vamos chamar de uma tecnologia 3D de realidade aumentada, e como isso mudou o seu procedimento. Então, uma questão... primeiro para a gente fazer uma reflexão, sobre quais são os pressupostos que você tem dessa tecnologia na utilização na tua área?

Rui: Bom, na primeira entrevista eu estava dizendo da importância da gente conseguir um método que reconstrua em 3D a anatomia que vai ser operada, e a visão que eu tinha na época, e continuo tendo a mesma visão, é pra permitir que eu faça a cirurgia no computador antes da própria cirurgia. Ou seja, eu tenho um modelo tridimensional que eu sei aonde estão as artérias, os ramos arteriais lobares, onde estão as veias e seus ramos. Existem muitas variações anatômicas, tanto de veias quanto de artérias no pulmão, então às vezes você tem duas artérias lobares, às vezes você tem cinco, às vezes três, às vezes tem uma, então isso aí, o conhecimento disso é importante. E as veias também, por exemplo a veia do lobo médio sai da veia do lobo superior normalmente, mas às vezes sai da do inferior e às vezes sai do átrio. Você tem alguns marcadores, que a gente chama de *landmarks*, que são importantíssimos na execução da cirurgia. Então eu tenho algumas coisas que eu tenho que procurar teoricamente durante o procedimento, e se eu já souber, já tiver essas informações antes da cirurgia, isso vai me facilitar muito, eu vou perder muito menos tempo.

Leonardo: Agora, você sente que você... porque na verdade quando você usa os métodos convencionais, você vê em 2D e você raciocina em 3D. Você acha que, você sente que tem uma mudança quando você viu o 3D antes da cirurgia e

comparou o 3D na cirurgia?

Rui: Não. Acho que nessa primeira experiência nossa, não. Ainda não. O que para mim foi importante nesse caso? Importante foi que eu achei que tinha um colarinho na artéria, a gente achava no início que talvez tivesse que fazer uma plástica da artéria, porque era um paciente que a gente não podia tirar o pulmão inteiro e a lesão invadia nitidamente o primeiro ramo da artéria, isso aí antigamente se faria uma pneumectomia na paciente, mas o colarinho que vimos na reconstrução 3D realmente existia e permitiu que fizéssemos a cirurgia não só conservadora, mas também minimamente invasiva, por vídeo.

Leonardo: Pneumectomia é tirar todo o pulmão?

Rui: Tirar todo o pulmão. Eu tenho de alguns anos para cá evitado ao máximo fazer pneumectomia. Existe uma frase de um cirurgião canadense de Quebec que diz que “pneumectomia é uma doença”, ou seja, você substitui uma doença por outra, às vezes até pior. Então tenho feito cirurgias reconstrutivas brônquicas, cirurgias reconstrutivas arteriais, e são procedimentos que usualmente não dá para fazer por vídeo. Tem alguns centros na Europa, nos Estados Unidos, Japão e na China que fazem por vídeo, mas são poucas pessoas no mundo que fazem isso, que conseguem fazer uma sutura arterial perfeita por vídeo. Ou até mesmo com cirurgia robótica pode ser um procedimento bem complexo para ser feito. Então resolvemos tentar fazer a cirurgia por vídeo, porque eu sabia pelo processo que foi feito em 3D que só tinha invasão do primeiro ramo da artéria, tinha um possível colarinho e o resto estava tudo livre. Então eu falei, vamos tentar, se a gente conseguir liberar o primeiro ramo da artéria, a cirurgia sai toda por vídeo. E foi o que aconteceu, a doente evoluiu muito bem, teve alta com 5 dias e teve que fazer um bloqueio paravertebral no segundo ou terceiro dia de pós-operatório por causa de dor, que é incomum nesse tipo de paciente, mas teve alta no quinto dia de pós-operatório e está muito bem em casa, e conseguimos poupar o lobo inferior dela, a gente não precisou retirar o lobo inferior. Ou seja, isso aí me ajudou de uma forma que ainda não é o que eu tenho em mente para usar com essa plataforma. A minha ideia é que essa plataforma ajude na segmentação pulmonar, a fazer segmentectomia anatômica por cirurgia robótica, esse é o objetivo principal. Mas até agora a gente conseguiu com esse modelo, com esse primeiro caso, mostrar que tudo que a gente quer fazer pode e vai ser possível, mas a gente ainda não fez.

Leonardo: Rui, eu mandei para você e eu vou publicar esse questionário,

então eu não vou fazer as mesmas perguntas. Você já leu, e aí eu te pergunto, você mudaria alguma coisa, te chamou atenção, como você viu antes e como você vê agora? E teria alguma coisa que você mudaria nas suas respostas do primeiro questionário?

Rui: Teria. Teria porque, eu me lembro que em uma das respostas do questionário eu disse várias vezes, duas ou três vezes, que a gente precisava de uma imagem mais estável. Lembra disso? A gente tinha uma imagem muito instável no início. E a imagem atual ela é absolutamente aquela que eu quero. Talvez estender um pouquinho mais a anatomia vascular, mais para a periferia do pulmão para pegar regiões sublobares. Até subsegmentares, se for o caso. Em alguns casos especiais, a gente vai precisar disso, se for possível, estender isso. Mas agora a gente conseguiu estabilidade. Eu lembro que as primeiras reconstruções eram muito difíceis de você ver, eu dizia que eram instáveis e agora não, agora são perfeitamente estáveis, a gente conseguiu com o MD3MIX ter uma estabilidade muito grande e essas duas reconstruções, da realidade virtual e da realidade aumentada, elas se complementam de uma forma maravilhosa. Acho que isso vai ajudar muito futuramente. Eu mostrei isso para o cirurgião de São Paulo que vem opera as cirurgias robóticas com a gente, que é sócio nosso, e ele ficou absolutamente alucinado com o cubo, queria sequestrar o cubo (Figura A1).

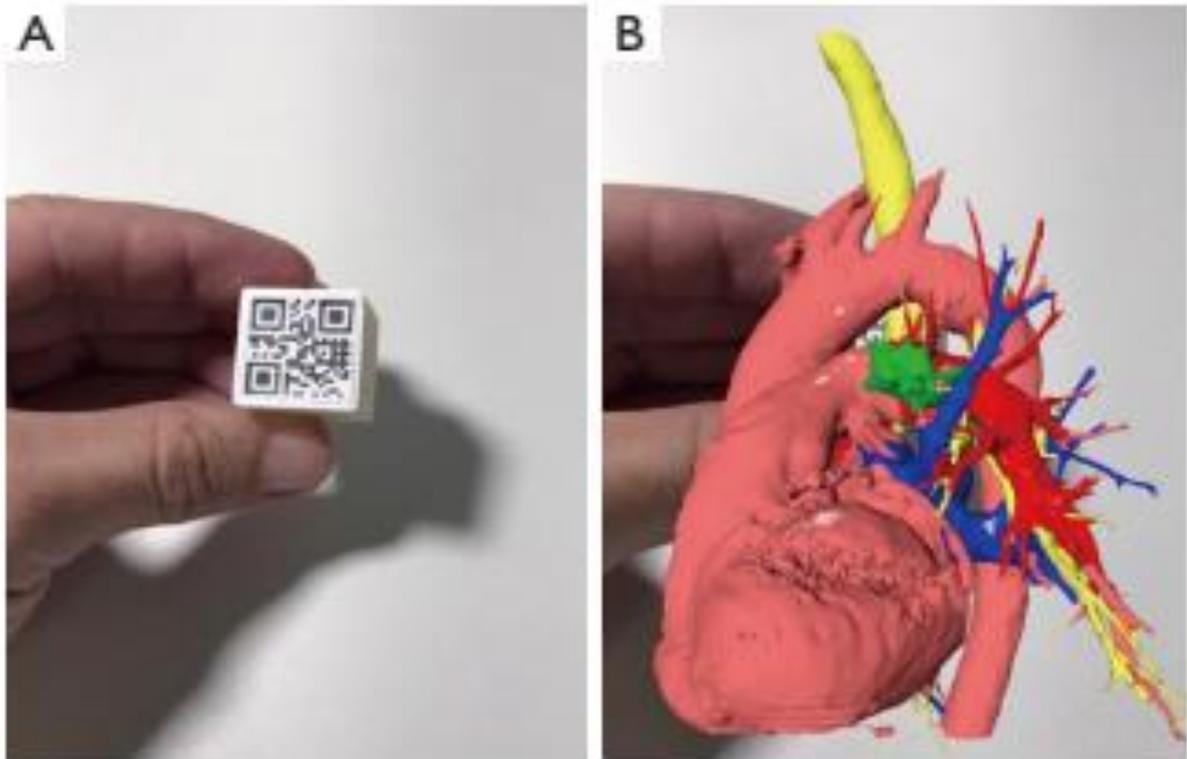


Figura A1 - QR code no “cubo” e a imagem projetada em Realidade Aumentada. Fonte: FRAJHOF, L. et al. Virtual reality, mixed reality and augmented reality in surgical planning for video or robotically assisted thoracoscopic anatomic resections for treatment of lung cancer. *Journal of Visualized Surgery*, n. 4, 2018.

Leonardo: Virou cubo mágico, né? Então eu vou te fazer seis perguntas, e você pode responder objetivamente ou se você quiser falar um pouco mais fica à vontade. Então, cite quais são os requisitos necessários para o planejamento com realidade aumentada? Quer dizer, a gente teve, dentro do grupo, a gente criou um grupo de WhatsApp e foi muito enriquecedor, e tivemos alguns *insights* muito bons em conjunto. Então, qual você vê, quais são os requisitos necessários para ter nessa tecnologia de realidade aumentada?

Rui: Bom, o primeiro deles, que foi uma coisa que a gente demonstrou nessa primeira cirurgia e que certamente vai demonstrar nas próximas é fidelidade. Acho que o mais importante para mim é fidelidade anatômica. Isso é uma coisa que a gente demorou um pouquinho até conseguir botar o tumor do tamanho que ele era, você lembra? Isso é uma coisa que acho que a gente vai aprender com o tempo, vai gastar algum tempo para aprender isso. Então é a primeira grande coisa. Não posso ter uma ideia da anatomia pelo modelo 3D, e chegar na hora da cirurgia e encontrar uma outra coisa. Para mim acho que esse é o mais importante. Além disso porque a gente conseguiu um modelo muito estável e fiel, um modelo que consigo

mudar e botar em qualquer posição que eu quiser no tablet ou no celular, que é a reconstrução 3D que é espetacular, eu não mexeria nisso não.

Leonardo: E foi interessante, particularmente para mim, como a gente desconstruiu o artefato né? Quando a gente pegou, mudou o limiar, e aí o tumor ficou do tamanho certo né?

Rui: É, eu acho que o nosso modelo ele ainda ficou um pouquinho maior do que ele era na realidade. Você viu a peça?

Leonardo: Aham.

Rui: Quando a patologista abriu a peça, achei que ele era menor do que estava no modelo. Uma coisa que eu achava interessante colocar nesse sistema, se fosse possível era uma régua.

Leonardo: Ah, sim, isso é um requisito legal.

Rui: Dentro desse aplicativo. Por que eu vou te dizer isso, isso é já pensando adiante, nas segmentectomias robóticas, é para você projetar o tumor dentro do lobo, dentro do segmento, e medir a distância do fim de segmento. Eu tenho que ter no mínimo um centímetro de margem. Isso é uma coisa interessante para botar dentro do aplicativo.

Leonardo: Ok. Cite em que maneira as imagens 3D em realidade aumentada poderiam auxiliar na cirurgia e na tomada de decisão? Nas duas situações.

Rui: Exatamente o que estou dizendo, as medidas. Então eu vou medir o tamanho da lesão, a distância da lesão para o plano intersegmentar. Você tem o pulmão, o pulmão é feito por lobos, os lobos são feitos por segmentos. E os segmentos são muito bem definidos, você tem um plano, que é chamado de plano intersegmentar, e dentro desse plano tem uma veia, que é a veia do segmento, e ela transita pelo plano intersegmentar. Então o conhecimento de distâncias numa lobectomia robótica é muito importante. E também da distância da lesão para o brônquio, que eu vou ressecar. Então tudo isso, a distância para o brônquio tem que ser no mínimo dois centímetros, a distância dos planos intersegmentares tem que ter mais de um centímetro para poder considerar aquela cirurgia como uma cirurgia curativa. Eu digo que a gente só vai fazer segmentectomia robótica nos doentes que não puderem ser submetidos à lobectomia ou em lesões múltiplas, a gente tem visto muito essas lesões múltiplas hoje em dia. Se for uma lesão múltipla às vezes eu faço uma lobectomia de duas ou três lesões e faço uma segmentectomia para retirar uma

ou duas outras. Isso é um quadro bastante comum hoje, de lesões multicêntricas que eu tenho que fazer múltiplas ressecções. Então tenho que fazer ressecções menores, em lesões abaixo de dois centímetros a segmentectomia anatômica, que é essa que disseca pelos planos intersegmentares e faz ressecção dos linfáticos correspondentes àquele segmento que você retirou é tão boa para curar o doente quando uma lobectomia nas lesões abaixo de dois centímetros. Então vai ser a cirurgia de escolha. Hoje o paciente está vivendo mais e tem algumas doenças em que o paciente apresenta outros tumores no pulmão, e a gente vai conseguir curar esses pacientes com cirurgias menores, se as lesões forem pequenas.

Leonardo: Rui, então se eu entendi, ela é importante tanto na tomada de decisão –

Rui: Exato, se eu vou tirar o segmento ou o lobo, ou dois segmentos, ou três segmentos... ou fazer uma basalectomia, por exemplo, se a lesão estiver entre, na junção, de três segmentos eu vou ter que retirar talvez o lobo inteiro ou se for um lobo inferior, retirar os segmentos basais, você pode manter o segmento superior do lobo inferior. São todas cirurgias muito mais difíceis do que a lobectomia, mas é uma tendência atual de você fazer uma cirurgia menor em lesões pequenas. Mas é isso que estou dizendo, o conhecimento do exato plano intersegmentar é fundamental para a tomada de decisão, do quanto que vou retirar, a medida da cissura dos planos intersegmentares, da distancia do tumor e do tumor para o brônquio que eu vou ressecar também. Então a tomada de decisão é importante, e no planejamento cirúrgico é muito importante também.

Leonardo: Agora você acha que no ato operatório, de você fazer a transposição da imagem virtual, como realidade aumentada sobre o corpo do paciente, ela tem alguma importância?

Rui: Não, mas eu tenho uma outra ideia do que fazer com isso, que se a gente conseguir uma reprodutibilidade muito boa nesse particular, que é ver dentro do corpo do paciente, aquela lesão, naquela reconstrução, eu posso não usar radioscopia para posicionar agulha, para marcar a lesão com tinta. Isso é uma coisa que talvez dê para fazer com esse modelo.

Leonardo: Ah, legal.

Rui: Tem uma utilidade muito grande que seria na marcação das lesões. Tem lesão de oito milímetros que eu vou operar que está dois centímetros para dentro do pulmão, que quero retirar e não enxergo e não palpo na cirurgia por vídeo,

então eu boto isso numa sala especial, que é uma sala híbrida, e a gente bota um corante na proximidade do nódulo e faz uma ressecção daquela área marcada com o corante por vídeo. A gente fez isso agora recentemente lá no Copa Star e foi muito bem, era uma lesão benigna, e foi retirada, o cliente ficou internado dois dias e foi embora para casa.

Leonardo: Tá ótimo. Então, quais são as modalidades de imagem que você utiliza para o seu planejamento cirúrgico?

Rui: No OsiriX (um software de processamento de imagem que possui ao mesmo tempo funções para o processamento de imagens e recursos para investigações médicas) eu faço as reconstruções...

Leonardo: Mas quais os métodos? Tomografia computadorizada...

Rui: Só.

Leonardo: Só tomografia?

Rui: Para planejamento cirúrgico, estrategicamente falando, anatômico é angiotomografia. Eu pedi ao pessoal do PET agora para fazer o PET com contraste venoso.

Leonardo: E você usa o OsiriX?

Rui: OsiriX. Mas eu não tenho essa prática toda para fazer reconstrução vascular perfeita. Então o que eu vejo, eu sigo os vasos, vejo mais ou menos onde é que eles estão. Mas eu não tenho... a ideia que eu tenho no meu planejamento atual é uma ideia muito boa, vejo as veias, se tem as duas veias, onde é que está vindo a veia do lobo médio, usualmente faço isso de rotina, vejo quantos ramos arteriais tem, mas às vezes não é tão bom quanto a visão 3D.

Leonardo: Então, nessa experiência que você teve agora, isso efetivamente foi diferente e te ajudou?

Rui: Foi diferente. Acho que vai ajudar mais ainda nos casos futuros.

Leonardo: Ia te perguntar mas vou pular, “descreva as limitações das tecnologias de imagem atuais”, você já falou. O que a realidade aumentada em 3D acrescenta a seu planejamento cirúrgico? Acho que você também já respondeu, né?

Rui: É.

Leonardo: O que poderia ser feito com essa tecnologia para a melhoria dos seus resultados?

Rui: Isso é bem difícil dizer. Melhoria de resultado é uma coisa que é longo prazo.

Leonardo: Pois é, ajudaria na tomada de decisão?

Rui: Ajudaria na tomada de decisão. No que fazer, né. Aquele trabalho de Pittsburg que mandei para vocês, aquele trabalho é muito interessante. Ele fala exatamente do cálculo daquele software dele de segmentação. Ele fala exatamente da importância das distâncias na tomada de decisão. Você vai fazer uma bisegmentectomia... você pode fazer vários tipos de cirurgia. Pneumectomia é a retirada do pulmão inteiro, lobectomia é a retirada do lobo, a segmentectomia anatômica é a retirada do segmento com ligadura da artéria, do brônquio, às vezes liga as veias separadamente as vezes não, dependendo do segmento, você grampeia aquilo ali a veia sai junto, e tem as ressecções subsegmentares, entre elas a mais usada delas é chamada *wedge*, que é a ressecção em cunha, onde você bota um *stapler* de cada lado da lesão e tira aquela cunha com a lesão no meio. Ou usa mais grampos, as vezes precisa três, quatro grampos para retirar a cunha. Mas a ressecção em cunha para câncer de pulmão primário ela é não é muito boa, ela tem um índice de recidiva muito alto. Porque você deixe de ressecar os linfáticos proximais à lesão, e a recidiva geralmente é ali. Já a segmentectomia, como você diseca a artéria e o brônquio e tira o segmento da artéria e do brônquio para cima, você praticamente puxa aquele segmento, ele sai inteiro e ele sai com todos os linfáticos. Então isso faz uma diferença muito grande nessas lesões, e diminui o índice de recidiva ao nível de uma lobectomia. Então eu acho que passa a ser sim uma cirurgia de escolha e passa a ser nas lesões pequenas um novo objetivo nosso que esse programa vai certamente facilitar.

Leonardo: Rui, muito bem, obrigada.

Apêndice 3: Transcrição de vídeo: Entrevista com Dr. Rui Haddad¹⁶

Dr. Leonardo Frajhof: Esse vídeo é o primeiro de uma série gravada como material do estudo de caso à tese de doutoramento *Propedêutica Multidimensional na Tomada de Decisão Clínica Apoiando a Comunicação*, a ser defendida no Departamento de Artes e Design da PUC-Rio em 2019. A intenção desse material é abordar o tema de como a visualização tridimensional interativa apoia o diagnóstico, em um diálogo com médicos clínicos, radiologistas e cirurgiões. Bom dia, eu sou Leonardo Frajhof, médico clínico geral. Hoje vamos entrevistar Dr. Rui Haddad, cirurgião torácico, professor da Escola de Pós-Graduação de Medicina da PUC-Rio, sobre o valor da visualização tridimensional interativa para o apoio a diagnóstico, e como essa tecnologia pode transformar a tomada de decisão. Rui, a gente vem trabalhando já há algum tempo, primeiro com o celular tridimensional, mas eu queria agora que a gente conversasse sobre a sua experiência com os óculos de Realidade Aumentada. O que você, que já passou por todas essas fases, desde uma cirurgia e o uso do celular, e agora qual é a sua experiência com o uso dos óculos de Realidade Aumentada?

Dr. Rui Haddad: Bom dia. Eu fiquei bastante impressionado com a técnica que vocês desenvolveram, ela permite que a gente visualize um modelo tridimensional de uma estrutura que a gente vai operar. Eu tive a experiência com duas estruturas, o pulmão que é a minha área, e o fígado que eu vi, você me mostrou. Isso eu acho que tem grande impacto no planejamento da cirurgia. Basicamente, o impacto que eu vejo nisso, ele serve tanto para diagnóstico quanto para tratamento, porque é muito importante a gente saber a localização da lesão quando for fazer um procedimento cirúrgico. E saber a anatomia muscular, e no caso do pulmão a anatomia brônquica, que é variável, ela não é uma coisa fixa. Então se eu for num livro de anatomia, estudar a anatomia daquele órgão, daquele segmento que eu vou

¹⁶ Os registros em vídeo das entrevistas podem ser encontrados por meio do seguinte link, no Google Drive: <<https://drive.google.com/open?id=1DAaSmHVO2342LZQz91R-vzKQF4DREuvO>>.

operar, eu posso encontrar uma variação anatômica que ocorre em cerca de 15 a 20% dos casos. Então conhecer a anatomia antes do procedimento cirúrgico, poder interagir com ela, da forma que é possível fazer com o uso do óculos é fundamental no planejamento de um procedimento cirúrgico atual.

Dr. Frajhof: Rui, como é que você vê essa transformação, que a gente desde estudante há até pouco tempo atrás a gente via isso em tela plana, livros, então a gente passa de um mundo bidimensional para um mundo tridimensional. Como é que você vê esse impacto, como isso impacta a nós médicos, em tomada de decisão?

Dr. Haddad: É um grande avanço. Em 2016 nós começamos a fazer cirurgia torácica robótica, e a cirurgia robótica, ela permite que a gente veja o campo cirúrgico em três dimensões. Então eu tenho uma sensação de profundidade muito boa, isso me permite a dissecação das estruturas com muito mais precisão. Além disso, o robô, ele tem o movimento da pinça similar ao movimento da mão humana, então isso ajuda muito. E o conhecimento anatômico prévio através de modelos tridimensionais como esses que estão sendo desenvolvidos ajuda fundamentalmente. Eu vivi todas as etapas da medicina, tenho mais de cinquenta anos de medicina. Então eu vi tudo, a evolução da medicina desde a cirurgia aberta, a fase das 'grandes incisões, grandes cirurgias', que é o que se dizia na década de 70, até hoje onde a gente opera qualquer coisa com quatro incisões de 8mm e uma incisão de 11mm, que é o que se usa na cirurgia robótica. Passando pela vídeo, também, que é ainda uma grande arma na cirurgia moderna. Vídeo não está acabada por causa da robótica, elas duas se complementam. E essa técnica do óculos, ela também é muito adequada para cirurgia torácica videoassistida.

Dr. Frajhof: O que eu achei muito interessante, foi como anteriormente, antes dos óculos, como que a gente fez uma forma de comunicação no WhatsApp. Você consegue imaginar, ou prospectar, como é que vai ser esse tipo de comunicação no momento em que você possa através de óculos visualizar isso junto com outros profissionais?

Dr. Haddad: Isso vai ser fundamental, tanto no desenvolvimento da técnica quanto no ensino da técnica. Então, o impacto vai ser muito grande. O que acontece numa cirurgia robótica hoje? Uma cirurgia robótica hoje, usualmente, você pode trabalhar com dois consoles. Usualmente, você tem duas pessoas vendo tridimensionalmente. Mas a maioria dos hospitais do Brasil tem um console só. Então, só o cirurgião vê a cirurgia em 3D, os auxiliares não veem a cirurgia em 3D.

Eu acho que com o uso do óculos todo mundo vai poder ver a cirurgia em 3D, e é para lá que estamos evoluindo. Hoje, nós temos um ou dois robôs só em uso, um só que é difundido mundialmente mas nós temos mais de 20 sendo desenvolvidos para serem jogados no mercado. E muitos deles não usam mais console, usam televisão com 3D e alguns desses projetos usam óculos para você visualizar, o que é muito interessante. Eu vejo isso como um grande avanço, principalmente no ensino da cirurgia.

Dr. Frajhof: Vou te fazer duas perguntas. Uma pergunta é que no meio de todo o mestrado e doutorado, eu me perguntava pra que a gente precisava saber o nome dos órgãos, já que a gente visualiza. Porque essa linguagem que a gente tinha oral e escrita, servia para algo que você só descobria quando abria os corpos. E eu vivia me perguntando se a gente precisa de dar nome pra artéria, de dar nome pra pulmão. Então, existe uma questão de linguagem. Você acha que, além disso, no futuro, isso é uma nova forma – a gente sabe que é uma comunicação diferente, mas é uma nova forma de linguagem, visual?

Dr. Haddad: Certamente. Visual, sim. Linguística eu acho que não. Já tem tudo definido, anatomia já definida, as artérias todas já tem nome, os brônquios já tem nome, os segmentos já tem nome... mas do ponto de vista visual, sem a menor sombra de dúvida.

Dr. Frajhof: Rui, você acha que esse tipo de tecnologia, de Realidade Aumentada com óculos, ela caberia numa relação médico-paciente? Você apresentar o caso que você vai operar para o paciente, através da Realidade Aumentada, com óculos? Você acha que ajudaria o entendimento do paciente?

Dr. Haddad: Eu acho que sim. Acho que você mostra a cirurgia para o paciente... não são todos os pacientes que têm capacidade de absorver isso, acho que num país de primeiro mundo, por exemplo, mais do que talvez no Brasil, num paciente do SUS, que tenha uma capacidade de compreensão talvez um pouco menos aguçada. Mas eu acho que como uma demonstração do paciente, falar ‘olha eu vou tirar um segmento, porque o seu nódulo está situado a 2 cm de uma margem, a 2cm da outra, eu vou conseguir tirar a lesão toda, com isso eu vou tirar os linfáticos também’... para explicar esse tipo de procedimento, eu acho que sim.

Dr. Frajhof: Eu vou fazer duas perguntas basicamente técnicas, que é sobre quais foram as facilidades e dificuldades. Então eu vou fazer a pergunta, se a gente não responder eu volto a pergunta. O que você achou dos óculos? O que sentiu

ao usar os óculos, como foi essa interação? Quais facilidades, quais dificuldades? O que você acha, do que ali foi produzido, o que deve ser mantido, e o que deveria ser modificado?

Dr. Haddad: Eu acho que o médico cirurgião vai precisar de um treinamento específico para usar os óculos. Não achei que foi fácil a interação com as imagens, porque foi a primeira vez, talvez a segunda vez que tive essa interação e por um tempo muito pequeno. Mas eu acho que um treinamentozinho, de talvez uma hora, o médico vai ficar bastante familiarizado com aquilo ali e vai conseguir tudo que ele quiser do ponto de vista de planejamento terapêutico. Não vejo grandes melhorias a serem feitas nesse padrão de imagem que vocês já atingiram, não.

Dr. Frajhof: Uhum. Quer dizer, a gente tem uma dificuldade de interação, né, e você acha que ele te facilita alguma coisa? Vamos pensar disso como uma tecnologia de visualização, te facilita alguma coisa?

Dr. Haddad: Muito, facilita muito.

Dr. Frajhof: Porque eu estou pensando muito na coisa, quando a gente experimentou o celular, que você tinha a mesma imagem em realidade aumentada, você ainda tinha uma interação com a tela, e ali você tinha uma interação direta.

Dr. Haddad: Facilita, porque você pode, e é uma coisa que eu achei espetacular ali, você segmenta tudo. Então eu posso pegar, tirar as artérias, separar as artérias do modelo, colocar separadas e virar de um lado pro outro e estudar aquilo ali. Eu posso tirar as artérias e um tumor junto, por exemplo, se eu for operar um tumor de pulmão, estudar a interação dela com a artéria. Então eu acho que, sem a menor sombra de dúvidas, se no telefone celular, no iPad, no tablet, aquilo já era um avanço, com os óculos eu acho que é um avanço muito maior.

Dr. Frajhof: Ok Rui, muito obrigado por fazer essa entrevista conosco.

Dr. Haddad: Foi um prazer muito grande.

Apêndice 4: Transcrição de vídeo: Entrevista com Dr. Rui Haddad (continuação)

Dr. Haddad: Bom, vendo isso na perspectiva de futuro nós temos talvez duas centenas de modelos de robôs sendo produzidos. Já temos um autorizado pela FDI, dos Estados Unidos, que é modular. Então o que eu acho importante de explicar, é que hoje todas as cirurgias devem ser feitas com técnicas minimamente invasivas, que são técnicas que sangram menos, causam menos dor no paciente, causam menos infecção, o paciente recupera-se muito mais rápido... e entre as cirurgias minimamente invasivas nós temos a vídeo, que vem desde a década de 90, ou até de 80... 90 foi a parte torácica, 80 foi a parte abdominal. E a cirurgia robótica, que é uma cirurgia mais recente. E esses robôs estão evoluindo de forma muito rápida, como toda a tecnologia que a gente vem acompanhando nos últimos anos. O DaVinci, que é o robô que existe hoje, ele é uma plataforma única, todos os braços saem de um mesmo pedestal, por assim dizer. Mas é realmente espetacular, é mesmo muito prático e tem que se fazer um treinamento específico para aquilo ali. Mas os robôs que vêm aí eles são braços independentes que você pode colocar em qualquer lugar dentro da sala de cirurgia. Então você coloca um braço do lado direito e o outro do lado esquerdo do paciente, um braço pode entrar pela cabeça e o outro braço entrar por baixo, e isso facilita muito o procedimento cirúrgico e é muito melhor do que se você operar com uma estrutura fixa. Então o que vem por aí é uma coisa extraordinária, que eu acho que vai impactar muito nos resultados da cirurgia e hoje, a parte de cirurgia torácica por exemplo, já tem trabalhos mostrando que a cirurgia robótica tem um índice de cura maior do que a cirurgia de vídeo, maior ainda do que a cirurgia aberta, por várias razões técnicas que o robô, como uma estrutura de alta tecnologia, permite que nós utilizemos.

Dr. Frajhof: E de certa, você que vivenciou tudo isso, da cirurgia aberta para uma cirurgia minimamente invasiva, na parte de diagnóstico a gente está vendo isso. Que agora você tem uma questão da visualização que ela está acompanhando o desenvolvimento que teve na parte terapêutica.

Dr. Haddad: É, a computação revolucionou toda a medicina. Isso é uma coisa muito importante que seja dita, tudo vem do desenvolvimento da tecnologia

computacional. E está sendo utilizado cada vez mais em cirurgia também, com grandes benefícios pro paciente. Ela ainda é um procedimento mais caro do que os outros, mas eu acho que quando você faz uma análise de custos, e isso é muito importante que seja dito, não se leva em conta o tempo de recuperação do paciente, a volta dele ao trabalho, nada disso é computado nas análises de custo. As análises de custo feitas hoje visam apenas o que você gastou pra fazer aquilo ali. O benefício social que essa cirurgia traz, isso não é computado. E isso aí que eu acho que é grande segredo e o grande objetivo da cirurgia minimamente invasiva.

Apêndice 5: Transcrição de vídeo: Entrevista com Dr. Heron Werner

Dr. Leonardo Frajhof: Esse vídeo é o segundo de uma série gravada como material de estudo de caso à tese de doutoramento *Propedêutica Multidimensional na Tomada de Decisão Clínica Apoiando a Comunicação*, a ser defendida no Departamento de Artes e Design da PUC-Rio em 2019. A intenção desse material é abordar o tema de como a visualização tridimensional interativa apoia o diagnóstico, em um diálogo com médicos clínicos, radiologistas e cirurgiões. Bom dia, eu sou Leonardo Frajhof, médico clínico geral. Hoje vamos entrevistar Heron Werner, que é especializado em medicina fetal e trabalha no Dasa, sobre o valor da visualização tridimensional interativa para o apoio a diagnóstico, e como essa tecnologia pode transformar a decisão médica. Heron, a gente teve mais do que uma, duas experiências com o uso dos óculos de realidade aumentada. Então eu queria saber de você, você que tem muita experiência com realidade virtual, que vem trabalhando bastante com isso, qual foi a sua experiência, o que você acha que te impactou, quais são as facilidades, mas de uma forma geral o que você achou da tecnologia e o que você imagina que isso possa te ajudar na tua prática?

Dr. Heron Werner: A gente vem trabalhando com a realidade virtual na minha área há aproximadamente oito, nove anos. E nós vislumbramos, desde o início, primeiro a possibilidade da parte educacional. É uma maneira de você transferir para os seus alunos uma realidade mais aproximada daquilo, dos casos clínicos que nós estamos discutindo. E eu acho que ao longo desse desenvolvimento, foi muito bom na questão de ser uma interface de discussão multidisciplinar. Então alguns diagnósticos mais complexos a gente conseguiu trazer uma plataforma mais fácil para essa discussão. Então por exemplo, tumorações em fetos e a discussão com o cirurgião, a discussão com neonatologistas, eu acho que isso vai ficando mais fácil. E essa evolução veio ao longo dos anos com a qualidade da imagem cada vez melhor. Então eu vislumbro a realidade aumentada, eu vejo a realidade aumentada como, ainda dentro do campo de uma discussão multidisciplinar, isso é uma plataforma fantástica de você passar de uma maneira mais simples e didática e correta para as pessoas que estão

discutindo com você uma determinada patologia. E além disso a possibilidade de já empregar essa realidade nos atos cirúrgicos, então você vê que hoje nós temos cirurgias minimamente invasivas, e na minha área, na medicina fetal, em que nós já temos cirurgia intraútero, todo esse equipamento, toda essa possibilidade de aplicação é enorme. Então por exemplo, o que nós estamos vislumbrando hoje? Eu vou operar um feto, que está ainda dentro do útero da mãe. É uma cirurgia complexa, que você vai invadir, vai ter um campo de visão muito pequeno, dentro de uma fetoscopia, e se eu puder fazer isso virtualmente antes de fazer o real? Então isso pode ser fantástico, e nisso a realidade virtual, a realidade aumentada podem nos ajudar. Pode nos ajudar no planejamento cirúrgico, como é que nós vamos fazer essa cirurgia, como é que nós vamos treinar essa cirurgia, e o que nós vamos enfrentar nessa cirurgia, e ela pode ser usada também no ato cirúrgico. Então isso eu acho que isso vai trazer uma facilidade muito grande e vai deixar o nosso gesto cada vez mais seguro.

Dr. Frajhof: Como é que você vê essa conversa, muito comum, essa conversa do radiologista, junto com o médico clínico ou com o cirurgião, você vê se tem algum impacto, você tem uma conversa diferente? Já que a gente está habituado ao mundo plano, de 2D, onde se mostrava numa tela para outro médico, você acha que é uma outra conversa, uma outra linguagem quando você tem essa possibilidade de visualizar e de você interagir? A gente teve uma experiência muito interessante, quando a gente estava vendo o feto, uma mão entrou no campo de visão dos óculos e ela pode interagir. Então abriu um tipo, foi um achado interessante, então você acha que isso é uma conversa diferente, é uma linguagem diferente, sua e com os médicos cirurgiões que te procuram para ver uma imagem?

Dr. Werner: A linguagem mudou completamente. Você vê o seguinte, eu tenho mais de 30 anos de formado, eu tenho a minha especialidade faz seis anos, então eu trabalho na área de medicina fetal desde 94. As discussões na década de 90 eram discussões com uma linguagem completamente diferente. Você tinha aquelas imagens bidimensionais, então se perdia muito tempo em mostrar a patologia para a equipe multidisciplinar. Então por exemplo, eu estou lá com o cirurgião e tenho uma imagem bidimensional de um tumor cervical, um teratoma cervical. Eu tenho que ficar explicando para ele ‘olha, isso aqui é a região cervical, isso aqui é o tumor, esse tumor parece que está invadindo mais essa região aqui’ e o cirurgião fica olhando uma imagem bidimensional em escala de cinza, é muito

mais complicado. Então a linguagem, ela muda a partir do momento que eu tenho uma imagem volumétrica daquilo ali. Aquilo ali é segmentado e transformado em modelos 3D que eu posso ver com realidade virtual ou realidade aumentada. Então na hora que eu começo a mostrar esse tumor e o grau de invasão do tumor, isso muda completamente para o cirurgião. Ele pode colocar um óculos e vai ver nitidamente se existe uma invasão ou não das áreas nobres da região cervical, entendeu? Eu estou economizando tempo, porque não preciso explicar onde está o tumor, onde estão as vias aéreas, porque é óbvio ali, a imagem é nítida, e a qualidade dessa discussão, ela é impressionante. Então eu acho que hoje, a maneira de discussão multidisciplinar é num formato de linguagem completamente diferente de alguns anos atrás.

Dr. Frajhof: E eu queria que você falasse um pouco da tua experiência, você é pioneiro na tridimensionalização das imagens ultrassonográficas e que a partir disso você começou a materializar através da manufatura aditiva. Então queria que você falasse um pouquinho desse caminho, e esse outro caminho que se abriu com a realidade virtual, e agora a realidade aumentada aparecendo, quer dizer, de fazer um pouco desse histórico seu.

Dr. Werner: Esse caminho da realidade virtual, ele veio através dos nossos estudos com a impressão 3D. Nós começamos a vislumbrar o estudo de patologias fetais, isso foi em 2007, que nós começamos a fazer os primeiros estudos, fazendo reconstrução 3D a partir de exames de tomografia computadorizada e ressonância magnética. Até então, era muito difícil esse uso nas ultrassonografia, que é o método de screening das más formações fetais, pela capacidade da aparelhagem da reconstrução 3D. Então a tomografia até então, tudo que se falava de impressão 3D vinha da tomografia e das outras áreas de conhecimento (egiptologia, museologia e tudo mais). Na área médica, também na área medicina interna e tudo mais. Agora, na área de medicina fetal, nada disso era desenvolvido porque tudo era muito centrado na tomografia. Então nós passamos a ver o seguinte, bom, vamos começar com a ressonância magnética, porque a ressonância vai me dar cortes também, e eu vou poder segmentar esses cortes. O grande problema, na época, é que os cortes eram espessos, então a minha qualidade de reconstrução para a impressão 3D era muito ruim. Então nós tivemos que trabalhar um pouco com as empresas, e isso foi evoluindo muito rápido com as empresas de ressonância, para ver protocolos em que eu pudesse ter cortes mais finos, o mais próximo de 1mm

possível, como tem na tomografia. E isso nós conseguimos com o tempo. Então em 2008 nós começamos a fazer a impressão 3D de fetos a partir da ressonância magnética. E logo depois começamos a correr no campo da ultrassonografia, que é o grande método, o método importante de screening. É a primeira barreira, o primeiro método de diagnóstico das malformações fetais. E com o tempo nós conseguimos também já segmentar a partir das aquisições volumétricas da ultrassonografia. Então isso tudo estava mais ou menos resolvido em termos de tecnologia em torno de 2009, 2010. A partir desses exames segmentados, nós começamos a colocar o seguinte: agora eu posso ter uma outra visualização de tudo isso segmentado que seja colocar os óculos de realidade virtual, a navegação virtual. Então se eu posso segmentar o feto e ter a visão dele externa e a parte interna, como por exemplo você segmentar as vias aéreas, eu posso ter uma visão endoscópica do feto. E a partir de 2011 nós começamos a navegar dentro das vias aéreas do feto. E isso passou a ser um fato muito importante, porque eu saí do campo do diagnóstico e passei a evoluir no campo de avaliação do prognóstico, isso é importante. Porque a medida que você vai evoluindo na imagem, aquela equipe multidisciplinar que te cerca, cirurgião, neonatologista, eles já não querem só o diagnóstico, eles querem saber o seguinte: eu sei que o feto tem um tumor, por exemplo, como é que ele vai nascer? Como vai ser a minha conduta no nascimento dele? E essa conduta, ela vai modificar em função do grau de penetração de um tumor, por exemplo, do posicionamento desse tumor, por exemplo. E se você mostra isso em cima de imagens reais, virtuais, né, mas muito reais, muito fidedignas, isso passa a ser muito interessante e isso dá uma segurança para essa equipe que vai receber esse feto. Então antes eu olhava uma imagem bidimensional em escala de cinza e agora eu tenho um modelo 3D colorido com todas as estruturas nas suas posições reais, e eu posso com um óculos de realidade virtual literalmente caminhar dentro das vias aéreas e ver a relação daquele tumor com as vias aéreas. E aí a conduta pós-natal, ela vai ser tomada em cima de imagens 100% fidedignas e isso dá uma segurança para essa equipe multidisciplinar muito grande.

Dr. Frajhof: Você, quando começou a trabalhar com a impressão 3D e realidade virtual, você já tinha entendido há algum tempo que você precisa de umas sequências diferentes. Você acha que isso vai mudar o protocolo de aquisição das imagens dentro da radiologia? Tomografia, ressonância magnética, quer dizer, as máquinas não estão preparadas para isso, vai ser necessário mudar esse protocolo,

ou seja dos protocolos dentro desses equipamentos e dentro do laboratório de radiologia?

Dr. Werner: Os equipamentos, eles tem evoluído muito rápido. Então, sim, os protocolos mudaram. Por exemplo, na minha área, eu não tinha sequências isotrópicas para a reconstrução 3D. E a partir do momento desses estudos nós passamos a adotar, dentro da nossa rotina, as sequências isotrópicas. E isso foi muito importante, porque eu posso estudar esses volumes novamente, dentro de casos complexos. Alguma coisa que você achava que fosse, e nasceu e era um pouco diferente, passa a ser uma curva de aprendizado porque eu posso voltar nesses volumes e estudar novamente. Isso é fantástico. Além disso, esses volumes passam a ser um domínio educacional, que também é muito bom. Agora dentro dos protocolos nas outras áreas o que eu vejo, cada vez mais, essas sequências isotrópicas são utilizadas. E isso é importante, são imagens que vão nos permitir a gente reconstruir aquilo em 3D. O que acontece, às vezes, é que essas sequências, elas têm uma variação tissular um pouco menor, então não basta eu só fazer uma sequência isotrópica, a sequência 3D, que vai gerar aqueles modelos 3D, não basta eu só fazer essa sequência, tenho que ainda usar antigas em que me dê uma diferenciação tissular maior e que vai me ajudar no diagnóstico. Sem dúvida essas sequências estão cada vez mais aperfeiçoadas e possibilitando modelos, dando a possibilidade de modelos cada vez mais reais.

Dr. Frajhof: Eu vou fazer algumas perguntas, porque é importante pra gente entender essas tecnologias, né. Então eu vou te fazer uma série de perguntas, e eventualmente se você esqueceu alguma ou não foi colocada eu vou colocar para você. Então, o que você achou do óculos? O que você sentiu ao usar o óculos? Como foi a interação? Quais as facilidades? Quais as dificuldades? O que deveria ser mantido? E o que deveria ser modificado?

Dr. Werner: Vamos começar. A imagem dos óculos eu vejo ela cada vez mais sendo aperfeiçoada, cada vez melhor. Agora os óculos, ele me permite uma interação. Eu acho que nós estamos dentro de um processo evolutivo muito rápido, ainda sinto dificuldades nessa interação. Sinto dificuldades na manipulação desses volumes virtuais que eu vejo. Eu ainda acho que dentro da realidade virtual, quando eu traço um caminho e eu já tenho aquilo tudo predefinido, ainda eu vejo aquilo hoje, no momento, como mais fácil. Mais fácil para um público em geral, que não está acostumado com aquele tipo de tecnologia. Na hora que você passa a ter o

domínio da imagem e o domínio das ferramentas que vicié tem ao seu redor, virtuais, eu acho que existe para um cirurgião, por exemplo, uma leve curva de aprendizado nessa manipulação. Agora eu acho que a tecnologia está avançando muito. O que eu sinto, eu trabalho com essas imagens há bastante tempo, mas o que eu sinto ainda é um pouco de dificuldade em alguns arquivos da manipulação dessas ferramentas de contraste. Por exemplo, eu estava vendo um trabalho dos [inaudível] (17:53), e aí eu olhando o cérebro dele de uma forma, com a realidade aumentada, com a realidade mista, eu ainda em alguns pontos da ferramenta eu tenho ainda uma dificuldade nisso. Mas não é só uma dificuldade minha com relação a um treinamento, mas é uma dificuldade ainda do software em termos de precisão, do ajuste fino, e isso realmente a gente tem ainda que caminhar. Mas já é um passo, a gente já está aqui olhando para estruturas virtuais, em que você pode interagir com essas estruturas e vê-las em cima do paciente, posicioná-las no paciente. Então isso abre um campo na cirurgia fantástico, que eu passo a misturar o exame com o real, e o treinamento e tudo o mais. Agora eu ainda acho que a gente precisa avançar nesse ajuste fino dos controles dessas imagens.

Dr. Frajhof: Heron, muito obrigado por fazer essa entrevista conosco.

Dr. Werner: Foi um prazer, vamos vendo essa tecnologia evoluindo aí.

Apêndice 6: Transcrição de vídeo: Entrevista com Dr. Dalton Castro

Dr. Leonardo Frajhof: Esse vídeo é o terceiro de uma série gravada como material de estudo de caso à tese de doutoramento *Propedêutica Multidimensional na Tomada de Decisão Clínica Apoiando a Comunicação*, a ser defendida no Departamento de Artes e Design da PUC-Rio em 2019. A intenção desse material é abordar o tema de como a visualização tridimensional interativa apoia o diagnóstico, em um diálogo com médicos, clínicos e cirurgiões, e radiologistas. Bom dia, eu sou Leonardo Frajhof, médico, clínico geral. Hoje vamos entrevistar o Dr. Dalton Castro, cirurgião geral, sobre o valor da visualização tridimensional interativa para o apoio ao diagnóstico e como essa tecnologia pode transformar a tomada de decisão. Dalton, queria que você falasse da sua experiência, agora depois de visualizar essas imagens. A gente viu no celular e você teve uma experiência com dois óculos, mas eu queria focar mais na experiência com o segundo óculos de Realidade Aumentada. A gente teve alguns modelos que foram de uma cirurgia que aconteceu nesta segunda feira, e queria que você falasse sobre como você vê essas imagens após? Também trouxe uma outra imagem que é uma segmentação de melhor qualidade, e eu queria saber qual é a sua experiência, o que você pensa disso e que informações você pode dar pra gente como cirurgião?

Dr. Dalton Castro: Olha, Leonardo, quando a gente vai fazer uma cirurgia num órgão complexo e com várias estruturas, como por exemplo é o fígado, que é o caso em questão, a gente tem que fazer um estudo muito detalhado das imagens prévias em relação a estudar a relação dessa lesão com os vasos, com a via biliar, e planejar a cirurgia. Isso é uma coisa muito importante em qualquer procedimento nessa situação. Na maioria das vezes, esse planejamento é feito diante de uma tela de radiografia ou ressonância num plano bidimensional, num plano reto.

Dr. Frajhof: Normalmente o que a gente vai lá no hospital, ver junto com o radiologista, não é apenas ver no papel, né?

Dr. Castro: A gente vai lá, vê junto com o radiologista, discute, o radiologista tem algumas maneiras de olhar a imagem por outros ângulos, mas é uma coisa limitada, e a gente imagina como seria aquilo numa visão tridimensional

e diante disso planeja nossa operação. Durante a operação, principalmente em se tratando de fígado, a gente pra reforçar essa relação da lesão com os vasos e com a via biliar, a gente faz um ultrassom trans-operatório que ajuda também nisso. Mas essa visão tridimensional que eu vi hoje no seu trabalho, que pra mim é uma coisa nova, é assim, extremamente importante. Se a gente conseguir ter isso antes de fazer, antes de entrar na sala de cirurgia, vamos entrar sabendo exatamente qual vai ser a sua programação. Nesse caso específico em que nós vimos um paciente que foi operado essa semana, com as imagens que nós tínhamos visto com radiologistas bem experientes, a gente fez uma programação que na hora do ato cirúrgico teve de ser mudada, porque tinha uma estrutura vascular que estava mais próxima da lesão do que parecia inicialmente. Então nós tivemos que mudar um pouco o planejamento.

Dr. Frajhof: Para nós, clínicos, a gente trabalha mais com a questão de tomada de decisão. Você consegue colocar isso como uma estratégia cirúrgica dentro de um contexto de tomada de decisão? Não é simplesmente do planejamento, porque de certa forma quando a gente tá vendo essas imagens, quando a gente vê as imagens a que nós estamos acostumados, na tela ou nas radiografias, ela tem uma linguagem que nos é comum. E a impressão que eu tenho é que isso é um outro tipo de linguagem. É uma outra forma que você tem de conversar entre os pares, de você tomar uma decisão, que é uma coisa que é uma linguagem diferente, é uma linguagem visual e que inclusive é diferente do que a gente vê em cirurgia, a gente faz muito cirurgia juntos, eu acompanho as suas cirurgias, a anatomia cirúrgica ensina muito a gente. Então tem agora uma questão que você consegue ver isso antes da cirurgia.

Dr. Castro: É, com essa linguagem nova, primeiro a gente tem que se acostumar a ver essas imagens. E essa imagem vai refletir exatamente o que a gente vê no campo cirúrgico, que é um campo tridimensional. E isso é importante na decisão sim, porque em alguns casos isso impede uma cirurgia, ou retarda uma operação porque você tem que diminuir uma lesão, se não a lesão se torna irressecável e isso muda a estratégia cirúrgica em muitos casos. Então algumas imagens que eu vi com você hoje ali, eu acho impressionantes, é uma coisa que vem para ficar e que vai ajudar muito. Quem tiver acesso a isso vai ter uma possibilidade de programar muito mais os seus procedimentos, e principalmente de não fazer uma cirurgia em que você não possa ir até o fim. Você pode programar antes e saber até

onde ir e vai evitar talvez alguns procedimentos desnecessários. Porque às vezes a gente no ato cirúrgico vê que aquilo é um pouco além do que se pensava e a cirurgia se torna impossível.

Dr. Frajhof: Fala um pouco do que a gente estava conversando, sobre a importância da volumetria pré-operatória, explica um pouquinho como é essa dinâmica.

Dr. Castro: No fígado em especial, às vezes a gente vai operar um fígado que já foi abalado com um tratamento de quimioterapia, e existe um limite para você ressecar a massa hepática, você deve deixar o fígado remanescente, um mínimo entre 25 e 30% do total do volume do fígado. Porque se deixar menos que isso, às vezes esse fígado é insuficiente para a manutenção das funções. Então é importantíssimo a gente saber o quanto vai ressecar, localizar essa lesão em relação aos vasos, porque se tiver que ligar um vaso maior e fazer uma ressecção maior, às vezes a cirurgia sai muito bonita mas o paciente não sobrevive por insuficiência hepática, porque o fígado que sobrou é muito pequeno. Existem algumas estratégias para você aumentar esse fígado, por exemplo se uma lesão ocupa todo o lobo direito do fígado, abraça os vasos e mantém só o lobo e esse lobo esquerdo é um lobo esquerdo pequeno, você tem artifícios médicos, embolizações segmentares, para fazer com que haja um aumento do lado esquerdo antes da cirurgia e esse paciente se torne operável. E essas imagens, do meu ponto de vista, vão ajudar muito nessa decisão.

Dr. Frajhof: Porque de uma certa forma, você tem uma rotina de exames complementares antes de você operar.

Dr. Castro: É, a gente tem a rotina. Esses exames muitas vezes mostram, e quando mostram uma invasão, uma coisa muito extensa, isso é um fato. Agora, quando não mostra, às vezes você tem surpresas negativas no ato cirúrgico. E eu acho que com essas imagens aqui, a gente vai diminuir muito essas surpresas negativas. Você vai entrar sabendo exatamente o que vai fazer.

Dr. Frajhof: Eu vou fazer agora uma série de três ou quatro perguntas, e se eventualmente eu achar que você não respondeu alguma, vou voltar a perguntar. Quer saber o que você achou dos óculos, principalmente os óculos de Realidade Aumentada? O que você sentiu ao usar os óculos? Como foi essa interação? Quais as facilidades e quais as dificuldades? O que você acha que deveria ser mantido, e o que deveria ser modificado?

Dr. Castro: Eu achei os óculos extremamente interessantes, mas eu acho que tem um tempo de treinamento. A gente que não é dessa área tem que se habituar a lidar com isso. Eu acho que isso é uma coisa que tem tudo para ser expandida e as pessoas vão cada vez tomar mais intimidade com isso. Acho que a interação, do mesmo jeito, é muito interessante, eu nunca tinha feito isso antes. Achei muito interessante você poder adicionar estruturas, tirar estruturas vasculares e virar a peça no espaço. Mas também existe um certo tempo de treinamento para você fazer aquilo. Quer dizer, quem não é do meio precisa de um pouquinho de tempo para aprender a fazer isso. Acho que seria muito interessante se a gente pudesse ter – não sei se isso será possível no momento, mas se a gente pudesse ter essa facilidade no celular, para você talvez não precisar usar esses óculos para todo mundo, você puder também fazer algumas dessas interações, manipulações do material numa situação tridimensional no seu celular.

Dr. Frajhof: Você achou os óculos pesados, ou desagradáveis? Colocar eles era uma coisa que te incomodava?

Dr. Castro: Não incomodou, mas eu acho que esse óculos é para a gente estudar isso antes. Acho que os óculos no ato cirúrgico, na hora do procedimento, não sei se vai se tornar uma coisa assim fácil. Mas acho que numa sala, diante de uma tela, para fazer um estudo preliminar, acho que é bem, bem legal.

Dr. Frajhof: Você imagina dois médicos, seja um usando os óculos e um não usando, com uma tela, esse tipo de interação é interessante? Como uma forma de comunicação entre os profissionais?

Dr. Castro: Eu acho que essa visão tridimensional pode melhorar muito a avaliação da tela. Você pode diminuir os erros que acontecem na tela plana, na medida em que você puder comparar a tela plana com a parte tridimensional. A pessoa que está vendo a tela plana pode se aperfeiçoar. Isso acontece muito hoje em dia, quando a gente leva, ou tira e fotografa um espécime cirúrgico, e mostra para um radiologista que está vendo a tela. Ele aprende com isso. Eu acho que isso vai facilitar muito esse aprendizado do radiologista que está vendo a tela.

Apêndice 7: Transcrição de vídeo: Entrevista com Dr. Eduardo Viana

Dr. Leonardo Frajhof: Esse vídeo é o quarto vídeo de uma série gravada como material de estudo de caso à tese de doutoramento *Propedêutica Multidimensional na Tomada de Decisão Clínica Apoiando a Comunicação*, a ser defendida no Departamento de Artes e Design da PUC-Rio em 2019. A intenção desse material é abordar o tema de como a visualização tridimensional interativa apoia o diagnóstico, em um diálogo com médicos, clínicos, radiologistas e cirurgiões. Bom dia, eu sou Leonardo Frajhof, médico, clínico geral. Hoje vamos entrevistar o Dr. Eduardo Viana, cirurgião geral do Hospital de Ipanema, sobre o valor da visualização tridimensional interativa para o apoio ao diagnóstico e como essa tecnologia pode transformar a tomada de decisão. Eduardo, a gente foi no laboratório aqui em cima e você viu um caso que você operou essa semana, a gente viu em dois óculos mas eu queria que você falasse qual foi a tua experiência, como você sentiu, como você vê esse tipo de tecnologia, mais relacionada à Realidade Aumentada, no segundo óculos.

Dr. Eduardo Viana: Bom, Leonardo, eu achei extremamente interessante porque nós, cirurgiões, a gente está acostumado a ter a necessidade de pensar de uma maneira tridimensional, e a gente tem que fazer um exercício, na radiologia, vendo a imagem em 2D com o radiologista e há um treinamento, há uma curva de aprendizado para o cirurgião, até que você consiga passar aquelas imagens na sua cabeça e imaginar o que você vai encontrar na hora da operação. Eu acho que essa tecnologia encurta isso. Faz uma ponte direta para o 3D, de modo que eu acho que no futuro, quando estiver mais difundido e o software ainda melhor, acho que o cirurgião eventualmente vai trabalhar só com essa ferramenta. Não vai precisar mais quebrar a cabeça com o radiologista para tentar aprender um pouco de radiologia para poder então programar sua operação. Essa ferramenta é uma ferramenta muito mais amigável para quem não é radiologista. Então acho que isso deve ser o futuro.

Dr. Frajhof: E da mesma forma, eu como clínico, a gente de uma certa forma tem que entender a linguagem do radiologista, para a gente compreender o

que está acontecendo, e ele sempre acontece na estação de trabalho do radiologista. Não é recebendo o exame no consultório em papel que a gente consegue ver. Então existe sempre essa interação entre os vários profissionais que estão envolvidos no caso. O que você acha que isso muda, nessa rotina? Desse padrão que a gente está acostumado a ter atualmente?

Dr. Viana: Se essa ferramenta for uma ferramenta que, se ela estiver presente ao alcance do cirurgião no seu consultório, ou eventualmente até no seu celular, no seu laptop, eu acho que o cirurgião vendo aquela imagem e rodando, eventualmente uma dúvida tirada por um radiologista, ele vendo a imagem na tomografia e cirurgião vendo a reconstrução, acho que os casos em que a gente precisa se deslocar até o serviço de radiologia, para ir no setor de radiologia sentar do lado da tela para ele te explicar, eventualmente até ter que desenhar para você entender qual é a relação tridimensional daquilo, vai queimar essa etapa, vai ficar uma coisa muito mais rápida pra gente.

Dr. Frajhof: Como se trouxesse várias dimensões em um momento só?

Dr. Viana: Sim, sim. E vai aumentar a segurança de que a gente está entendendo aquilo de maneira correta, porque você vendo a tomografia e imaginando, você não sendo radiologista que está vendo aquilo todo dia, de vez em quando você sai com uma impressão tridimensional que não é exatamente a que corresponde ao que a gente vê na hora da operação. Às vezes a tomada de decisão que deveria ser pré-operatória em quase 100% dos casos, muitas vezes torna-se intraoperatória, o que é muito mais complicado.

Dr. Frajhof: De uma certa forma, ele facilita e da mesma forma é uma outra forma de comunicação entre os profissionais envolvidos. Entre esses médicos especialistas, um clínico geral ou cirurgião geral.

Dr. Viana: Sim, fica uma linguagem muito mais palpável. Todo mundo está vendo a mesma coisa, pode rodar, apontar, e não tem dúvidas de que aquela estrutura é o que a gente está vendo, e está encostando eventualmente num vaso, que a gente está vendo. Até uma criança consegue entender aquilo.

Dr. Frajhof: Eu vou te fazer algumas perguntas, três ou quatro perguntas, que são técnicas. Se eventualmente eu achar que você não respondeu alguma, eu volto a ela. O que você achou dos óculos? O que sentiu ao usar os óculos? Como foi essa interação? Quais as facilidades, quais as dificuldades? O que deveria ser mantido? E o que deveria ser modificado?

Dr. Viana: Vamos lá. Eu achei os óculos confortáveis, nenhuma sensação desagradável, exceto talvez nos primeiro dez segundos, um pouquinho de adaptação, uma ligeira sensação de que você está meio fora do seu espaço, mas acho que o cérebro rapidamente se adequa àquilo. O que eu achei da praticidade, acho que tem a questão de você usar a mão para rodar, de vez em quando o comando não responde tão rapidamente. Demora um pouquinho para você entender que tem que fechar a mão para acionar o botão, mas acho que isso também é rapidamente assimilado. Talvez com a melhoria do software... algumas vezes tive que apertar duas, três vezes para que ele respondesse, talvez isso pudesse ficar mais rápido. Achei a plataforma muito boa de trabalhar, a questão de você ter ali as estruturas e do lado o painel, então você vira para o painel, escolhe o que você quer e trabalha aqui. Então se puder melhorar um pouquinho a responsividade da mão... e uma coisa que imaginei que pudesse complementar, é se eventualmente pudesse naquele painel ter uma forma de você ter a tomografia ali. E se você pudesse ir baixando na tomografia os cortes, e de alguma maneira tivesse uma correlação do que você está vendo na tomografia com o que você está vendo...

Dr. Frajhof: Existe um software comercial que faz isso, é legal.

Dr. Viana: Ah é? Acho que no futuro a tomografia pode até ser substituída, eventualmente. Mas enquanto não for, a gente conseguir estar olhando “bom, isso aqui é a lesão tomográfica, que corresponde a isso aqui”, pra ter uma segurança de que você não está vendo um eventual artefato, ou alguma coisa... quer dizer, ter uma boa tomografia trifásica, com contraste, para você saber que aquela reconstrução saiu daquele corte, daquela imagem.

Dr. Frajhof: Trazer tudo para a mesma dimensão.

Dr. Viana: É, aí eu acho que seria talvez uma ferramenta com um *plus* aí... mas acho sensacional, como plataforma é sensacional.

Dr. Frajhof: Eduardo, você tava falando aqui dessa conversa entre médicos, essa coisa do 3D. Como é que você vê essa conversa com o paciente? Você acha que isso é possível, ou você acha que ajudaria na relação médico-paciente? Você acha que ajudaria no entendimento do paciente?

Dr. Viana: Totalmente, porque hoje em dia você explicar para um paciente que vai ser operado numa tomografia, é a mesma coisa que mostrar um alfabeto grego. Você acha às vezes que ele está entendendo, mas 99% das vezes não está. E como eu disse antes, isso aí é um modelo que até uma criança entende. Você

transforma aquilo numa coisa, numa visualização pronta. O que eu faço hoje em dia no consultório, é que eu desenho. Então eu pego a tomografia, e na minha concepção 3D eu desenho para ele entender o que vai ser feito. Se tiver isso na frente dele, colorido, que ele possa rodar e você possa dar uma mini aula ali, vai ser muito bom.

Apêndice 8: Transcrição de vídeo: Entrevista com Dr. Vitor Sardenberg

Dr. Leonardo Frajhof: Esse vídeo é o quinto de uma série gravada como material de estudo de caso à tese de doutoramento *Propedêutica Multidimensional na Tomada de Decisão Clínica Apoiando a Comunicação*, a ser defendida no Departamento de Artes e Design da PUC-Rio em 2019. A intenção desse material é abordar o tema de como a visualização tridimensional interativa apoia o diagnóstico, em um diálogo com médicos clínicos, radiologistas e cirurgiões. Bom dia, eu sou Leonardo Frajhof, médico, clínico geral. Hoje vamos entrevistar o Dr. Vitor Sardenberg, médico radiologista, trabalha no Dasa, sobre o valor da visualização tridimensional interativa para o apoio ao diagnóstico e como essa tecnologia pode transformar a tomada de decisão. Vitor, a gente fez já tem algum tempo o estudo de algumas imagens, eu queria que você falasse qual é a tua experiência, como você vê essa tecnologia profissionalmente, como você vê, como você prospecta, você também ouviu um pouco das entrevistas dos cirurgiões e isso é uma coisa que é muito comum entre nós, essas trocas de informações, então dentro desse contexto eu queria que você falasse da sua experiência.

Dr. Vitor Sardenberg: Bom, eu sou radiologista, né? Trabalho com imagens, com o pós-processamento dessas imagens, e eu acho que esse tipo de tecnologia veio para agregar muito valor para a gente. Para todo mundo, né? Na interação dos médicos de diferentes especialidades. Você viu algumas apresentações que eu fiz, e acho que a gente está sempre tentando melhorar a nossa comunicação com o médico assistente. E acho que essa ferramenta é fundamental para isso. O Eduardo estava falando aqui agora que a gente manda uma imagem normalmente impressa de uma reconstrução tridimensional, e ele não pode interagir com essa imagem. Então ele poder interagir com essa imagem que você processou, hoje isso é fantástico. Porque é exatamente isso, ele pode estar olhando a imagem ali num momento, me ligar, e a gente olhar simultaneamente, eu de um lado, ele do outro, em ambientes diferentes, e discutir aquela imagem, aquele exame, aquele paciente. Discutir conduta, tirar dúvida... eu acho que isso agrega para o paciente. E eu acho que o foco principal é o paciente. Agrega muito valor na conduta que vai

ser tomada, na facilidade que ele vai ter para executar o procedimento.

Dr. Frajhof: Você como radiologista teve toda a sua curva de aprendizagem em tela plana. O que isso modifica a sua rotina? O que isso... aí eu gostaria que você falasse de todos esses processos, do pré-processamento, do processamento da imagem, do pós-processamento, quando essa imagem vem, o que leva a esse tipo de comunicação. Eu queria que você falasse um pouco como é o processo agora que você tem acesso a imagens 3D.

Dr. Sardenberg: Na verdade assim, para a gente, processar esse tipo de imagem e entregar a Realidade Aumentada não mudou muito. Porque a gente faz os exames do paciente, e a partir das imagens que a gente adquire a gente leva para uma *workstation*, faz o processamento dessas imagens, e essas imagens pós-processadas a gente já vai criando máscaras. Então, o exemplo do fígado: a gente cria uma máscara do fígado, uma máscara das veias hepáticas, uma da veia porta, outra máscara da artéria e outra do tumor, normalmente.

Dr. Frajhof: Você faz isso na sua *workstation*?

Dr. Sardenberg: Faço isso na minha *workstation*. Então, a partir disso eu entregaria a imagem impressa para o médico assistente, para o cirurgião. Mas aí hoje, essas máscaras eles já enviam para o programa, e ele mesmo processa e já cria essa imagem de Realidade Aumentada, essa imagem tridimensional dinâmica que o cirurgião vai poder manipular. Então o que melhorou eu acho que é justamente a informação. Eu entrego uma informação para ele que ele pode olhar e analisar, e me ligar “olha, você escreveu isso no laudo...” – que antes ele tinha um laudo, com umas imagens impressas e ficava meio refém do que a gente falava. Mas eu to vendo isso aqui então a gente interage e eu falo “não, eu escrevi isso por que tem essa imagem, roda um pouquinho para você poder ver”. Então acho que a informação tá sendo muito melhor dada pro cirurgião, acho que isso melhorou. No processamento em si, talvez não mude tanto. Não impacta tanto na nossa rotina.

Dr. Frajhof: Eu acho que — e eu queria você falasse um pouco, ele modifica o diálogo entre os médicos, né?

Dr. Sardenberg: Modifica.

Dr. Frajhof: Porque a gente recebe um laudo descritivo e a gente sabe por que tem que ser descritivo o laudo, para você não sugerir algo que possa não ser. Então a gente recebe um laudo que é descritivo e na verdade as informações que a gente mais quer a gente sempre consegue em uma conversa entre médicos.

Dr. Sardenberg: É, essa conversa sempre foi fundamental, em ambiente hospitalar a gente vê muito isso. A gente dá o laudo, mas o cirurgião, ou o clínico, enfim, vai lá, senta do nosso lado, a gente abre o exame juntos no *workstation*, e analisa juntos e discute a imagem, né? É o que funciona melhor.

Dr. Frajhof: Não é uma outra conversa, é uma outra fala, né? Porque você tá falando de coisas tridimensionais e não precisa mais descrever porque você...

Dr. Sardenberg: Exatamente, ali eu posso passar minha impressão real, sugerir uma invasão de uma estrutura ou não, que talvez às vezes pelo laudo fique um pouco mais complicado de a gente falar.

Dr. Frajhof: Eu vou fazer algumas perguntas, basicamente técnicas, três ou quatro, que eu gostaria que você respondesse. Eventualmente se eu achar que você não respondeu, vou voltar a perguntar. Então, eu gostaria de saber o que você achou dos óculos? O que sentiu ao usar os óculos? Como foi a interação? Quais as suas facilidades? Quais as dificuldades? O que deveria ser mantido? E o que deveria ser modificado?

Dr. Sardenberg: Bom, eu comentei com você na época, eu achei os óculos fantásticos. Porque a gente trabalhava em Realidade Aumentada só através do celular, projetando, ou um *tablet*, no paciente ou no próprio *device* para a gente avaliar, e foi uma possibilidade de você trazer a Realidade Aumentada e manipular as imagens, né? De você manipular as imagens num ambiente de Realidade Aumentada. Isso eu ainda não tinha feito, achei isso muito legal. Acho que os comandos vão melhorar, isso é natural. Da primeira vez da Realidade Virtual para a segunda que a gente testou já tinha melhorado bastante, então a tendência é melhorar, isso daí não é uma coisa que me preocupa. O que eu gostaria de testar eu acho que numa próxima etapa é você projetar essa imagem dos óculos num paciente. Acho que isso também para o médico assistente vai trazer muito valor, ele chegar ali no consultório dele e ele vai mostrar a imagem. Ele pode mostrar no celular, mas também pode projetar a imagem no paciente e espelhar aquilo em uma televisão, e assim, isso vai agregar realmente muito valor para ele e para o paciente. Acho que isso vai ser assim, formidável. Agora os óculos eu me senti super confortável para usar, não tive problema nenhum, acho que foi super tranquilo.

Dr. Frajhof: Você não teve nenhuma sensação ruim de estar com os óculos?

Dr. Sardenberg: Não, não. Não tive nada.