



**Universidade de
Aveiro**
Ano 2016

Departamento de Comunicação e Arte

**SILVINO MENDES
MARTINS ALMEIDA**

**REALIDADE AUMENTADA EM CIRURGIA:
INTERFACE DE UTILIZADOR PARA O
PROCEDIMENTO CIRÚRGICO DE REMOÇÃO DE
PEDRAS NOS RINS**



**Universidade de
Aveiro**
Ano 2016

Departamento de Comunicação e Arte

**SILVINO MENDES
MARTINS ALMEIDA**

**REALIDADE AUMENTADA EM CIRURGIA:
INTERFACE DE UTILIZADOR PARA O
PROCEDIMENTO CIRÚRGICO DE REMOÇÃO DE
PEDRAS NOS RINS**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Comunicação Multimédia, realizada sob a orientação científica do Doutor Mário Vairinhos, Professor Auxiliar do Departamento de Comunicação e Arte da Universidade de Aveiro

o júri

presidente

Prof. Doutor Vania Baldi

Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

Doutor Paulo Jorge Dias Estima dos Reis

Prof. Doutor Mário Jorge Rodrigues Martins Vairinhos

Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

agradecimentos

A todos os que contribuíram ativamente para a concretização deste percurso. Ao meu orientador pela confiança e disponibilidade demonstradas e pela partilha de competências. Ao Sérgio Eliseu pela diligência e descontração.

À empresa ECmedica pela disponibilização de recursos financeiros, humanos e tecnológicos.

À coordenação do Digimedia pelo apoio logístico e cedência de um espaço. Aos investigadores do Digimedia pela convivência cordial e partilha de conhecimento.

À direção do ESSUA pelo interesse e disponibilidade demonstrados.

À Tânia, com muita estima, agradeço toda a ajuda e paciência.

À minha mãe, pai, avós e padrinho pelo apoio e confiança demonstrados desde sempre.

palavras-chave

realidade aumentada, cirurgia guiada por imagem, design de interação.

resumo

A presente dissertação visa estudar os desafios da aplicação de Realidade Aumentada em contexto cirúrgico. Ao introduzir aumentos digitais no campo de visão do utilizador, a Realidade Aumentada oferece a possibilidade de o cirurgião observar para além da superfície anatómica visível do paciente, combinando no seu campo de visão, elementos reais e representações virtuais de órgãos, tecidos, instrumentos e meta-informação. No contexto específico da cirurgia de remoção de pedras nos rins, esta técnica possibilita a adição de marcas virtuais na anatomia real do paciente, de forma a auxiliar a introdução de uma agulha, sem causar danos colaterais.

No entanto, a adoção de Realidade Aumentada não está isenta de desafios, pelo que foi efetuada uma investigação empírica, suportada por uma metodologia de design centrado no utilizador, no sentido de apurar os desafios e oportunidades que esta técnica implica no procedimento cirúrgico, sobretudo de um ponto de vista técnico e do design de interação.

Um protótipo funcional foi desenvolvido e sujeito a avaliação por parte do público-alvo. A tecnologia implementada e o sistema de interação demonstraram ser pertinentes no que diz respeito ao *setup* proposto. Contudo, ficou evidente a necessidade de incluir modelos tridimensionais de órgãos do paciente no campo de visão do cirurgião, como forma de tornar a execução do procedimento mais rápida e acessível a um maior número de profissionais.

keywords

augmented reality, image-guided surgery, interaction design.

abstract

This dissertation aims to study the challenges of augmented reality application in the surgical setting. By introducing digital enhancements on the user's field of view, augmented reality allows the surgeon to observe the internal anatomy of the patient beyond the visible surface, combining real-life elements and virtual representations of organs, tissues, instruments and metadata in its visual field. In the specific context of removal of kidney stones surgery, this technique enables the addition of virtual marks in the patient's real anatomy in order to assist the introduction of a needle without causing collateral damage.

However, the adoption of Augmented Reality is not free from challenges, so an empirical investigation was made, supported by a methodology of user-centered design, in order to investigate the challenges and opportunities that this technique implies in the surgical procedure, especially from technical and interaction design standpoints.

A functional prototype was developed and subject to evaluation by the target audience. A functional prototype was developed and subject to evaluation by the target audience. The implemented technology and the interaction system have proved to be relevant with respect to the proposed setup. However, the need to include three-dimensional models of the patient's organs in the surgeon's field of vision was evident, as a way of making the procedure faster and more accessible to a greater number of professionals.

ÍNDICE DE CONTEÚDOS

INTRODUÇÃO	1
Caracterização do problema de investigação.....	1
Desafios e oportunidades.....	2
A pergunta de investigação.....	3
Objetivos	4
Metodologias de investigação.....	5
1. ENQUADRAMENTO TEÓRICO	7
1.1. Ambientes virtuais	8
1.1.1. Realidade Aumentada, Virtual e Mista	8
1.1.2. Sistemas de visualização	10
1.1.3. Técnicas de Registo.....	12
1.1.4. Domínios de aplicação.....	13
1.2. Media tangíveis	15
1.2.1. Internet Of Things.....	15
1.2.2. Tangible User Interfaces (TUI)	16
1.2.3. Interfaces Gestuais.....	21
1.2.4. Computação Vestível (<i>Wearable Computing</i>).....	23
1.3. Cirurgia mediada por tecnologia	24
1.3.1 Cirurgia minimamente invasiva	24
1.3.2. Cirurgia guiada por imagem	24
1.3.3. Técnicas de imagiologia médica	26
1.3.4. Realidade aumentada no bloco operatório.....	29
1.4. Perceção de profundidade	32
1.4.1. Perceção de profundidade em realidade aumentada	35
1.5. Estado da arte da tecnologia.....	36
2. METODOLOGIA	39
2.1. Design de Interação	39
2.1.1. Experiência de Utilizador.....	40
2.2. Design Centrado no Utilizador (DCU).....	43

2.2.1. Processos de desenvolvimento	45
2.3. Desenho da Investigação.....	46
2.3.1. Participantes	46
2.3.2. Fases da Investigação	46
3. ESTUDO EMPÍRICO	53
3.1. Teste da influência de características tipográficas no julgamento de distância em Head-Mounted Displays (HMD)	53
3.1.1. Desenho do teste laboratorial	53
3.1.2. Procedimentos	55
3.1.3. Participantes	56
3.1.4. Descrição do teste.....	56
3.1.5. Hipóteses de investigação	57
3.1.6. Recursos	57
3.1.7. Resultados.....	58
3.1.8. Pertinência para a investigação	59
3.2. Fase Exploratória	60
3.2.1. Caracterização do ambiente de interação.....	60
3.2.2. Familiarização com o projeto de investigação e recolha de requisitos	61
3.2.3. Necessidades do projeto.....	64
3.2.4. Estabelecimento de requisitos.....	65
3.3. Design Funcional.....	67
3.3.1. Sistema de interação	67
3.3.2. Sistema de navegação	72
3.4. Design Técnico	74
3.4.1. Sistema de <i>Tracking</i>	75
3.4.2. Sistema de <i>Interação</i>	77
4. IMPLEMENTAÇÃO DA TECNOLOGIA.....	79
4.1. Integração do sistema no Unity	79
4.2. Integração dos sensores nas ferramentas.....	79
4.3. Sistema de registo.....	80
4.4. Sistema de Interação	81

4.5. Arquitetura do protótipo final.....	84
5. AVALIAÇÃO.....	87
5.1. Avaliação do sistema de <i>input</i>	87
5.1.1. Desenho do teste.....	87
5.1.2. Procedimentos.....	88
5.1.3. Descrição dos testes.....	88
5.1.4. Participantes.....	88
5.1.5. Recursos.....	89
5.1.6. Resultados.....	90
5.1.7. Pertinência para a investigação.....	91
5.2. Avaliação do protótipo funcional.....	91
5.2.1. Estrutura da avaliação.....	91
5.2.2. Discussão e resultados.....	97
6. CONCLUSÃO.....	99
6.1. Análise Crítica.....	99
6.2. Trabalho Futuro.....	102
BIBLIOGRAFIA.....	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Continuum Realidade-Virtualidade (Milgram, Takemura, Utsumi, & Kishino, 1994).....	8
Figura 2 – Arquitetura de aplicação de Realidade Aumentada baseada em monitor.....	10
Figura 3 - <i>Augmented Reality Sandbox</i> : a projeção em areia permite criar mapas topográficos em tempo real (Kreylos, 2015)	11
Figura 4 – Diagrama conceptual da arquitetura de um HMD <i>Optical See-through</i>	11
Figura 5 - Diagrama conceptual da arquitetura de um HMD <i>Video see-through</i>	12
Figura 6 – Exemplo de CUI (Scott, 2013) e GUI.....	17
Figura 7 – Reactable, uma TUI de apoio à criação colaborativa de música digital (Williams, 2007).....	17
Figura 8 – Demonstração do conceito de <i>inputs</i> especializados em oposição ao <i>input</i> genérico (rato) utilizado em GUI (Fitzmaurice, 1996, p. 15).....	18
Figura 9 – <i>Bricks</i> , um protótipo demonstrativo do conceito de <i>Graspable User Interface</i> (Fitzmaurice et al., 1995)	19
Figura 10 – URP: mesa de trabalho tangível para design e planeamento urbano (Underkoffler & Ishii, 1999).....	20
Figura 11 – Componentes básicos de um sistema de interação gestual. Adaptado de (Saffer, 2008, p. 13)	22
Figura 12 – Categorização das diferentes pistas de profundidade (Adaptado de Sekuler & Blake, 1994).....	33
Figura 13 – Par de imagens que o cirurgião vê através do HMD (Fuchs et al., 1998)	36
Figura 14 – Vasos sanguíneos sobrepostos na pele do paciente com setas que identificam zonas anatómicas de interesse (Oertel-Kersten et al., 2015).....	37
Figura 15 – Planos concetuais de apoio ao desenho e desenvolvimento sustentado de artefactos que levem em consideração a experiência de utilizador (Garrett, 2011).....	42
Figura 16 – Características tridimensionais atribuídas à fonte tipográfica Arial.....	54
Figura 17 – Exemplo de um dos testes.....	56
Figura 18 – <i>Setup</i> do teste laboratorial. Ao fundo, o investigador monitoriza e conduz o teste.....	57
Figura 19 – Percentagem de erro no julgamento de distância para cada fonte tipográfica	58
Figura 20 - Diagrama representativo do 1º protótipo funcional. Adaptado de Marques (2015).....	62
Figura 21 – Base do Sistema de <i>Tracking</i> eletromagnético Razer Hydra.....	63

Figura 22 – Comando do Sistema de <i>Tracking</i> eletromagnético Razer Hydra, do qual foram retirados os sensores eletromagnéticos.....	63
Figura 23 – Sonda de Ultrassom do projeto, com respetiva representação esquemática das suas características.....	63
Figura 24 – Dispositivo de visualização <i>Optical See-through</i> - META 1 Dev. Kit	64
Figura 25 – Arquitetura do 1º protótipo exploratório	68
Figura 26 – 1º protótipo exploratório. À esquerda, manipulação da ferramenta física de interação composta por sonda de ultrassons e <i>joystick</i> . À direita, interface, com uma representação virtual da sonda e de rins.	69
Figura 27 – Esquema legendado das ferramentas virtuais de interação desenvolvidas ..	69
Figura 28- Manipulação da profundidade da marca virtual, através de <i>input</i> vertical do <i>joystick</i>	70
Figura 29 – Configuração do tamanho da marca, deslizando o <i>joystick</i> analógico para os lados (<i>input</i> horizontal)	70
Figura 30 – Colocação da marca no espaço (através da sua duplicação), pressionando o botão do <i>joystick</i>	71
Figura 31 – Remoção das marcas colocadas, encostando a marca principal à marca que se deseja remover.....	71
Figura 32 – Modelo de navegação.....	73
Figura 33 – Botões de menu de navegação concetualizados.....	73
Figura 34 – Comportamento do botão de menu selecionado (à esquerda) e pressionado (à direita).....	74
Figura 35 – Mapa de funcionamento com que se deu início a esta etapa	75
Figura 36 – <i>Mini Joystick</i> – <i>Phidgets</i> (Phidgets Inc, 2012)	77
Figura 37 – Sensor Modelo 55, com 0.56mm de diâmetro.....	80
Figura 38 – À esquerda, peça 3D modelada na ferramenta online Tinkercad. À direita, peça impressa e encaixada nos óculos, já com o sensor acoplado.	80
Figura 39 – Iteaduino Nano (ITEAD Wiki, 2014).....	82
Figura 40 – Pictogramas desenhados. Da esquerda para a direita: Modo <i>Snapshot</i> , Modo Marcas, Modo Livre.....	82
Figura 41 – Elementos técnicos na base do protótipo final.....	84
Figura 42 – <i>Setup</i> do teste laboratorial.....	90
Figura 43 – Cirurgião a explorar o protótipo. Na sua mão direita segura a agulha e, na mão esquerda, a sonda de ultrassons com o respetivo módulo de interação acoplado ..	93

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Sumário das técnicas de imagiologia médica mais comuns em CGI. Adaptado de Perrin et al (2009).....	29
Tabela 2 - Lista de verificação (<i>checklist</i>) baseada na taxonomia DWV (M Kersten-Oertel et al., 2013), onde são listados os componentes principais de um sistema de realidade mista para cirurgia.....	31
Tabela 3 - Sumário das fases de investigação.....	50
Tabela 4 – Requisitos de um Sistema de Realidade Aumentada, baseado em ultrassons, de auxílio à cirurgia de remoção de pedras nos rins.....	67
Tabela 5 – Análise comparativa de tecnologias.....	76
Tabela 6 – Modos de interação e respetivos <i>inputs</i> implementados	83
Tabela 7 – Guião da entrevista semi-estruturada.....	94
Tabela 8 - Pergunta de investigação e resultados	100

INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, em intervenções cirúrgicas, inspecionar a anatomia interna só era possível através de observação direta, o que implicava ganhar acesso cortando grandes quantidades de tecido. Entretanto, através de técnicas menos invasivas, hoje é possível diagnosticar a condição do paciente, planejar a intervenção e executar o procedimento sem a necessidade de obter acesso direto às zonas de intervenção, graças a desenvolvimentos em imagiologia médica, instrumentos de navegação cirúrgica e tecnologias de visualização e display (Yaniv & Linte, 2016).

A cirurgia guiada por imagem (CGI) é a adaptação de tecnologias de imagem com o objetivo de intervir cirurgicamente no interior do corpo humano, sem a necessidade de visualizar diretamente a área afetada (Perrin et al., 2009). O presente documento visa descrever o processo de investigação e desenvolvimento de um sistema de navegação, baseado em Realidade Aumentada (RA), destinado a CGI de remoção de pedras nos rins. A investigação teve como ponto de partida uma parceria entre um grupo de investigadores da Universidade de Aveiro e a empresa ECmedica LTD, tendo já dado origem a uma dissertação de mestrado intitulada “Sistema de Realidade Aumentada no Procedimento Cirúrgico de Remoção de Pedras nos Rins” (Marques, 2015).

Caracterização do problema de investigação

Procedimentos pouco invasivos apresentam mais-valias para o paciente, pois permitem reduzir significativamente os danos colaterais inerentes a uma cirurgia tradicional, essencialmente ao nível das lesões causadas pelo acesso à anatomia interna. Uma vez que a quantidade de tecido intervencionada diminui, há uma redução de eventuais complicações pós-operatórias, como inflamações e dores de cicatrização. Do ponto de vista económico, surgem também vantagens para o hospital, resultantes de tempos de recuperação mais breves (Makary, 2015).

Contudo, este tipo de procedimento obriga a ganhar acesso através de outras formas que, geralmente, incluem o recurso a radiografia. Na cirurgia de remoção de pedras nos rins, intervenção na qual esta investigação incide, um procedimento comum é inserir uma agulha até ao rim. De modo a guiar o planeamento e inserção da agulha, o procedimento é acompanhado pela aquisição de sucessivos raios-X por parte da equipa de radiologia, obrigando a um constante contacto com radiação ionizante, prejudicial para a saúde. Como forma de proteger da radiação, à exceção do paciente, todos os presentes no bloco operatório vestem um avental de chumbo, o que provoca cansaço adicional às equipas presentes, em intervenções que podem demorar algumas horas. De um ponto de vista logístico, o recurso a radiografia exige também a presença de uma equipa adicional no bloco operatório, o que implica maior tempo empregue no procedimento.

A crescer ao uso de radiografia, outra desvantagem comum a sistemas convencionais de CGI é a obrigatoriedade de o cirurgião mapear imagens intraoperatórias bidimensionais, observados num monitor, do paciente deitado na cama do bloco operatório. Estas imagens, que representam os órgãos e tecidos nos quais se pretende intervir, para além de carecerem de pistas de tridimensionalidade, costumam estar orientadas de forma inconsistente com o espaço tridimensional que caracteriza o mundo físico, obrigando a um *mapping* que não é natural. Este mapeamento provoca uma maior carga cognitiva no médico, um consumo acrescido de tempo e é propício a erros.

Enquanto sistema de visualização em cirurgia, a realidade aumentada (RA) tem sido estudada por vários grupos de investigação (M Kersten-Oertel, Jannin, & Collins, 2013). Genericamente, trata-se do aumento de ambientes reais com a sobreposição de informação sintetizada digitalmente, resultando assim numa visão enriquecida e amplificada da realidade. O uso de *Head-mounted Displays* com lentes transparentes (*see-through*) permite que os modelos gerados por computador sejam registados tridimensionalmente no campo de visão do observador (Yaniv & Linte, 2016).

Este tipo de visualização destina-se a expandir a visão do cirurgião, permitindo-lhe perceber para além da superfície anatómica visível do paciente e compreender as relações espaciais entre os modelos anatómicos e a anatomia real. Embora compreenda desafios técnicos e conceptuais, um procedimento deste nível possibilita reduções no tempo de uma cirurgia, aumento da precisão cirúrgica e uma melhor compreensão do interior anatómico do paciente (M Kersten-Oertel et al., 2013).

Desafios e oportunidades

O estudo da cirurgia guiada por imagem é relevante pois avanços tecnológicos na área vão permitir cirurgias atuar em procedimentos cada vez mais complexos com base em técnicas de acesso e tratamento pouco invasivas (Shuhaiber, 2004).

Contudo, a introdução de RA implica desafios de várias categorias. Apesar dos benefícios advindos da sua aplicação, poucos sistemas são utilizados de forma regular em cirurgia. Uma das razões poderá ser o precoce estado de maturação de dispositivos de visualização e sistemas de *tracking*, bem como a complexidade de implementação de um sistema deste género, sobretudo do ponto de vista técnico e conceptual. Por outro lado, alguma falta de estudos quanto aos melhores métodos e técnicas de visualização e de que forma estes podem ser inseridos no fluxo de trabalho cirúrgico poderá também ter influência neste facto (Drouin, Kersten-Oertel, Chen, & Collins, 2012).

Dadas as especificidades de uma cirurgia, a RA levanta desafios quanto à interação. O problema pressupõe realizar uma investigação exploratória no sentido de perceber, do ponto de vista das necessidades do utilizador, qual o tipo de display adequado, estratégias quanto à organização visual da informação e qual a melhor forma de interagir com o sistema de modo a introduzir e consultar informação. Estas

preocupações surgem no seguimento da investigação de mestrado de Marques (2015), procurando-se dar continuidade ao estudo e responder a algumas questões que ficaram patentes nas suas conclusões e perspetivas de trabalho futuro.

No plano de oportunidades, a RA aliada a técnicas de imagiologia pouco invasivas, como a ultrassonografia, oferece vantagens face a outras técnicas, frequentemente utilizadas, que envolvem raios-X (Marques, 2015, p. 10). Por um lado, surgem benefícios em termos de logística, pois o recurso a raio-X obriga a presença de uma equipa adicional na sala de operações. A utilização de ultrassons permite reduzir o tempo da cirurgia e, ao mesmo tempo, os custos associados a longo-prazo. Por outro lado, a ausência de exposição a radiação ionizada inerente ao raio-X constitui também uma vantagem tanto para o paciente como para a equipa de radiologia.

No entanto, a ultrassonografia não está isenta de dificuldades, destacando-se a pouca resolução e fraca qualidade figurativa, que requer treino e formação específica por parte da equipa médica.

Apesar das dificuldades mencionadas, o desenvolvimento de um sistema de RA baseado na tecnologia de ultrassons, representa um conjunto de vantagens para o procedimento cirúrgico que se reflete em benefícios diretos para a equipa médica e para o paciente, e em benefícios indiretos para o sistema de saúde, designadamente na redução do tempo das sessões e diminuição do custo associado a cada procedimento.

A pergunta de investigação

Tendo em consideração o problema de investigação e a oportunidade que representa a aplicação de realidade aumentada em contexto cirúrgico, uma pergunta foi elaborada de forma a servir de linha orientadora da investigação. A pergunta foi avaliada de acordo com os critérios de clareza, exequibilidade e pertinência (Quivy, 2008):

Quais os desafios e oportunidades que o paradigma da realidade aumentada, baseada num sistema de imagiologia de ultrassons, suscita no procedimento cirúrgico a nível técnico, conceptual e do design de interação?

As seguintes questões secundárias, associadas à principal pergunta de investigação, irão também ser tidas em conta:

- a. Dadas as dificuldades inerentes a uma cirurgia, qual a forma de interagir com um sistema de realidade aumentada, com o objetivo de introduzir informação em tempo real?
- b. Que características deverão ter os elementos visuais de uma aplicação de realidade aumentada em cirurgia para questões de acuidade e perceção visual?

Objetivos

O âmbito desta dissertação é o estudo da aplicação de RA em contexto cirúrgico. O estudo será essencialmente direcionado ao desenvolvimento de tecnologia como forma de validar a pertinência das soluções funcionais e técnicas concetualizadas. O principal instrumento de recolha de dados será obtido através da avaliação de um protótipo funcional, acompanhado de protótipos de baixa fidelidade construídos em fases precoces de desenvolvimento.

Tendo em conta o desenvolvimento do protótipo funcional, os objetivos específicos a cumprir ao longo da investigação são:

- Travar conhecimento com equipa de investigação e projeto em curso;
- Conhecer o público a que se destina o produto e respetivo ambiente de interação;
- Conhecer requisitos técnicos e funcionais do projeto;
- Discutir e propor funcionalidades a serem desenvolvidas de forma a dar continuidade ao projeto;
- Especificar funcionalidades;
- Descrever e produzir conteúdos (textuais/gráficos);
- Construir mapa de funcionamento;
- Analisar requisitos funcionais existentes do ponto de vista técnico;
- Analisar comparativamente tecnologias;
- Descrever aspetos técnicos do protótipo funcional e elaborar arquitetura do sistema;
- Implementar protótipo funcional em realidade aumentada;
- Testar protótipo funcional junto de utilizadores finais;
- Analisar e interpretar dados recolhidos;
- Refletir acerca do artefacto desenvolvido e futuras iterações necessárias;

Metodologias de investigação

A Interação Humano-Computador (IHC) é uma área de estudo onde se procura compreender e melhorar a forma do ser humano interagir com tecnologia. Esta dissertação situa-se numa área de natureza técnica da IHC, uma vez que se foca na tecnologia como forma de resolver problemas e necessidades humanas e melhorar a execução de tarefas profissionais, no caso, intervenções cirúrgicas guiadas por imagem.

Desta forma, a investigação é de carácter exploratório, através da qual se pretende desenvolver soluções mediadas tecnologicamente que satisfaçam necessidades e requisitos identificados. O principal instrumento de recolha de dados será um protótipo funcional que permitirá recolher *feedback* do público-alvo da tecnologia de forma a identificar metas para trabalho futuro e dar resposta à pergunta de investigação.

Será utilizada uma metodologia de Design Centrado no Utilizador (DCU), o que significa incluir o público-alvo no processo de design. A participação de utilizadores acontecerá numa fase inicial, onde será obtido um conhecimento aprofundado das suas necessidades e contexto de uso e, numa fase posterior de desenvolvimento, na qual as soluções desenhadas serão testadas sob a forma de um protótipo funcional.

Para além de incluir o utilizador no processo de design, é fundamental que as soluções tecnológicas sejam desenvolvidas tendo em conta princípios fundamentais de interação e usabilidade e sejam adequadas à experiência de utilização, no sentido de uma utilização eficiente e sem interferir com o *workflow* em estudo. É no seguimento destas preocupações que se insere o design de interação, uma área focada no suporte de processos de interação e comunicação humanos. A principal finalidade do design de interação é desenvolver produtos interativos usáveis, ou seja, produtos que possuam facilidade de aprendizagem, eficiência no uso e proporcionem uma experiência de utilização agradável.

De forma a estruturar os objetivos descritos na secção anterior e adequá-los à contingência temporal inerente a uma dissertação de mestrado, estes foram divididos em 4 fases. As fases possuem afinidade com os processos do design de interação, tal como será descrito na secção 2.1):

- Fase Exploratória
- Fase de Design
- Fase de Desenvolvimento
- Fase de Avaliação

Na secção 2.3 deste documento – Desenho da Investigação – as fases serão caracterizadas de forma mais detalhada e relacionadas com os objetivos delineados e respetivas técnicas e instrumentos de recolha de dados.

1. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Este capítulo divide-se em 5 secções: ambientes virtuais (1), media tangíveis (2), cirurgia mediada por tecnologias digitais (3), percepção de profundidade (4) e estado da arte da tecnologia (5).

A primeira secção, ambientes virtuais, é constituída por uma caracterização das diferentes formas de ambientes onde são adicionadas camadas de informação virtual, desde sobreposições de informação digital no mundo real até a ambientes completamente imersivos, sem contacto visual e auditivo com o mundo físico real. São definidos os elementos-chave inerentes aos vários tipos de sistemas, nomeadamente visualização, *tracking* e registo, com particular enfoque na Realidade Aumentada, por se tratar de uma das técnicas na base desta dissertação.

Ao permitirem sobrepor informação sintetizada por via digital na visão do mundo real do utilizador, certas aplicações de RA exigem formas de interagir mais próximas da experiência de interação com objetos físicos do quotidiano, contrariamente às suportadas pelas tradicionais interfaces que envolvem a utilização de rato e teclado. Alguns paradigmas de interação possuem afinidade com esta necessidade e suportam uma interação mais natural, no sentido em que tiram partido de metáforas e analogias espaciais do mundo físico. Em particular, os paradigmas estudados incluem o das *Tangible User Interfaces* (TUI) e o das interfaces gestuais, onde são apresentados os conceitos base e os principais desafios à sua implementação e integração, uma vez que, apesar de vantajosos em termos de interação, não estão isentos de constrangimentos, nomeadamente físicos e conceptuais.

Simultaneamente, sensores e microprocessadores têm vindo a ficar progressivamente com maior capacidade de processamento, mais pequenos e menos dispendiosos, sendo hoje mais fácil incorporá-los nas nossas vidas de forma ubíqua para que captem e processem dados do ambiente. Isto contribui para a realização daquilo a que Dourish (Dourish, 1999) chama de Interação Incorporada (*embodiment interaction*), na medida em que a tecnologia caminha no sentido de se integrar na nossa experiência normal do mundo, caracterizada por uma participação e interação absorta e irrefletida. Desta forma, a secção 2 consistirá em paradigmas emergentes de interação e computação que, devido às suas características, constituem potenciais mais-valias e oportunidades para a integração de tecnologia no bloco operatório.

A secção 3 consiste no estudo da cirurgia mediada por tecnologias digitais, para compreender o estado da arte de técnicas e tecnologias aplicadas em contexto operatório, especialmente, modos de atuar que envolvam a utilização de tecnologias de imagiologia médica com o objetivo de intervir no paciente de forma pouco invasiva. Para além disso, há o estudo dos processos e técnicas envolvidos na aplicação de RA ao procedimento cirúrgico.

A pertinência do estudo do sistema visual humano, em particular da percepção de profundidade, presente na secção 4, deve-se à utilização de tecnologia de visualização *Optical See-Through* (OST) como forma de sobrepor informação digital, tridimensional, na visão do mundo real do utilizador. A implementação de um sistema baseado neste tipo de visualização implica tomar conhecimento de alguns fatores de percepção que devem ser tidos em conta, essencialmente referentes às pistas de profundidade binoculares que estes sistemas proporcionam.

Na secção 5 são abordadas algumas das aplicações de RA em contexto cirúrgico, com particular referência a técnicas de visualização e interação.

1.1. Ambientes virtuais

Nesta dissertação, o termo virtual é utilizado para caracterizar elementos observados pelo utilizador que têm uma proveniência digital. Ainda que o termo possa dar a entender o contrário, não se trata de um conceito que se opõe ao conceito de real, uma vez que os elementos virtuais de que se fala são percebidos visual e auditivamente e, por isso, são igualmente reais (Lévy, 1996). Assim, ainda que por vezes se coloque o real e o virtual em extremidades opostas, esta distinção é apenas referente às qualidades físicas e materiais dos elementos em questão.

Nesta seção serão caracterizados os ambientes nos quais se introduz elementos virtuais no campo de visão do utilizador, de forma a que sejam percebidos como fazendo parte do mundo físico. Serão distinguidos os vários graus de virtualidade e elementos técnicos na sua base. Para terminar, alguns domínios de aplicação da realidade aumentada são abordados.

1.1.1. Realidade Aumentada, Virtual e Mista

Como forma de distinguir realidade virtual de realidade aumentada, Milgram, Takemura, Utsumi & Kishino (1994) colocam os conceitos num *continuum* cujos extremos são constituídos, por um lado por ambientes reais e, por outro, ambientes virtuais (Figura 1).

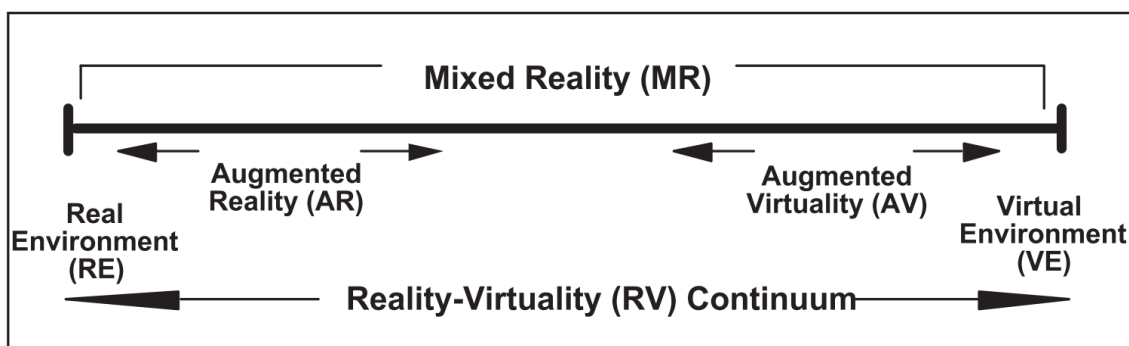


Figura 1 – Continuum Realidade-Virtualidade (Milgram, Takemura, Utsumi, & Kishino, 1994)

À esquerda, no *continuum* (Figura 1), está representado qualquer ambiente completamente real capaz de ser observado diretamente, na primeira pessoa, ou indiretamente, através de vídeo. À direita, estão representados os ambientes constituídos apenas por objetos virtuais, independentemente de serem observados através de um monitor ou de forma imersiva. O espaço que fica entre os extremos é denominado de realidade mista, caracterizando genericamente qualquer ambiente no qual há uma apresentação em simultâneo de elementos do mundo real e objetos virtuais (Milgram et al., 1994).

A RA é uma forma de realidade mista, podendo ser considerada como o *meio-termo* entre um ambiente meramente real e um ambiente meramente virtual. Enquanto a realidade virtual (RV) pressupõe a substituição da visão do real por um ambiente completamente gerado por computador, podendo este ser ou não idêntico ao mundo real, a realidade aumentada implica um enriquecimento do real através de informação digital (Azuma, 1997). Há ainda outra forma de realidade mista (RM), a virtualidade aumentada, que consiste num ambiente composto maioritariamente por elementos gerados por computador, aumentado por via da incorporação de elementos reais.

A principal vantagem da RA realidade aumentada é permitir uma melhor perceção do mundo real, uma vez que os objetos virtuais contêm informação que o observador não seria capaz de detetar apenas com recurso aos sentidos. Essa informação ajuda o utilizador a realizar tarefas do mundo real, fazendo parte do que Fred Brooks chama *Intelligence Amplification*, ou seja, a utilização do computador como ferramenta capaz de tornar tarefas mais fáceis de executar por um humano (Azuma, 1997).

Azuma (1997) define qualquer forma de realidade aumentada como possuindo três elementos em simultâneo:

- Combinação do real e do virtual;
- Interatividade em tempo real;
- Registo a 3 dimensões;

Esta definição não se opõe à enunciada por Millgram et al. (Milgram et al., 1994), acrescentando-lhe duas características fundamentais para produzir, no utilizador, a sensação que o real e o virtual coexistem no mesmo espaço: interatividade em tempo real e registo a 3 dimensões (Azuma, 1997). Este último ponto será abordado na secção 1.1.3.

Outra mais-valia desta definição, segundo o autor, é possibilitar classificar aplicações como sendo exemplo de RA independentemente do tipo tecnologia empregue. Por exemplo, sobreposições digitais em 2D como presentes no dispositivo *Google Glass* não são consideradas pela falta do registo a 3D. Filmes como *Jurassic Park* (1993) ou *Godzilla* (2015), apesar de possuírem registo 3D num ambiente real, de uma forma foto realista, também não o são devido à falta da componente interativa.

1.1.2. Sistemas de visualização

Combinar imagens reais e virtuais constitui um desafio inerente a qualquer sistema de realidade aumentada. Existem vantagens e desvantagens em cada uma das várias opções para mostrar essa combinação, sendo que os paradigmas mais comuns serão aqui expostos. A escolha do *display* deve refletir o propósito da sua utilização ainda que possa não estar isenta de desvantagens (Rolland & Fuchs, 2000, p. 293).

Na taxonomia para classificar sistemas de realidade mista proposta por Millgram et al. (1994), a dimensão “*Extent of Presence Metaphor*” refere-se ao grau de presença proporcionado por vários tipos de *display*, posicionando-os numa escala que aumenta de acordo com o grau de imersividade.

De um lado da escala estão as visualizações baseadas em monitores (*monitor-based*). Neste tipo de visualização, o observador tem pouca ou nenhuma sensação de imersão no ambiente uma vez que vê um vídeo através de um monitor convencional. O monitor pode ainda ser observado através de lentes estereoscópicas o que, por si só, não influencia substancialmente o grau de imersão. O criador do primeiro *head-mounted display* (HMD) (Sutherland, 1968) salienta que, ainda mais importante que a ilusão tridimensional proporcionada pela estereoscopia do seu dispositivo, o maior contributo para a sensação de imersividade é a mudança das imagens de acordo com os movimentos de cabeça do utilizador, simulando as mudanças de perspetiva do mundo real. Esta ideia é apoiada pelo efeito de profundidade cinética, *kinetic depth effect* (Wallach & O’Connell, 1953), fenómeno pelo qual as propriedades tridimensionais de um objeto são percecionadas através do seu movimento.

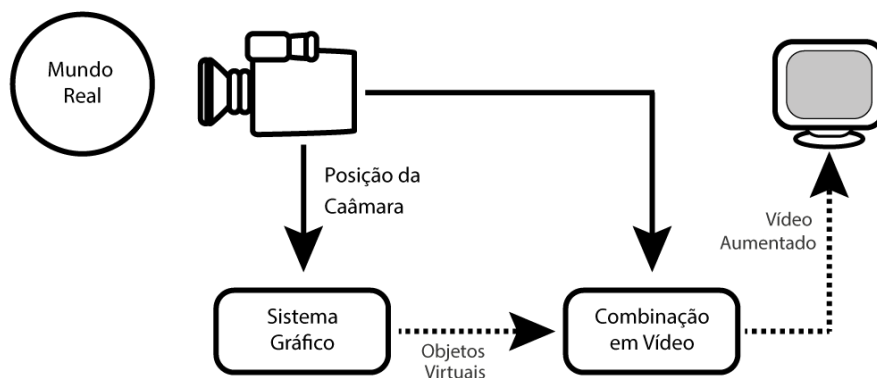


Figura 2 – Arquitetura de aplicação de Realidade Aumentada baseada em monitor

O aumento com base em projetores (*projector-based*) permite a incorporação e visualização de ambientes virtuais diretamente em elementos do dia-a-dia (Bimber, 2007). Esta abordagem, em aplicações onde a mobilidade não é um requisito, possibilita a simulação de tridimensionalidade (*spatial augmented and virtual reality*), sendo capaz de compreender visualizações imersivas ou semi-imersivas.

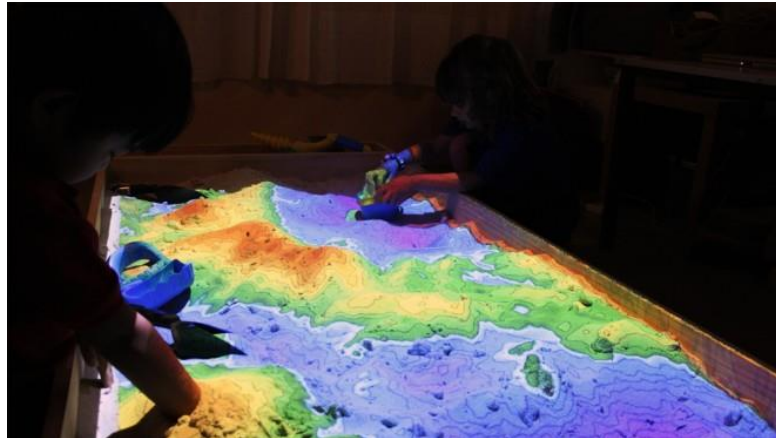


Figura 3 - *Augmented Reality Sandbox*: a projeção em areia permite criar mapas topográficos em tempo real (Kreylos, 2015)

No final da escala, (Milgram et al., 1994, p. 288), está o máximo de imersividade propiciado por uma perceção de estar fisicamente presente num ambiente com elementos não físicos. Este tipo de visualização é geralmente garantido por HMD, visto que estes permitem observar objetos gerados por computador combinados diretamente na visão do mundo real de forma estereoscópica. Há duas formas de combinar o real e o virtual: tecnologias óticas e de vídeo (Azuma, 1997).

- *Optical See-through*

Um dispositivo OST oferece uma visão intacta do real com a sobreposição de imagens sintetizadas digitalmente. Isto é conseguido através de combinadores óticos, tipicamente espelhos semi-prateados, que são parcialmente refletivos e parcialmente transparentes. Desta forma, estando à frente dos olhos do observador, os combinadores refletem os objetos virtuais, deixando também ver através deles (Kiyokawa, 2007).

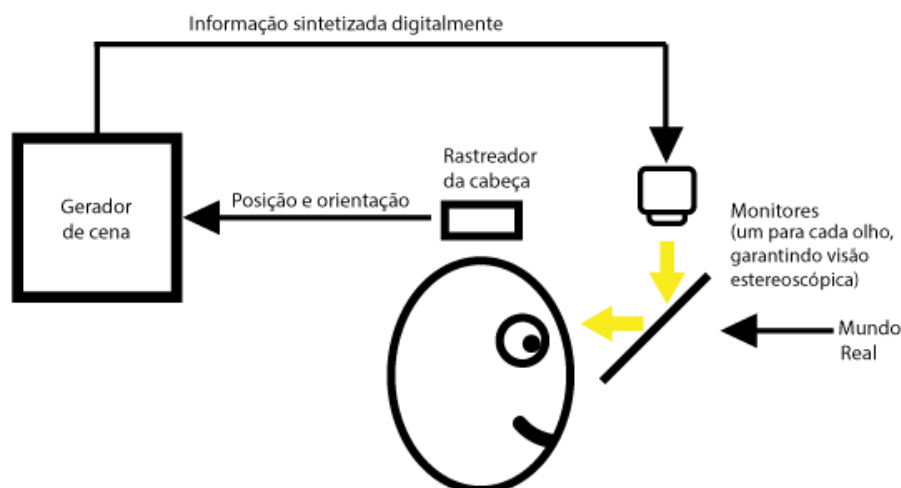


Figura 4 - Diagrama conceptual da arquitetura de um HMD *Optical See-through*

- *Video See-through*

Em dispositivos *video see-through* (VST), uma imagem do mundo real é capturada através de uma câmara, seguindo-se uma combinação eletrónica da imagem capturada e dos objetos sintetizados digitalmente e, por fim, a imagem final é apresentada ao observador (Kiyokawa, 2007). Contrariamente ao que acontece em dispositivos óticos, nesta tecnologia o utilizador não consegue ver diretamente o real, uma vez que possui a visão obstruída.

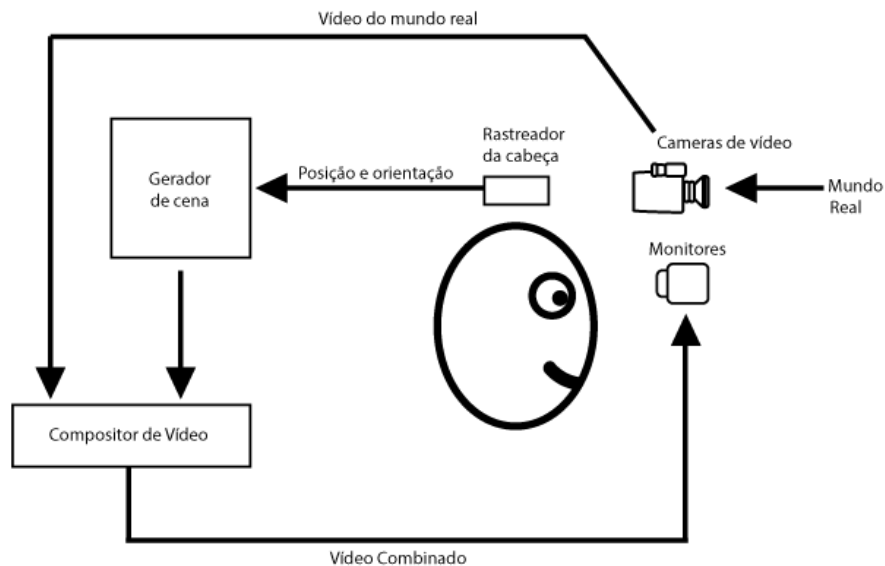


Figura 5 - Diagrama conceitual da arquitetura de um HMD *Video see-through*

1.1.3. Técnicas de Registo

O alinhamento dos objetos virtuais no espaço real é denominado de registo ou *registration*. O registo representa um dos maiores desafios técnicos em realidade aumentada, sendo menos condicionante em realidade virtual. Deve-se isto ao facto de, em RA, o sistema ter de obter informações em tempo real acerca da estrutura do mundo físico e integrar, em 3D, os elementos virtuais no espaço tridimensional real. Qualquer erro de alinhamento entre o real e o virtual compromete a ilusão de que os dois mundos coexistem (Azuma, 1997).

Não obstante, em algumas aplicações de RA, o registo pode não necessitar de ser minucioso. O domínio de aplicação e contexto de uso é que determinam o grau de precisão necessário. Por exemplo, uma aplicação médica de realidade aumentada em cirurgia deverá necessitar de uma precisão muito mais acentuada que uma aplicação para a visualização de objetos em contexto museológico. Em qualquer um dos casos, a equipa de desenvolvimento do sistema deverá ter uma estimativa do erro associado ao registo e prover formas apropriadas de lidar com o mesmo. Sistemas médicos conseguem, potencialmente, melhores registos devido ao ambiente ser rigorosamente preparado e controlado (Robertson, Coelho, MacIntyre, & Julier, 2007).

A acrescentar a um alinhamento preciso, os elementos virtuais devem ainda reagir a mudanças de acordo com a posição (i.e. localização e orientação) do observador, devendo para isso ser feita uma constante estimativa em tempo real. Estas mudanças implicam um eficaz sistema de *tracking*, composto por vários sensores como câmaras, Inertial Motion Units (IMU), giroscópios, acelerómetros ou magnetómetros (bússola digital).

Algumas técnicas de registo incluem a utilização de uma câmara juntamente com algoritmos de visão por computador. Esta técnica depende da existência de pistas no mundo real que tanto podem ser marcadores artificiais ou objetos reais que se distingam facilmente do plano de fundo. Os marcadores artificiais, ou fiduciais, são inicialmente identificados através de algoritmos e servem como ponto de referência para a colocação de objetos virtuais.

Soluções de registo que não requerem marcadores são as mais promissoras e, no entanto, também as mais desafiantes (Bimber & Raskar, 2005). Uma das opções para *tracking* e registo em ambiente externo é o *Global Position System* (GPS), servindo esta tecnologia para identificar a posição do utilizador no mundo físico e, de acordo com essas coordenadas, fazer o registo de informação digital em locais de interesse que lhe estejam próximos. Um exemplo de uma aplicação que tira partido do GPS do *smartphone* como forma de ler a latitude, longitude e elevação do dispositivo, convertendo esses valores em coordenadas X, Y e Z, é o sistema MOOAR (*Multi-Object Oriented Augmented Reality*) (Chang & Tan, 2010). Para além das coordenadas, a bússola digital e o acelerómetro são utilizados para detetar a orientação do dispositivo, obtendo assim 6 graus de liberdade (6DOF) fundamentais para a deteção de todos os movimentos possíveis por parte do observador. Em ambientes internos, o GPS não é suficiente para indicar a posição precisa do utilizador, sendo que o mais comum é a utilização de marcadores artificiais referidos no parágrafo anterior.

No que diz respeito a erros de registo, estes podem ser de dois tipos: estáticos ou dinâmicos.

Os erros estáticos ocorrem quando a cena vista pelo observador e todos os seus objetos estão parados. Os erros dinâmicos, o efeito só é sentido quando há movimento, seja devido ao observador alterar o seu ponto de vista ou haja deslocação de objetos. Exemplos de erros estáticos incluem a distorção ótica de lentes e desalinhamentos mecânicos, por exemplo, dos componentes do HMD. No entanto, os erros mais comuns são do tipo dinâmico, sendo mais evidentes os erros relacionados com o tempo que demora entre o sistema de *tracking* medir a posição e orientação do utilizador e o momento em que a imagem combinada final é apresentada (Azuma, 1997).

1.1.4. Domínios de aplicação

A utilização de RA compreende situações e tarefas onde há necessidade de incluir informação digital diretamente alinhada com a visão do mundo real. Assim, esta implica

diversos domínios de aplicação, sendo que alguns dos quais ainda carecem de um estado de maturação suficiente de forma a poderem abandonar o âmbito da investigação.

Foram escolhidos três domínios nos quais a RA foi já investigada ou utilizada em contexto real, enunciando as diferentes vantagens e potencialidades de cada aplicação.

Visualização Médica: médicos podem beneficiar de RA como ferramenta de visualização e interação com modelos digitais, tanto para treino/simulação como para cirurgia em contexto real (Azuma, 1997). Uma vantagem é ser capaz de fornecer uma visão interna do paciente, proporcionando uma visão na 1ª pessoa de elementos tridimensionais. Para além desta “visão raio-x”, a RA é sobretudo utilizada para efeitos de treino, onde informações surgem no campo visual do aprendiz, recordando-o dos procedimentos necessários sem que este se veja obrigado a alternar a sua visão entre o ‘paciente’ e um manual.

Indústria e reparação: a montagem, manutenção e reparação de máquinas complexas é outra das áreas na qual a RA é relevante. Ao invés de existirem apenas em manuais físicos, as instruções para estas tarefas poderão surgir, por via digital, no campo de visão do funcionário, sobrepondo-se ao objeto real. Mais relevante que instruções textuais, formas tridimensionais colocadas diretamente nos locais de interesse proporcionam um entendimento mais explícito do procedimento a realizar (Azuma, 1997). A utilização de *dispositivos* HMD permite impor modelos gerados por computador na visão real dos objetos físicos, ajudando o operário passo-a-passo com informações relativas às tarefas.

Turismo: Um exemplo de RA com fins de “turismo cultural” pode ser visto no projeto PRISMA (Fritz, Susperregui, & Linaza, 2005). O objetivo é proporcionar acesso a informação acerca de monumentos e edifícios históricos de uma cidade, a partir do conceito de binóculos *pay-per-view* já utilizados em turismo, mas desta vez fornecendo uma visualização do real enriquecida com conteúdo virtual multimodal.

1.2. Media tangíveis

O paradigma de interação com informação digital alterou-se desde o aparecimento dos primeiros computadores. A evolução é visível desde as interfaces controladas através de linhas de comandos, passando pelas interfaces gráficas controladas por rato e teclado, baseadas em metáforas, até aos dias de hoje com as superfícies tácteis que permitem simular ações comuns do mundo físico de forma mais direta e intuitiva.

Ao contrário do que acontece com o *hardware*, tal como evidenciado pela lei de Moore, o design de interfaces não possui um progresso anual regular e previsível. A história das interfaces de utilizador é caracterizada por longos períodos de estabilidade interrompidos por uma súbita mudança, podendo-se identificar quatro gerações distintas (Dam, 1997).

Durante o 1º período (início dos anos 50 até início dos anos 60), os computadores eram baseados num processamento em série (*batch mode*), com *input* de cartões perfurados e impressão do *output*. Na altura, a interface de utilizador era inexistente.

No segundo período (anos 60 até inícios dos anos 80), a interação com o computador era feita através da inserção de comandos com parâmetros alfanuméricos. Este tipo de interação manteve-se comum nos anos 70, mas uma 3ª geração de interfaces de utilizador surgiu, as interfaces de utilizador WIMP (Windows, Icons, Menus, Pointing Device). Estas interfaces, com origem no Xerox PARC e popularizadas pelo Macintosh em 1984, mantêm-se hoje muito populares e praticamente inalteradas, com a exceção de aperfeiçoamentos ao nível gráfico e introdução de algumas ferramentas virtuais de interação. Estas interfaces permitem o utilizador focar-se mais eficazmente na tarefa a realizar e não na tecnologia envolvida, tendo criado um *standard* do que é uma interface fácil de utilizar e aprender e que permita uma fácil transferência de conhecimento ganho ao utilizar uma aplicação para outras, devido à consistência no seu aspeto.

Avanços tecnológicos e uma melhor perceção dos aspetos psicológicos e sociais associados à interação Homem-máquina levaram ao aparecimento, nas últimas duas décadas, de novos estilos de interação, visíveis, por exemplo, nos comandos Wii e nas superfícies *touch* e *multi-touch* (Saffer, 2008, p. 3; Shaer & Hoernecker, 2009). Estas interfaces, ao possuírem pelo menos uma técnica de interação não dependente de ferramentas 2D tradicionais, como menus e ícones, fazem parte das interfaces pós-WIMP (Dam, 1997).

1.2.1. Internet Of Things

Actualmente, verifica-se a multiplicação de dispositivos conectados à internet. Este fenómeno faz parte do que se entende por "Internet of Things", cujo conceito consiste em conectar em rede objetos comuns do nosso quotidiano. Cada um desses objetos, dotados de um identificador único (IP) e de sensores, permitem que computadores recolham informações da sua atividade. Segundo Ashton (2009), criador da expressão,

ao monitorizarmos objetos à nossa volta, sem a necessidade de humanos recolherem essas informações, seremos capazes de reduzir desperdícios, custos e perdas.

O crescimento da *Internet of Things* (IoT) vai exceder o de outros dispositivos conectados, prevendo-se que em 2020 haja cerca de 7.3 mil milhões de smartphones, tablets e PC's, enquanto o número de dispositivos da IoT para essa altura está estimado em 26 mil milhões (Gartner.com, 2013).

Seres humanos e objetos produzem desde sempre uma incontável quantidade de dados. A diferença é que hoje a sua captura e processamento é possível devido à passagem do analógico para o digital, podendo-se definir quatro gerações diferentes em que isso aconteceu (Intel, 2014): surgimento dos computadores, passagem do telefone analógico para o digital, câmaras e mais recentemente máquinas (eletrodomésticos, carros, terminais de transportes públicos, entre outros). Um aspeto importante resultado destas mudanças é a possibilidade de criar aplicações e ambientes “context aware”, ou seja, capazes de assimilar aspetos computacionais do ambiente à sua volta e reagir de acordo a mudanças (Schilit, Adams, & Want, 1994).

Em 2008, o número de coisas conectadas à internet era superior ao número de pessoas no mundo (Cisco, 2011) tendo como consequência a existência de um “oceano de dados” (IBM, 2010). Torna-se, portanto, cada vez mais comum ouvir a expressão *Big Data* que se refere à natureza da informação dos dias de hoje, constituída por conjuntos de dados tão vastos e complexos que a sua análise e processamento se torna impossível recorrendo a técnicas tradicionais.

1.2.2. Tangible User Interfaces (TUI)

O ser humano desenvolveu complexos mecanismos de perceção e manipulação do ambiente físico. No entanto, parte dessas habilidades são subaproveitadas na interação com informação digital, uma vez que o principal paradigma de interação é maioritariamente baseado em interfaces gráficas de utilizador (*GUI - Graphical User Interfaces*) apresentadas através de ecrãs (Ishii, 2009).

Em oposição ao paradigma de interação que lhe antecedeu, cujas interfaces eram baseadas em linhas de comandos (*CLI - Command Line Interface*), as interfaces WIMP representam importantes melhorias, observáveis na passagem da memorização e redação de comandos textuais para uma interação baseada em “ver, apontar e clicar” (Figura 6). No entanto, estas interações continuam inconsistentes com as que acontecem no mundo físico, no qual obtemos informações táteis e tiramos partido da nossa destreza e motricidade fina para manipular vários objetos físicos, empilhando-os e organizando-os de acordo com a necessidade (Ishii, 2009).

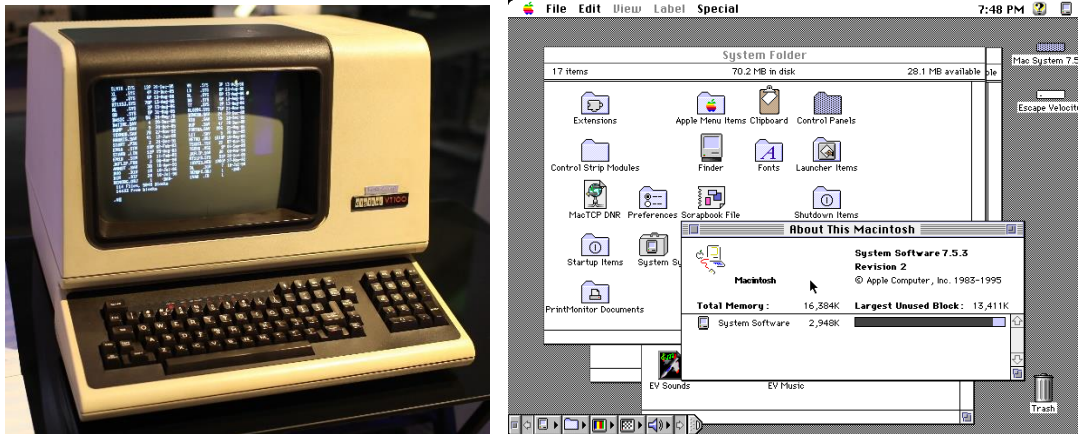


Figura 6 – Exemplo de CUI (Scott, 2013) e GUI

As TUI, que possuem à categoria das interfaces pós-WIMP (Dam, 1997), constituem um novo paradigma de interação alternativo às três primeiras gerações de interfaces de utilizador (Dam, 1997), na medida em que encorajam a participação e manipulação de objetos do mundo físico como forma de interagir com informação digital (Figura 7). O objetivo é unir o espaço digital com o ambiente físico e tirar partido da intuição humana no que se refere às suas capacidades de manipulação espacial (Ullmer & Ishii, 2001). Apesar de constituírem importantes desafios tecnológicos e dificuldades conceptuais ao nível do design de interação (Shaer & Hoerneck, 2009), as TUI geram novas oportunidades e ambientes de interação (Ishii & Ullmer, 1997; Ullmer & Ishii, 2001).



Figura 7 – Reactable, uma TUI de apoio à criação colaborativa de música digital (Williams, 2007)

Origem das TUI

Instead of using computers to enclose people in an artificial world, we can use computers to augment objects in the real world. We can make the environment sensitive with infra-red, optical sound, video, heat, motion and light detectors, and we can make the environment react to people's needs by updating displays, activating motors, storing data, driving actuators, controls and valves.

(Wellner, Mackay, & Gold, 1993)

O aparecimento e desenvolvimento da noção de “interface tangível” está diretamente relacionado com as motivações iniciais para a Realidade Aumentada e a Computação Ubíqua (Shaer & Hoerneck, 2009, p. 6).

Em 1993, numa edição especial de comunicações da ACM (*Association for Computing Machinery*) intitulada “*Computer-Augmented Environments: Back to the Real World*” (Wellner et al., 1993), argumenta-se que, apesar da utilidade, os computadores de secretária afastam os humanos do seu “ambiente natural” no que toca à realização das suas tarefas diárias. Como forma de contrariar esta ocorrência, os autores sugerem, ao invés de forçar os utilizadores a entrar num mundo virtual, enriquecer o mundo real incorporando-lhe funcionalidades digitais.

Anos mais tarde, as ideias discutidas por Wellner (Wellner et al., 1993) evoluem para um tipo de interação proposto por Fitzmaurice, Ishii e outros na noção de *Graspable Interface* (Fitzmaurice, 1996; Fitzmaurice, Ishii, & Buxton, 1995; Ishii & Ullmer, 1997). As *Graspable User Interfaces* são uma evolução dos mecanismos de *input* empregados nas interfaces gráficas de utilizador e permitem controlar funcionalidades digitais através de objetos físicos especializados (Fitzmaurice, 1996). De acordo com Fitzmaurice et al. (Fitzmaurice et al., 1995), a premissa básica é que as *affordances* dos manípulos físicos são mais ricas que as dos controlos virtuais, uma vez que, entre outras razões, facilitam interações com as duas mãos, permitem a criação de tipos de *input* especializados e sensíveis ao contexto de utilização, dão azo a uma comunicação mais expressiva com o computador, tiram partido da nossa capacidade de raciocínio espacial e suportam a colaboração (Figura 8).

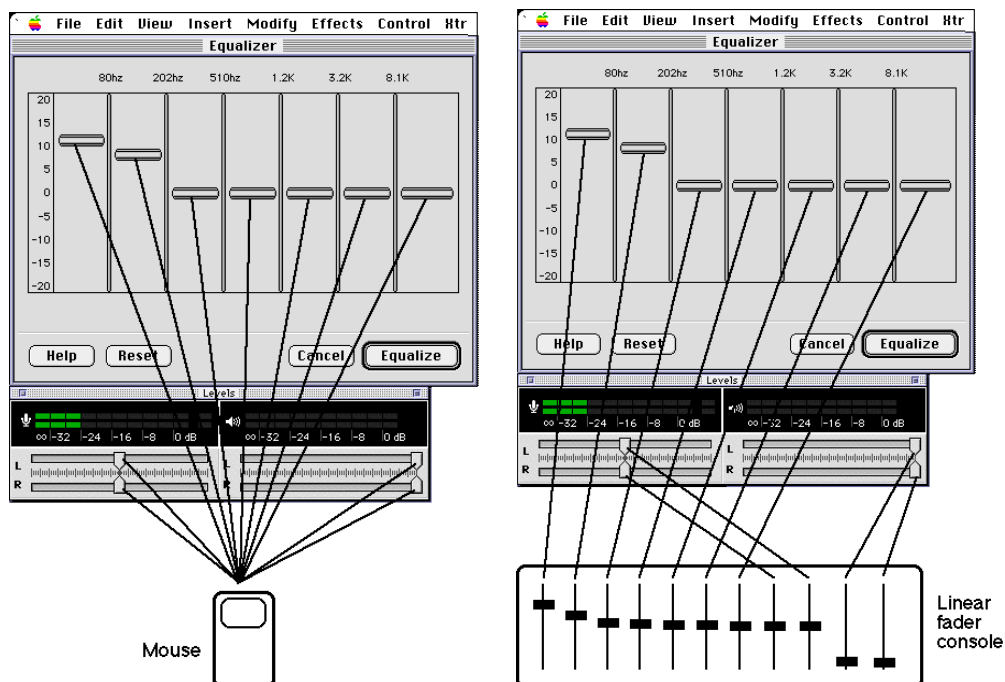


Figura 8 – Demonstração do conceito de *inputs* especializados em oposição ao *input* genérico (rato) utilizado em GUI (Fitzmaurice, 1996, p. 15)

O conceito de *Graspable Interface* é demonstrado através de blocos de madeira que funcionam como manípulos de interação com informação digital (Fitzmaurice et al., 1995). Um bloco é acoplado a um objeto gráfico visualizado num monitor, sendo colocado acima deste. O ato de mover ou rodar o bloco resulta no mesmo comportamento por parte do objeto gráfico virtual (Figura 9).

Outras funcionalidades foram testadas como colocar dois blocos em cantos opostos de um objeto de forma a redimensioná-lo arrastando os blocos. Esta experiência permitia algumas das interações atualmente utilizadas em superfícies multi-touch.

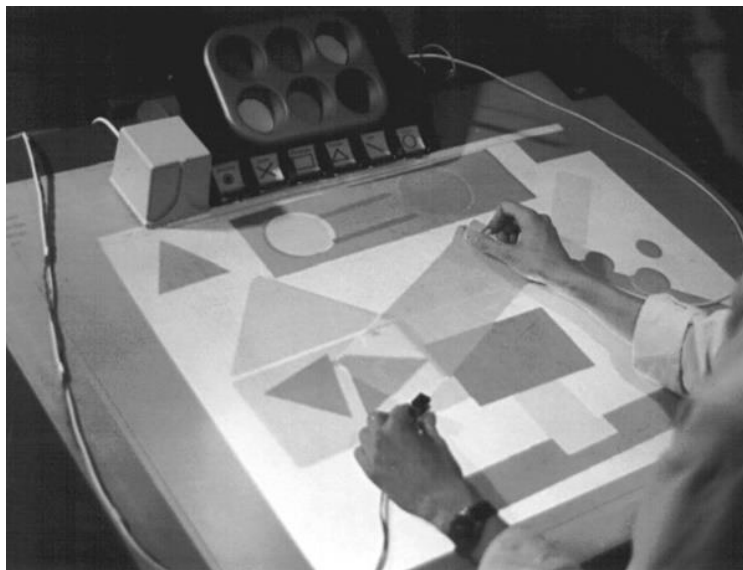


Figura 9 – Bricks, um protótipo demonstrativo do conceito de *Graspable User Interface* (Fitzmaurice et al., 1995)

No final da década de 1990 surgiu a ideia de *Tangible Bits*, introduzida por Ishii & Ullmer (Ishii & Ullmer, 1997). O intuito era tornar *bits* diretamente acessíveis e manipuláveis, utilizando o mundo real como interface. Sensores poderiam ser conectados a artefactos físicos do quotidiano, tornando os *bits* tangíveis, ao mesmo tempo que “mostradores ambientais” (*ambient displays*) seriam capazes de representar informação digital através de som, luz, ar ou água.

GUIs fall short of embracing the richness of human senses and skills people have developed through a lifetime of interaction with the physical world. Our attempt is to change ‘painted bits’ into ‘tangible bits’ by taking advantage of multiple senses and the multimodality of human interactions with the real world. We believe the use of graspable objects and ambient media will lead us to a much richer multi-sensory experience of digital information.”

(Ishii & Ullmer, 1997, p. 7)

Para demonstrar o conceito de interfaces tangíveis, um dos protótipos elaborados foi o *Urp*, uma mesa de trabalho tangível para design e planeamento urbano (Underkoffler &

Ishii, 1999). O Urp (Figura 10) consiste na representação de um ambiente urbano, com modelos físicos de edifícios arquitetónicos onde é possível observar uma simulação de sombras, reflexos de luz e fluxos de vento. Para além de modelos de edifícios, há também uma série de ferramentas tangíveis para controlar os parâmetros da simulação. Por exemplo, existe um relógio para alterar a posição do Sol e uma varinha para mudar o material dos edifícios (Ishii, 2009).

Os modelos físicos são utilizados enquanto representações tangíveis dos seus modelos digitais, cuja manipulação produz efeitos visíveis e em tempo real no conteúdo digital. Em vez do utilizador apontar e arrastar uma representação digital, pode fazê-lo, de forma mais direta, no modelo físico.

De acordo com Shaer & Hoerneck (2009) o trabalho de Ishii manteve o mesmo princípio de interação direta através das duas mãos patente nas *Graspable Interfaces*. No entanto, os blocos genéricos e abstratos foram substituídos por elementos simbólicos e icónicos. Com base nesta ideia de bits tangíveis, surgiu o conceito de Tangible User Interfaces enquanto novo tipo de interface e estilo de interação.

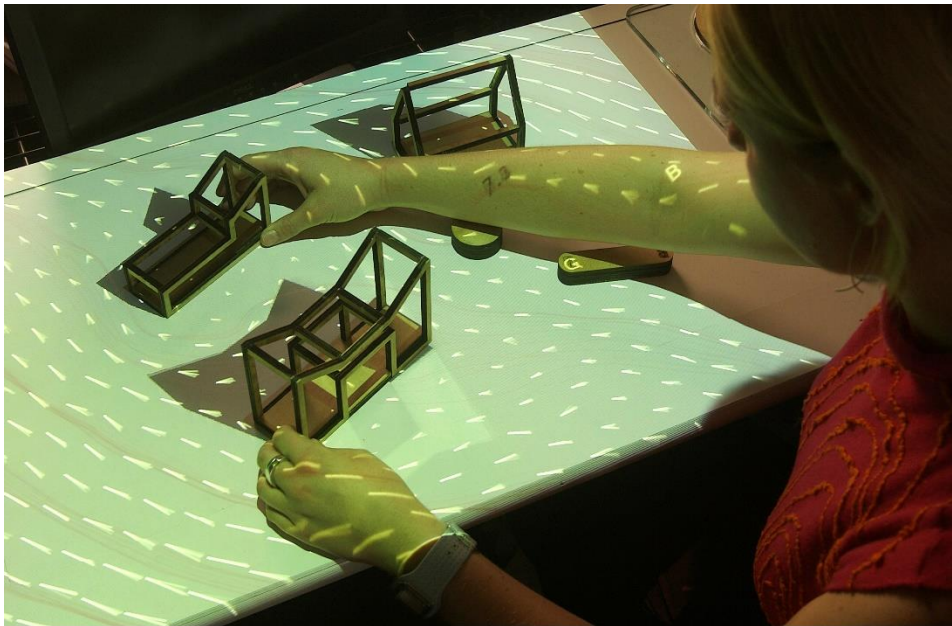


Figura 10 - URP: mesa de trabalho tangível para design e planeamento urbano (Underkoffler & Ishii, 1999)

Modelo de interação

Uma interface entre pessoas e informação digital requer, tipicamente, duas componentes: *input* e *output*, ou, por outras palavras, controlos e representações. Os controlos permitem o utilizador manipular informação, enquanto que representações dão forma ao conteúdo digital, sendo percecionadas através dos sentidos (Ishii, 2009).

Interação em GUI e TUI

Em 1981, o computador Xerox Star constituiu a primeira geração de GUI, sendo o primeiro sistema comercial a demonstrar a eficácia do rato, janelas e ícones na

interação com informação digital. Este sistema estabeleceu também alguns princípios fundamentais na interação Homem-computador como o princípio do “ver e apontar” em oposição ao “recordar e digitar” (Ishii, 2009).

Entretanto, as GUI tornaram-se no paradigma principal de interação, através de um sistema baseado em janelas, ícones e menus representados por *pixels* e visualizados em *displays*. Esta é uma representação intangível, uma vez que os pixels apenas são interativos através de “controlos remotos” genéricos como rato e teclado (Ishii, 2009).

O modelo MVC (*Model, View, Control*) é um padrão utilizado em arquitetura de software, geralmente aplicado no desenvolvimento de interfaces gráficas de utilizador. Cada letra da sigla MVC corresponde a uma de 3 partes independentes, mas interconectadas, de uma aplicação. Ullmer e Ishii (Ullmer & Ishii, 2001), inspirando-se neste modelo sugerem um modelo de interação para desenvolvimento de interfaces tangíveis chamado MCRit, acrónimo de Model-Control-Representation (*intangible & tangible*). Enquanto que o modelo MVC dá ênfase à separação entre a representação visual (i.e. *View*) e os controlos (mediados por dispositivos de entrada como rato e teclado), o MCRit enfatiza a integração em simultâneo de representações (que podem ser tangíveis ou intangíveis) e controlos físicos. Desta forma, em TUI, a distinção entre dispositivos de *input* e dispositivos de output deixa de fazer sentido.

1.2.3. Interfaces Gestuais

Interfaces baseadas na interação através do rato são flexíveis, tendo demonstrado solidez na execução de diversos géneros de tarefas. Contudo, na última década, têm surgido interfaces de utilizador direcionadas a formas de interação mais “naturais” com o propósito de realizar tarefas mais específicas. Prova disso é a existência de dispositivos que alcançaram uma audiência a nível global como a Wii, um comando de videojogos no qual os movimentos do utilizador são refletidos no ecrã, e os *smartphones*, cujo dispositivo pioneiro foi o iPhone, nos quais a manipulação de informação digital é através de toques no ecrã (Saffer, 2008).

Interfaces de utilizador baseadas no uso de gestos interativos e toque são chamadas de *Natural User Interfaces* (NUI). De acordo com Bowman (Bowman, 2012), há duas categorias de NUI: interfaces baseadas no toque direto, através de superfícies tácteis, e interfaces baseadas num *input* tridimensional, as 3D UI.

O que diferencia as interfaces gestuais de interfaces tradicionais, baseadas em rato e teclado, é o facto dos gestos permitirem um leque mais vasto de ações (Saffer, 2008, p. 6). Isto é, interfaces gestuais tiram partido de todo o corpo para despoletar comportamentos no sistema, implicando experiências de interação mais ricas. Por exemplo, deslizar horizontalmente o dedo no ecrã pode fazer avançar uma página, varrer com o braço pode indicar a limpeza de elementos do ecrã ou o facto de entrar dentro de uma sala pode fazer alterar a temperatura e iluminação automaticamente.

Qualquer ambiente que possui gestos como forma de interação tem os seguintes componentes: um sensor, um comparador e um atuador (Figura 11).

Tipicamente, um sensor é um dispositivo elétrico ou eletrónico capaz de detetar alterações no ambiente. A natureza do sensor tem uma relação direta com o tipo de interações gestuais permitidas, destacando-se os seguintes por serem mais frequentemente utilizados em interfaces gestuais (Saffer, 2008, p. 13): pressão, luz, proximidade, som, inclinação, movimento e orientação.

Uma vez detetada uma alteração, o sensor transmite a informação para o comparador que, com base no objetivo do sistema, é responsável por produzir um julgamento. Em muitas interfaces gestuais, o comparador é um microprocessador que executa um *software*, interpretando os dados recolhidos pelo sensor e reencaminhando comandos para o atuador (Saffer, 2008, p. 16).

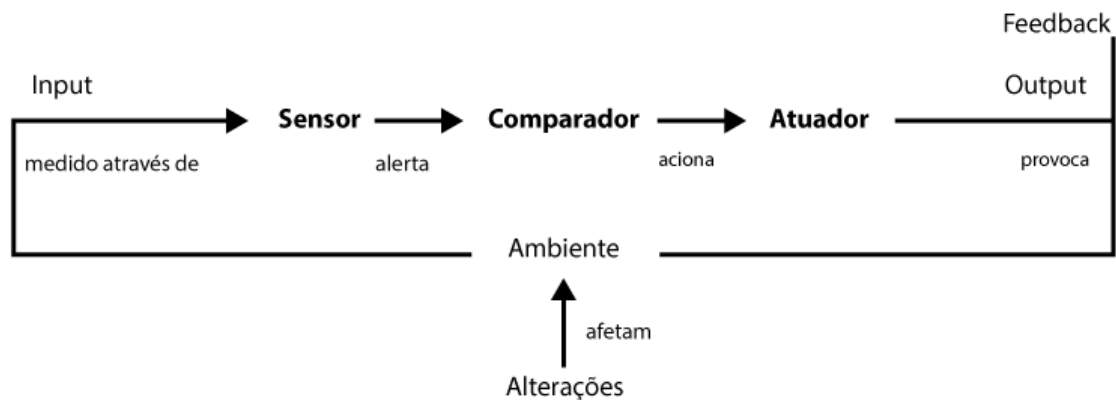


Figura 11 – Componentes básicos de um sistema de interação gestual. Adaptado de (Saffer, 2008, p. 13)

Uma vez que o objetivo desta dissertação é estudar a inclusão de objetos virtuais diretamente na visão do mundo real do cirurgião é pertinente caracterizar uma interface de utilizador tridimensional.

3D User Interfaces (3D UI)

Uma interface de utilizador 3D baseia-se na interação 3D, “um tipo de interação humano-computador na qual as tarefas do utilizador são realizadas diretamente num contexto espacial tridimensional” (Bowman, et. al 2005).

O facto do autor se referir à interação como sendo feita “diretamente num contexto espacial 3D” é fundamental para perceber o conceito e distingui-lo de outros tipos de interface. Em primeiro lugar, a palavra “diretamente” surge para fazer a distinção face à visualização de ambientes virtuais 3D com os quais o utilizador interage indiretamente através da manipulação de menus 2D ou sistemas de coordenadas (Bowman, 2012).

A outra ideia patente na definição é o “contexto espacial 3D”. Este contexto pode ser “virtual, real ou ambos” e é referente ao facto de o utilizador fornecer, por gestos, um

input espacial muito específico e com significado para o sistema, definido pela sua posição e orientação no espaço. Desta forma, o princípio fundamental é o rastreamento espacial, já que o sistema deve ser capaz de “rastrear a posição, orientação e/ou movimento” do utilizador para que um *input* corresponda a uma interação 3D (Bowman, 2012).

Apesar de reconhecer a utilidade de interfaces naturais, em situações onde métodos tradicionais são inapropriados ou inconvenientes, Norman (2010) lança o alerta em relação a algumas preocupações que devem ser tidas em conta. De acordo com o autor, sistemas baseados na interação gestual devem seguir as mesmas regras do design de interação, fornecendo um modelo conceptual claro acerca da maneira de interagir com o sistema e suas consequências.

É ainda necessário ter especial atenção a formas de fornecer *feedback* e pistas explícitas para possíveis ações. Uma das razões é o facto de gestos serem livres, podendo ser ambíguos e gerar ações erradas. Assim, é necessário fornecer *feedback* construtivo para que o utilizador perceba em tempo real o que está a acontecer. No campo da prevenção de erros, visto que gestualizar é uma ação natural e automática, o sistema deve estar preparado para evitar falsas respostas a movimentos que não foram feitos com a intenção de servirem de *inputs*.

1.2.4. Computação Vestível (*Wearable Computing*)

A computação vestível compreende a utilização de dispositivos computacionais diretamente no espaço pessoal do seu portador, estando estes acoplados ao corpo da pessoa, seja sob a forma de acessório como óculos ou pulseiras, incorporados na roupa (Athos, 2015) ou até implantados no interior do corpo (Mann, 1998)

Ao longo deste documento, a expressão *wearable* será utilizada para referir qualquer dispositivo de computação vestível, por ser mais fácil de comunicar.

Geralmente um *wearable* possui algumas das seguintes características (Reiss & Amft, 2016, p. 584): captura de informação, computação, *feedback* e comunicação da informação adquirida. Outro aspeto, comum a alguns *wearables*, é a existência de uma *interface* secundária, requerendo atenção mínima por parte do utilizador (Starter, 2016, p. 14), como são exemplo as pulseiras de monitorização de atividade física que recolhem dados biométricos, sem que o utilizador tenha que desviar a atenção das suas tarefas principais.

Este tipo de tecnologia pervasiva beneficia dos avanços tecnológicos que permitem criar dispositivos computacionais, dotados de sensores e atuadores, com dimensões cada vez mais reduzidas. Assim, implica vantagens para diversas áreas de atuação, ao possibilitar uma ligação intrínseca entre homem e máquina, visto ser capaz de ‘ver’, ‘ouvir’ e ‘sentir’ o mesmo que o utilizador.

1.3. Cirurgia mediada por tecnologia

O uso de imagens intraoperativas esteve, no passado, sobretudo associado ao diagnóstico de patologias, com a exceção de ocasionais utilizações de radiografias estáticas ou fluoroscopia no bloco operatório (Perrin et al., 2009). Com o desenvolvimento de práticas menos invasivas, outras técnicas imagiológicas foram levadas para o procedimento cirúrgico, permitindo planear e realizar intervenções complexas no interior do paciente, sem a necessidade de obter visualização direta.

Nesta secção são expostas algumas das tecnologias e técnicas utilizadas com o objetivo de intervir no paciente de forma pouca invasiva, recorrendo a visualização indireta.

1.3.1 Cirurgia minimamente invasiva

A cirurgia minimamente invasiva (CMI) é um procedimento realizado com o objetivo de causar pouco trauma ao paciente, ao nível das incisões efetuadas. Tradicionalmente, a cirurgia obrigava ao corte de grandes quantidades de tecido, tendo como consequência tempos de recuperação prolongados para o paciente devido à cicatrização e possibilidade de surgirem infeções. A CMI surgiu com o propósito de reduzir estes danos colaterais propiciados pela cirurgia em si, mais do que pela lesão que deu origem à intervenção (Peters, 2006, p. 506).

Procedimentos deste género são endoscopias ou laparoscopias, procedimentos que utilizam tubos flexíveis para chegar até aos órgãos internos através de pequenas incisões. Durante uma endoscopia, o cirurgião insere um fino e flexível tubo, com uma câmara, através de uma incisão pequena ou de um orifício natural como a boca ou as narinas (Johns Hopkins Medicine, 2016).

Alguns benefícios deste tipo de intervenção incluem (Johns Hopkins Medicine, 2016):

- Incisões reduzidas ou inexistentes;
- Menos dor associada;
- Menor risco de infeção;
- Menor tempo de recuperação;
- Menor tempo de permanência no hospital;
- Cicatrizes menores ou inexistentes;
- Perda de sangue reduzida;

1.3.2. Cirurgia guiada por imagem

A cirurgia guiada por imagem (CGI), a par da radiologia interventiva, é um conceito que faz parte do que se entende por terapias guiadas por imagem. Sendo sinónimo de cirurgia assistida por computador, caracteriza-se por qualquer cirurgia que tira partido de imagiologia avançada de forma a localizar, direcionar, acompanhar e controlar procedimentos (Jolesz, 2014, p. 2)

O seu aparecimento acontece na neurocirurgia estereostática, um procedimento no qual imagens provenientes de Tomografia Computadorizada e Ressonância Magnética eram combinadas com *frames* estereostáticos de forma a guiar procedimentos.

O desenvolvimento de sistemas capazes de rastrear instrumentos cirúrgicos no espaço tornou o *frame* estereostático dispensável, abrindo a também a possibilidade a outros tipos de cirurgia e terapia incluindo biopsias, ortopedia ou tratamento de patologias em órgãos como próstata, rins e coração (Jolesz, 2014).

Em CGI, instrumentos cirúrgicos são rastreados de forma a serem correlacionados em tempo real com imagens pré-operatórias do paciente. O procedimento consiste em: registo do paciente com imagens pré-operatórias (1), rastreio dos instrumentos cirúrgicos (2) e visualização dos instrumentos em imagens pré-operatórias (3) (Kersten-Oertel, Jannin, & Collins, 2015).

1) Registo

O registo refere-se ao alinhamento espacial de imagens pré-operatórias com o paciente. Um dos aspetos fundamentais da CGI é a capacidade de registar diversas imagens multimodais do paciente (*image-to-image registration*) e no paciente (*image-to-patient registration*) (Marta Kersten-Oertel et al., 2016).

O processo pode ser feito manualmente pelo cirurgião, fazendo corresponder de pontos de referência anatómicos (*landmarks*) no paciente e nos *data sets*¹.

2) Localização e rastreio (*tracking*)

Uma vez conseguido o registo das imagens com o paciente, o cirurgião pode monitorizar os instrumentos cirúrgicos nas imagens pré-operatórias do paciente. Sistemas de rastreio localizam objetos através da aquisição da sua posição e orientação no espaço (*pose estimation*). Em CGI, foram já utilizados sistemas baseados em rastreio acústico, ótico e eletromagnético (Marta Kersten-Oertel et al., 2016).

Sistemas de rastreio ótico identificam, através de câmaras, a luz emitida por instrumentos cirúrgicos, distinguindo-se dois tipos de rastreio: ativo e passivo. No rastreio ótico passivo, emissores de infravermelhos são colocados nos objetos do bloco operatório que necessitam de ser rastreados. A luz infravermelha é então refletida por marcadores esféricos colocadas num ponto de referência do bloco operatório (*reference array*). No rastreio ótico ativo, fontes de luz LED são diretamente identificadas por câmaras. Em ambos os casos, existem duas câmaras responsáveis por fazer a triangulação das fontes de luz e, assim, determinar a posição e orientação dos objetos no espaço tridimensional (Klein et al., 2009, p. 560).

¹ *Data set*: conjunto de informações, geralmente imagens, utilizadas durante um procedimento guiado por imagem.

Sistemas de rastreio eletromagnético medem a intensidade magnética de transmissores. Através de sensores, nos quais a voltagem é induzida pelo campo magnético, é adquirida a localização e orientação de objetos em movimento (por exemplo, acoplados a instrumentos cirúrgicos). A principal vantagem, face a alternativas óticas, é o instrumento cirúrgico poder ser rastreado dentro de cavidades corporais, uma vez que não necessita de estar no campo de visão entre o recetor e o emissor. Por outro lado, se houver um scanner magnético próximo, por exemplo, um aparelho de ressonância magnética intraoperatório, os sinais eletromagnéticos podem sofrer distorções. Desta forma, os sistemas óticos são mais utilizados em CGI (Marta Kersten-Oertel et al., 2016).

Por fim, sistemas de rastreio acústico foram também já utilizados, nomeadamente na neurocirurgia (Hata, Dohi, Iseki, & Takamura, 1997), onde um emissor é colocado no paciente, enquanto vários microfones colocados em diferentes posições do bloco operatório captam ondas ultrassónicas. Aproveitando os diferentes tempos de chegada do som aos microfones, é possível triangular esses valores para determinar a posição do paciente. No entanto, a sua adoção em CGI não é muito significativa dada a falta de precisão demonstrada até ao momento, bem como a suscetibilidade a mudanças na temperatura da sala que podem resultar em alterações na velocidade do som (Marta Kersten-Oertel et al., 2016).

3) Visualização

Para que seja possível intervir dentro do corpo do paciente, sem observar diretamente as estruturas alvo, deve existir um sistema de visualização que permita ao cirurgião obter informações anatómicas cruciais, prejudicando o menos possível o *workflow* do procedimento (Perrin et al., 2009).

Ao desenvolver um sistema de CGI, o desafio é aferir que tipo de informação é necessária, como esta deve ser mostrada e a que velocidade esta deve ser alterada (*frame rate*), decisões dependentes da tarefa a realizar e da natureza do alvo (Perrin et al., 2009).

1.3.3. Técnicas de imagiologia médica

A imagiologia médica refere-se a técnicas e processos utilizados para criar imagens do corpo humano com propósitos clínicos. Durante uma cirurgia, para obter informação crítica relacionada com a anatomia interna do paciente, é fundamental o recurso a modalidades de imagiologia. Cada técnica possui vantagens e desvantagens, de acordo com as especificidades de cada procedimento, sendo as mais comuns: imagiologia ótica, fluoroscopia, tomografia computadorizada (TC), imagem por ressonância magnética (IRM) e ultrassonografia (Perrin et al., 2009).

Opções de imagiologia podem ser categorizadas de acordo com vários fatores (Perrin et al., 2009): resolução espacial, grau de penetração de tecido, capacidade de diferenciar contornos de tecidos (contraste da imagem), capacidade de detetar diferentes

características de tecidos moles (densidade, propriedades mecânicas, deformabilidade), localização da fonte de energia, capacidade de prover imagens em tempo real e presença de radiação ionizante. Um resumo da presença destes fatores em cada um dos tipos de modalidade de imagiologia citados pode ser consultado na Tabela 1. Na tabela, adaptada de Perrin (Perrin et al., 2009), para os fatores cuja resposta é qualitativa e não booleana (por exemplo, resolução espacial), é utilizada uma escala ordinal que vai desde o patamar mínimo (+), no caso do fator em questão apresentar pouco valor, ao patamar máximo (+++++), no caso de ser um fator indiscutivelmente valioso.

Imagiologia ótica

As vantagens da endoscopia ótica, captação de imagem através de luz visível, são a obtenção de uma alta resolução espacial (limitada por fatores óticos e resolução da câmara digital), imagem em tempo real e a possibilidade de ver o interior das cavidades juntamente com os instrumentos cirúrgicos. A principal desvantagem, no entanto, é a falta de penetração da luz visível em tecidos e superfícies opacas. Tradicionalmente, imagiologia de raio-x era utilizada enquanto complemento ou substituto de imagiologia ótica por possuir alta resolução e pela sua capacidade de penetrar todo o tipo de tecidos. Contudo, oferece falhas na distinção entre diferentes zonas de tecidos moles e obriga ao contacto do paciente com radiação ionizante, uma exposição com efeitos nocivos. A maior limitação desta técnica reside na bidimensionalidade da imagem resultante, o que implica perdas de informação espacial e consiste num grande constrangimento para a tarefa de navegação cirúrgica (Perrin et al., 2009).

Fluoroscopia

A radiação eletromagnética de raio-X possui maior energia que a radiação da luz visível e, como tal, penetra ossos e tecidos moles. Um fóton emitido em direção ao corpo pode passar diretamente através deste, ser absorvido ou dispersar-se. As variações na absorção por materiais com diferentes densidades, resulta nas diferenças observadas na imagem bidimensional capturada em filme. A fluoroscopia consiste numa forma de obter imagens, em tempo real, através da utilização de uma fonte de raio-X e um painel fluorescente, ente os quais o paciente é colocado. Alterações em tempo real capturadas no painel ocorrem de forma imediata uma vez que os raios-X viajam à velocidade da luz (Perrin et al., 2009).

Esta é a modalidade mais antiga, sendo útil para identificar estruturas ósseas. Com a utilização de materiais de contraste rádio-opacos, possibilita também a identificação de vasos sanguíneos e cavidades corporais. O seu maior inconveniente é a ausência de informação tridimensional, o que pode ser ultrapassado através da captura de vistas ortogonais como, por exemplo, radiografia lateral ao peito. Contudo, desta forma, o cirurgião terá que processar mentalmente as 2 projeções para obter uma ideia de

localização espacial, o que em situações complexas constitui uma pesada tarefa cognitiva (Perrin et al., 2009).

Apesar da vantajosa dimensão temporal, requerida em alguns diagnósticos, o facto de não apresentar informação acerca de tecidos moles é um grande entrave para alguns procedimentos. Em muitas cirurgias abertas, a fluoroscopia é capaz de fornecer informação complementar suficiente. Contudo, na prática de procedimentos pouco invasivos ou que requerem o acesso a locais mais difíceis e remotos (por exemplo, angioplastia, uma prática com o objetivo de desobstruir uma artéria) é crucial obter informações acerca de tecidos adjacentes, relações físicas existentes entre estruturas da anatomia e uma precisa localização 3D (Perrin et al., 2009).

Tomografia Computadorizada (TC) ou Tomografia Axial Computadorizada (TAC)

Visto que esta modalidade é também conseguida através de raios-X, aplicam-se os mesmos aspetos da fluoroscopia em relação ao grau de penetração no tecido, absorção de radiação mais significativa quanto mais densos os materiais e diferenciação de contornos, por exemplo. A diferença é que a tomografia consiste na representação de várias secções corporais, de alta resolução, obtidas através de reconstruções matemáticas. Resumidamente, imagens tomográficas são guardadas em fatias bidimensionais e, visto que se sabe a localização de cada fatia, é possível, com esses dados, fazer uma conversão para elementos volumétricos (dados 3D) ou *voxels* (Perrin et al., 2009).

Em termos da captura de informação 3D em tempo real, há limitações ao nível do processamento uma vez que é necessário reconstruir a imagem a partir de grandes volumes de dados. Para além disso, a dose de radiação a ser fornecida durante o procedimento cirúrgico pode ser proibitiva, uma vez que há cada vez mais a opção por técnicas que empregam radiação não ionizante (Perrin et al., 2009).

Imagem por ressonância magnética (IRM)

A IRM tem base num princípio físico de ressonância magnética nuclear. O termo nuclear aqui empregue refere-se ao comportamento ressonante do núcleo de alguns átomos quando são excitados, na presença de um campo magnético de alta intensidade. Materiais deste tipo são chamados de paramagnéticos, o que significa que os seus núcleos atómicos se orientam uniformemente na presença de um campo magnético. Durante este momento, ao serem excitados por pulsos de ondas rádio, alguns destes átomos ficam temporariamente desalinham por passarem para um estado superior de energia. É quando estes se realinham, emitindo ondas rádio detetáveis, que é possível localizá-los (Perrin et al., 2009).

Um fator que torna a IRM numa técnica valiosa para a imagiologia médica é a existência em abundância de átomos paramagnéticos em tecidos moles, nomeadamente o

hidrogénio. A resolução pode ser melhorada aumentando a força do campo magnético, fornecendo imagens de alta qualidade e contraste (Perrin et al., 2009).

Ultrassonografia

Tal como a IRM, a ultrassonografia é uma técnica baseada em radiação não ionizante. A diferença para outras técnicas é que esta não funciona graças a radiação eletromagnética, mas sim baseando-se na vibração de materiais físicos. O ultrassom é composto de ondas acústicas com uma frequência acima do que a audição humana é capaz de ouvir. A aquisição de dados é conseguida através da propriedade fundamental inerente a ondas acústicas que é serem parcialmente refletidas quando encontram uma mudança na resistência do material (impedância) (Perrin et al., 2009).

Imagiologia multimodal

Esta técnica refere-se à combinação, ou seja, alinhamento espacial de diferentes modalidades numa só imagem. O objetivo é fornecer informações complementares da anatomia que poderão servir para melhorar a navegação e/ou seleção do alvo) (Perrin et al., 2009).

Tabela 1 – Sumário das técnicas de imagiologia médica mais comuns em CGI. Adaptado de Perrin et al (2009)

Modalidade	Resolução Espacial	Penetração de tecido	Diferenciação dos contornos de tecido	Características de tecidos moles	Fonte de energia	Tempo Real	Radiação Ionizante
Ótica	++++	++	++++	++	Instrumento	Sim	Não
Fluoroscopia	++	++++	++	++	Externa	Sim	Sim
IRM	+++	++++	++++	+++	Externa	+/-	Não
Ultrassom	+	+++	+++	+++	Externa/ Instrumento	Sim	Não
TC	+++	++++	+++	++	Externa	+/-	Sim

1.3.4. Realidade aumentada no bloco operatório

Ainda que originalmente concebidos e implementados com propósitos industriais, ambientes de visualização em realidade mista cedo suscitaram interesse na medicina, com o objetivo de aumentar a precisão e eficiência de procedimentos, reduzir a

morbilidade, diminuir tempo de recuperação e, conseqüentemente, alcançar menos custos a longo prazo (Yaniv & Linte, 2016).

Os principais procedimentos cirúrgicos com recurso a RA são a neurocirurgia, cirurgia craniofacial, maxilofacial e dentária, cirurgia de tecidos moles (i.e. coração, fígado, etc...) e cirurgia endoscópica e laparoscópica (Kersten-Oertel et al., 2016).

De acordo com (Lamata et al., 2010), um sistema de RA para suporte de aplicações médicas tem, geralmente, três principais componentes:

- Modelos de dados consistentes: os requisitos de um sistema deste tipo vão para além da simples exibição de dados volumétricos adquiridos previamente. As estruturas patológicas e anatómicas devem ser modeladas e registadas de forma precisa, mantendo a consistência ao longo do procedimento.
- Aquisição de dados em tempo real: aplicações de RA requerem o rastreio de dados em tempo real de forma a alinhar corretamente o real e o virtual.
- Visualização: comparativamente a métodos de navegação baseados em monitores, a RA possui requisitos e desafios mais elevados, nomeadamente ao nível da perceção de profundidade.

Estes componentes podem ser melhor compreendidos através da Taxonomia DVW (*Data, Visualization Processing e View*) (Tabela 2), taxonomia criada para descrever os componentes essenciais a qualquer sistema de realidade aumentada em cirurgia (Kersten-Oertel, Jannin, & Collins, 2013):

Data: deve ser tido em conta para seleccionar, de entre a abundância de dados, quais os dados relevantes a apresentar ao cirurgião e quais as transformações que é necessário fazer.

Visualization Processing: corresponde aos processos necessários para que os dados sejam eficientemente renderizados e/ou combinados;

View: componente através da qual os dados são mostrados, incluindo também aspetos relacionados com a interação e manipulação de informação.

Tabela 2 - Lista de verificação (checklist) baseada na taxonomia DVV (M Kersten-Oertel et al., 2013), onde são listados os componentes principais de um sistema de realidade mista para cirurgia

DATA

- Visualized Imaging Data:
 - Acquisition Sensor (CT, MRI, PET, ultrasound, etc.)
 - Acquisition Time (pre-op, intra-op, post-op)
 - Dimensionality (0D, 1D, 2D, 3D)
 - Semantics of the Data (strategic, operational, anatomical)
 - Data Object (real or virtual)
 - Analyzed Imaging Data
 - Data Primitive (points, lines, contours, volumes, etc.)
 - Visualized Patient Specific Data:
 - Clinical Scores (MMSE, UPDRS, PASAT, etc.)
 - Diagnosis (Pathology type, etc.)
 - Demographics (Sex, age, race, etc.)
 - Visualized Prior Knowledge Data:
 - Underlying Model (generic models, atlases, uncertainty, tools, etc.)
 - Visualized Derived Data:
 - Underlying Process (labels, uncertainty, measurements, etc.)
-

VISUALIZATION PROCESSING

- Image Processing of the Data/Algorithms:
 - Transformations of the Data (data reduction, abstraction, etc.)
 - Visualization Techniques (colour-coding, transparency, etc.)
 - Rendering Styles (NPR, shading, etc.)
 - Data Fusion/Overlay Techniques
-

VIEW

- Perception Location:
 - Location (patient/operating site, monitor/screen, etc.)
- Display:
 - Device (HMD, monitor, microscope, etc.)
- Interaction Techniques:
 - Hardware Interaction Tools (mouse, keyboard, gestures, etc.)
 - Software Interaction Tools
 - Manipulation of Data (zooming, rotating, etc.)
 - Change Object Properties (visibility on/off, transparency, etc.)
 - Feature Finding (volume peeling, transfer function editing, etc.)

1.4. Perceção de profundidade

Uma vez que a generalidade dos sistemas de visualização em RA tem por base sistemas binoculares, com o propósito de oferecer uma natureza tridimensional à informação digital apresentada, é necessário compreender como o sistema perceptivo humano processa a informação do mundo e infere tridimensionalidade através de uma série de pistas.

Grande parte da perceção visual implica a noção de profundidade, sendo um auxílio constante em julgamentos no que diz respeito à dimensão, orientação e localização de elementos do ambiente tridimensional à nossa volta. Inferimos essa tridimensionalidade a partir de várias pistas de profundidade presentes naturalmente, no ambiente, determinadas pelo arranjo espacial dos objetos que lhes dão origem (Drascic & Milgram, 1996). Em condições normais, os julgamentos ocorrem de forma rápida e automática, não havendo tempo para conscientemente calcular a localização e distância de objetos.

A perceção de profundidade é a habilidade de julgar dois tipos de distâncias: a distância absoluta, medida de afastamento entre o observador e um objeto, e a distância relativa que se refere ao afastamento entre dois objetos. Conhecer a localização de um objeto no espaço tridimensional requer não só perceber a sua profundidade, ou seja, aferir quão afastado está em relação ao observador, mas também saber qual a sua direção em relação ao olhar do observador, ou seja, conhecer a *egocentric direction*. A *egocentric direction* pode ser representada num sistema de coordenadas bidimensional, cujos eixos são cima/baixo e esquerda/direita e o centro, a origem, é a linha de visão do observador. Este sistema de coordenadas é replicado na imagem retiniana, sendo por sua vez mapeado para o córtex visual, mantendo as localizações relativas entre objetos. Já que a fóvea funciona como ponto central da representação topográfica do que vemos, é fácil para o cérebro registar as *egocentric directions* dos objetos (Sekuler & Blake, 1994).

Introduzindo uma terceira dimensão no sistema de coordenadas que representa os objetos do nosso campo de visão, passamos a ter a profundidade. Percecionar a localização dos objetos neste novo eixo é um processo mais complexo do que perceber apenas a sua direção em relação à linha de visão (cima/baixo, esquerda/direita), o que faz sentido quando sabemos que as imagens retinianas das quais retiramos informações de profundidade são bidimensionais. Poderíamos considerar as imagens retinianas como “imagens” bidimensionais compostas por contornos e cores daquilo que nos rodeia. Contudo, ao contrário de uma fotografia, a imagem retiniana está em constante mudança devido aos movimentos tanto do observador como dos objetos do ambiente. Estas alterações constituem valiosas fontes de informação de profundidade. Para além disso, a analogia da fotografia é insuficiente pois ignora o facto de o cérebro adquirir informação de profundidade de duas fontes: o

olho esquerdo e o olho direito. Tal como o movimento, a visão binocular fornece valiosas pistas de profundidade (Sekuler & Blake, 1994).

Resumidamente, julgamentos de distância resultam da coordenação de diferentes fontes de informação que nos fornecem pistas, fazendo com que, apesar de nos basearmos em imagens bidimensionais para o fazer, consigamos perceber a profundidade de forma automática e sem esforço. Quanto à proveniência, Sekuler & Blake (1994) dividem as pistas em duas categorias distintas (Figura 12): pistas oculomotoras cuja proveniência é cinestésica, ou seja, resultam da sensação de contração muscular e pistas visuais. Ao contrário das visuais, as pistas oculomotoras fornecem informações inequívocas acerca da distância absoluta. Pelo contrário, qualquer pista visual, apesar de fornecer valiosas pistas acerca de distâncias relativas, necessita de ser suportada por outra informação de forma a especificar distância absoluta.

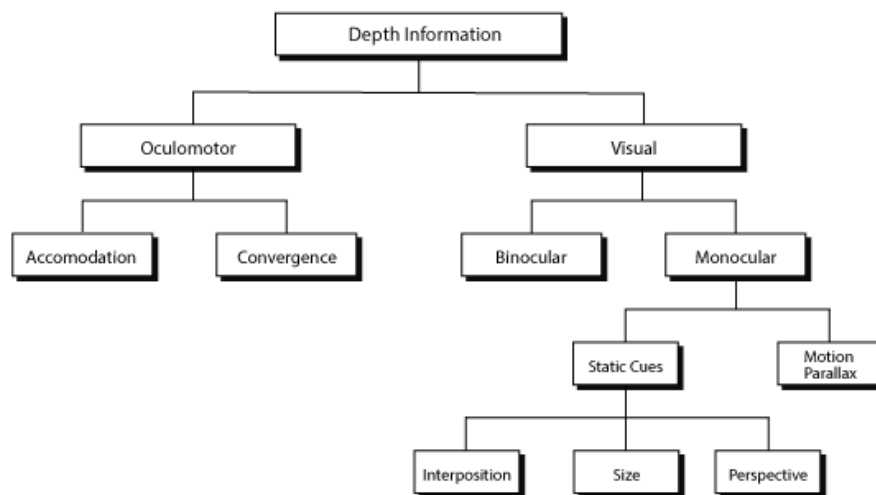


Figura 12 – Categorização das diferentes pistas de profundidade (Adaptado de Sekuler & Blake, 1994)

Pistas de profundidade oculomotoras

Sempre que o olhar se fixa num objeto, os olhos focam e convergem uma determinada quantidade dependente da distância entre o observador e o objeto. O reflexo de acomodação refere-se à alteração da curvatura do cristalino de modo a possibilitar o foco num objeto a diferentes distâncias, enquanto a convergência é o ângulo que os dois olhos fazem quando cada um está direcionado para o objeto em vista (Proffitt, 2006). Quanto mais próximos os objetos, maior a acomodação ou, por outras palavras, maior o esforço que os olhos fazem para focar com clareza e maior também a convergência. Desta forma, o grau da contração muscular indica dois valores que fornecem pistas acerca da distância absoluta: o ângulo de convergência e a quantidade de acomodação dos olhos. Estas pistas são eficazes para objetos próximos tendo, no entanto, um alcance limitado (Sekuler & Blake, 1994).

Pistas de profundidade binoculares

O facto de os olhos humanos estarem colocados lado a lado, com alguma distância entre eles, permite-nos ver o mundo a partir de dois pontos de vista diferentes. Esta disparidade, a diferença entre as imagens retinianas de cada olho, permite capturar pequenas diferenças na profundidade relativa, difíceis de distinguir vendo através de cada olho isoladamente ou observando uma representação bidimensional. A percepção de profundidade relativa dada pela visão binocular é chamada de estereopsia (Sekuler & Blake, 1994).

Olhando para objetos posicionados a diferentes distâncias em relação ao observador, reparamos que a separação lateral entre esses objetos se altera de olho para olho. Esta diferença nas imagens registadas em cada uma das retinas é conhecida por disparidade retiniana. Quando maior for a diferença da distância de dois objetos em relação ao observador, maior é a disparidade retiniana. Em sentido contrário, se dois objetos estiverem à mesma distância do observador, quando observados pelo olho direito e pelo esquerdo isoladamente, manterão a separação lateral. Nesta situação, dizemos que a disparidade retiniana é zero (Sekuler & Blake, 1994).

Pistas de profundidade monoculares

As pistas monoculares são capazes de ser aferidas por apenas um olho. Entre as pistas monoculares, existem as pistas estáticas, assim denominadas por se encontrarem disponíveis a um observador imóvel, estático, não necessitando de movimento para fornecer informações de profundidade (Sekuler & Blake, 1994).

Interposição, ou oclusão, refere-se a situações em que um objeto é parcialmente encoberto por outro, sendo o objeto encoberto percecionado como o mais distante. Uma das formas mais evidente de demonstrar o poder desta pista são as figuras de Kanizsa nas quais não conseguimos evitar percecionar um triângulo branco como estando mais próximo e, por isso, a ocluir as restantes figuras.

O tamanho é outra pista que influencia a distância percebida. À medida que a distância em relação a um objeto varia, a representação desse objeto na retina também se altera. Assim, quando as dimensões de um objeto são familiares, é possível julgar quão longe este está a partir do tamanho da imagem retiniana. De acordo com (Sekuler & Blake, 1994), na ausência de outras pistas, o tamanho familiar de objetos é uma forma eficaz de julgar distâncias.

A perspetiva refere-se às mudanças na aparência de superfícies ou objetos quando estes se afastam do observador, sendo que a tendência é a convergência de linhas paralelas, fenómeno também conhecido por perspetiva linear. Outro fenómeno resultante da perspetiva linear ocorre em texturas que variam de forma observável com a distância e, ao ficarem comprimidas, formam um gradiente denso (Proffitt, 2006), fornecendo informações precisas e inequívocas de profundidade.

Objetos distantes são vistos com menos clareza que objetos próximos. Este efeito é chamado de perspectiva aérea e acontece devido à dispersão da luz ao atravessar a atmosfera, principalmente se esta possuir poeira ou humidade em excesso. A dispersão da luz reduz o contraste e, desta forma, o detalhe dos objetos. De acordo com (Sekuler & Blake, 1994), estudos laboratoriais demonstraram que a redução do contraste de objetos faz com que estes pareçam mais distantes. Por fim, outra pista relacionada com a perspectiva e que confere valiosas informações acerca do ambiente é o sombreamento.

Outra pista monocular é o efeito paralaxe. Este fenómeno revela informações acerca da disposição dos elementos do ambiente através da mudança de perspectiva. A deslocação do observador faz deslocar os elementos do campo visual a velocidades e direções diferentes, consoante a sua distância. Este movimento funciona aqui como uma importante fonte de informação de profundidade, dissipando interpretações erradas que possam surgir induzidas por pistas estáticas.

1.4.1. Perceção de profundidade em realidade aumentada

Em síntese, uma variedade de pistas é utilizada em simultâneo para inferir distâncias. Os olhos focam em diferentes pontos do espaço, convergem e divergem consoante o ponto de foco e a imagem apresentada a cada uma das retinas é diferente. Hoje em dia, na maior parte dos displays utilizados para visualização em realidade aumentada é possível experienciar vergência e disparidade retiniana, mas não é possível focar a diferentes distâncias, uma vez que os olhos estão constantemente acomodados, ou seja, focados num plano virtual criado no interior do dispositivo de visualização.

1.5. Estado da arte da tecnologia

Em CGI, os métodos de aquisição de imagens e visualização são específicos de acordo com o procedimento a realizar. Dada a investigação se focar em procedimentos laparoscópicos de remoção de pedras nos rins, irá ser dado a conhecer o estado da arte relativo à aplicação de realidade aumentada neste tipo de procedimento.

A laparoscopia é uma forma de cirurgia endoscópica, na qual uma haste telescópica com uma câmara é inserida no interior do corpo através de uma pequena incisão ou orifício corporal. Dadas as limitações da imagem capturada ser bidimensional, tem-se investigado o seu aumento, de forma a dar ao cirurgião uma melhor compreensão das estruturas anatómicas. Sistemas de realidade aumentada para este tipo de cirurgia foram já aplicados em órgãos específicos como fígado, estômago, abdómen, próstata e rins (Marta Kersten-Oertel et al., 2016).

A forma mais comum de aumentar um procedimento laparoscópico é através da sobreposição de *wireframes*, superfícies ou modelos volumétricos anatómicos diretamente no vídeo (Marta Kersten-Oertel et al., 2016). Tal como em outros tipos de cirurgia, as técnicas mais comuns são a atribuição de cores a regiões ou objetos de interesse e o uso de transparência para sobrepor objetos virtuais às imagens obtidas pela câmara (Kersten-Oertel et al., 2016).

Pistas de profundidade foram utilizadas em sistemas laparoscópicos de forma a melhorar a perceção da relação espacial de elementos anatómicos. No sistema apresentado por Fuchs (Fuchs et al., 1998), a partir de imagens capturadas por uma câmara inserida no interior do paciente, são extraídas informações de profundidade e cor em tempo real e sobrepostas em vídeo. As imagens são ainda apresentadas ao utilizador através de um HMD com 6 graus de liberdade (Figura 13).

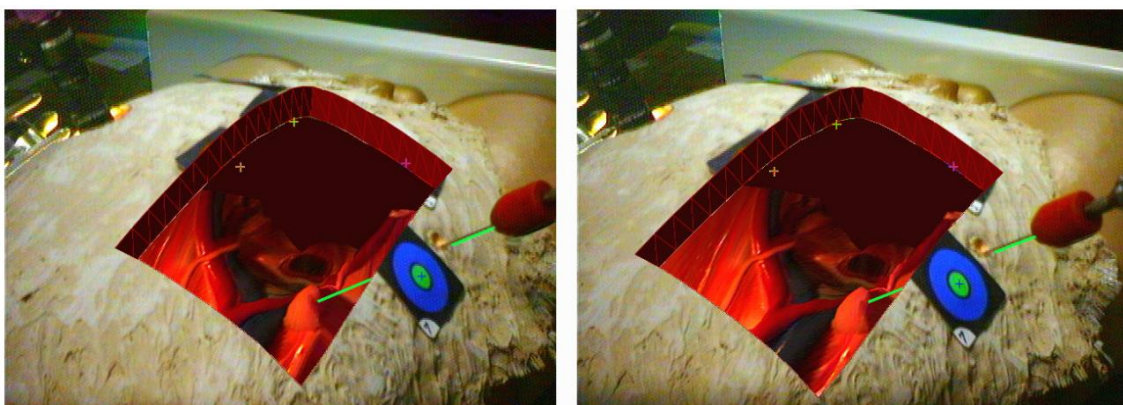


Figura 13 – Par de imagens que o cirurgião vê através do HMD (Fuchs et al., 1998)

Outro campo de atuação comum é a neurocirurgia. Um sistema de cirurgia neurovascular, desenvolvido em parceria entre o *Montreal Neurological Institute* e a Universidade de Montreal (Oertel-Kersten et al., 2015). O sistema, em realidade aumentada, consiste numa câmara apontada para o paciente que, dessa forma, rastreia

fiduciais colocados na sua cabeça. Dessa forma, através de um monitor, é possível ver modelos pré-operativos registados no paciente, sendo utilizadas ainda várias técnicas de visualização para melhorar a perceção de profundidade e identificação de estruturas neurovasculares (Figura 14).

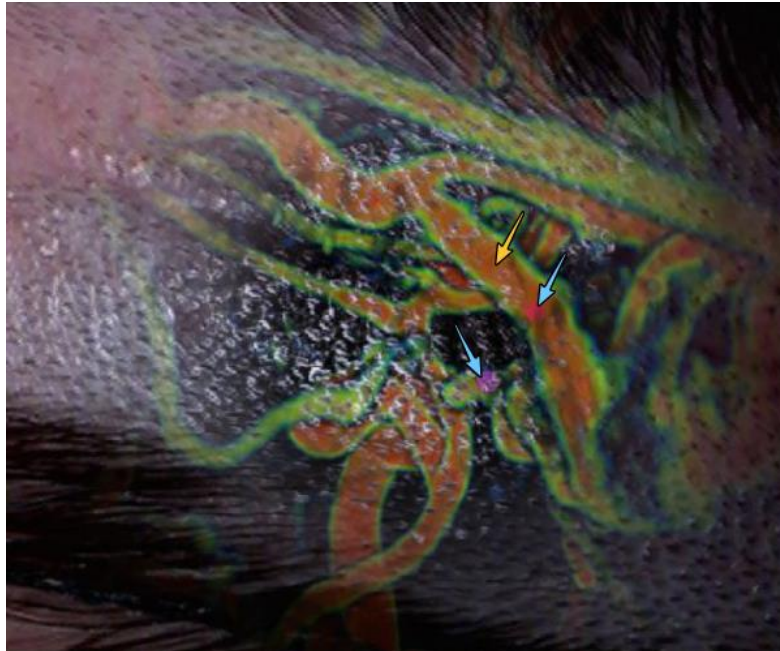


Figura 14 - Vasos sanguíneos sobrepostos na pele do paciente com setas que identificam zonas anatómicas de interesse (Oertel-Kersten et al., 2015)

Geralmente, o tipo de *display* utilizado num em procedimentos de AR em cirurgia é o monitor, havendo exceções (Kersten-Oertel et al., 2016). No sistema laparoscópico proposto por Fuchs et al. (1998) é utilizado um *video see-through* HMD, cuja visualização é composta por imagens capturadas pela câmara, sobrepostas com imagens pré-operatórias da anatomia do paciente. Sistemas onde é utilizado um HMD permitem que a visualização do aumento aconteça diretamente nos locais de interesse do paciente.

2. METODOLOGIA

Pretende-se conduzir uma investigação empírica direcionada ao desenvolvimento de soluções tecnológicas e interativas para problemas e necessidades de utilizadores reais. Por isso, enquanto que a área de foco é o design de interação e o design da experiência, a metodologia a utilizar irá incorporar sobretudo procedimentos e filosofias do Design Centrado no Utilizador, adicionando ao processo de design uma ênfase no utilizador e na sua contribuição para o desenho da solução. Tal como no Design de Interação, um design rígido e linear é substituído por um processo mais flexível e iterativo (Ritter, Baxter, & Churchill, 2014).

Neste capítulo, o posicionamento metodológico será fundamentado de forma teórica. Na secção 2.3 – Desenho da Investigação – poderá ser consultada uma descrição completa da metodologia a abordar e das fases de investigação delineadas.

2.1. Design de Interação

O design de interação consiste no desenho de produtos interativos capazes de suportar as pessoas nas suas vidas e atividades diárias. A principal preocupação é desenvolver um produto usável, criando experiências de utilização que apoiem e facilitem a comunicação e interação, potenciando a forma de como o ser humano trabalha, comunica e interage com computadores (Preece, Rogers, & Sharp, 2002, p. 6).

O processo de design de interação envolve quatro tarefas básicas (Preece et al., 2002):

1. Estabelecimento de requisitos e necessidades;
2. Desenho de alternativas que cumpram os requisitos;
3. Prototipagem de artefactos interativos que permitam comunicar e examinar as soluções;
4. Avaliação do que foi construído durante o processo;

Cada uma destas tarefas deve ser repetida quantas vezes forem necessárias e fornece informações importantes para as outras tarefas. Por exemplo, no desenho de alternativas pode-se chegar à conclusão que é necessário reformular os requisitos estabelecidos.

Com o intuito de garantir que um produto é apropriado e usável, a avaliação é uma das mais frequentes atividades do design de interação. Geralmente é baseada numa abordagem de design centrado no utilizador, o que significa que o utilizador é envolvido no processo. De entre as formas de incluir o utilizador, destacam-se: observação dos utilizadores em contexto real, resposta a entrevistas e questionários por parte dos utilizadores ou até a participação enquanto *co-designers*.

2.1.1. Experiência de Utilizador

O conceito de experiência de utilizador é essencial para o design de interação. O termo significa a forma de como um produto se comporta e é usado por pessoas no mundo real. Particularmente, refere-se a como as pessoas se sentem em relação a um produto e a satisfação obtida enquanto este é usado, manipulado e observado. Envolve todas as impressões que possa despertar no ser humano, desde a impressão geral de quão fácil é usar até a pequenos detalhes como o *feedback* fornecido pelo sistema ou a textura sentida ao segurar o artefacto (Preece et al., 2002).

O aspeto fundamental que se procura garantir é a qualidade da experiência de um ponto de vista emocional. Ainda que não seja possível desenhar diretamente uma experiência de utilizador, uma vez que depende de aspetos subjetivos e de difícil definição como satisfação, diversão, prazer ou beleza, procura-se desenhar funcionalidades e elementos de um produto capazes de suportar essa experiência.

Ao desenhar uma experiência mediada por um artefacto interativo, há 3 níveis a considerar: o *porquê*, o *quê* e *como* (Hassenzahl, 2015).

O *quê* refere-se ao que é possível fazer com um produto interativo, estando relacionado com as funcionalidades do produto e diretamente ligado à tecnologia em si. O *como* refere-se às ações motoras que suportam o funcionamento do produto, como os botões a pressionar e os menus a navegar, estando ainda mais estreitamente relacionado com o produto e seu contexto de uso. Geralmente, o principal campo de atuação do designer de interação tem que ver com estes dois pontos, na medida em que é o seu papel tornar uma funcionalidade acessível e usável de uma forma esteticamente aprazível. Por exemplo, o *como* pode facilmente diferenciar dois produtos que à partida têm a mesma finalidade, tornando com que um deles seja utilizado com mais facilidade e proporcione maior prazer.

Aquilo que um produto permite fazer e como é que isso é alcançado são, geralmente, tópicos vistos como caracterizadores únicos de um produto. Contudo, há um aspeto que é o principal fator de motivação para a pessoa usar um produto que é o *porquê*. Este aspeto serve para clarificar as necessidades e emoções envolvidas em determinada atividade ou artefacto. Ao desenvolver para a experiência, este deve ser o foco primário e, apenas mais tarde, determinar os restantes aspetos como a funcionalidade e as ações que irão suportar a experiência.

O processo de desenvolvimento para a experiência requer ainda que se garanta que todos os detalhes que envolvem a experiência do utilizador sejam conscientemente deliberados, não deixando nada ao acaso. Isto significa ter em conta cada possível ação do utilizador e perceber o que este espera em cada momento do processo (Garrett, 2011). Para facilitar essa tarefa e compreender melhor o problema como um todo, Garrett (2011) divide os elementos de uma experiência de interação em 5 planos conceptuais:

- ***Plano da superfície***

A superfície de um produto interativo é composta por elementos visíveis, por exemplo, imagem, áudio e texto. Algumas das imagens ou texto podem estar ligadas a comportamentos ou funções, enquanto outras poderão ser estáticas.

- ***Plano do esqueleto***

Por baixo da superfície, existe o esqueleto do artefacto que serve de estrutura à colocação de botões, fotografias, blocos de texto e outros elementos. O esqueleto é desenhado de forma a otimizar o arranjo dos elementos para uma máxima eficácia e eficiência.

- ***Plano da estrutura***

O esqueleto é a representação concreta da estrutura abstrata do artefacto. Isto significa que, enquanto o esqueleto define a colocação dos elementos da interface, nomeadamente o arranjo dos elementos de navegação, é a estrutura que define quais os caminhos a percorrer. Entre outras coisas, a estrutura define como é que os utilizadores chegaram à situação atual em que se encontram e quais os possíveis destinos a partir da mesma.

- ***Plano do âmbito***

O conjunto de todas as funções e características do produto, definidas pela sua estrutura, constituem o âmbito. A escolha entre se uma funcionalidade deve ou não fazer parte do artefacto é uma questão de âmbito.

- ***Plano da estratégia***

O âmbito é determinado pela estratégia do artefacto interativo. Esta estratégia é composta por aquilo que os utilizadores pretendem e necessitam, sendo também adequada às contingências de quem desenvolve as soluções tecnológicas.

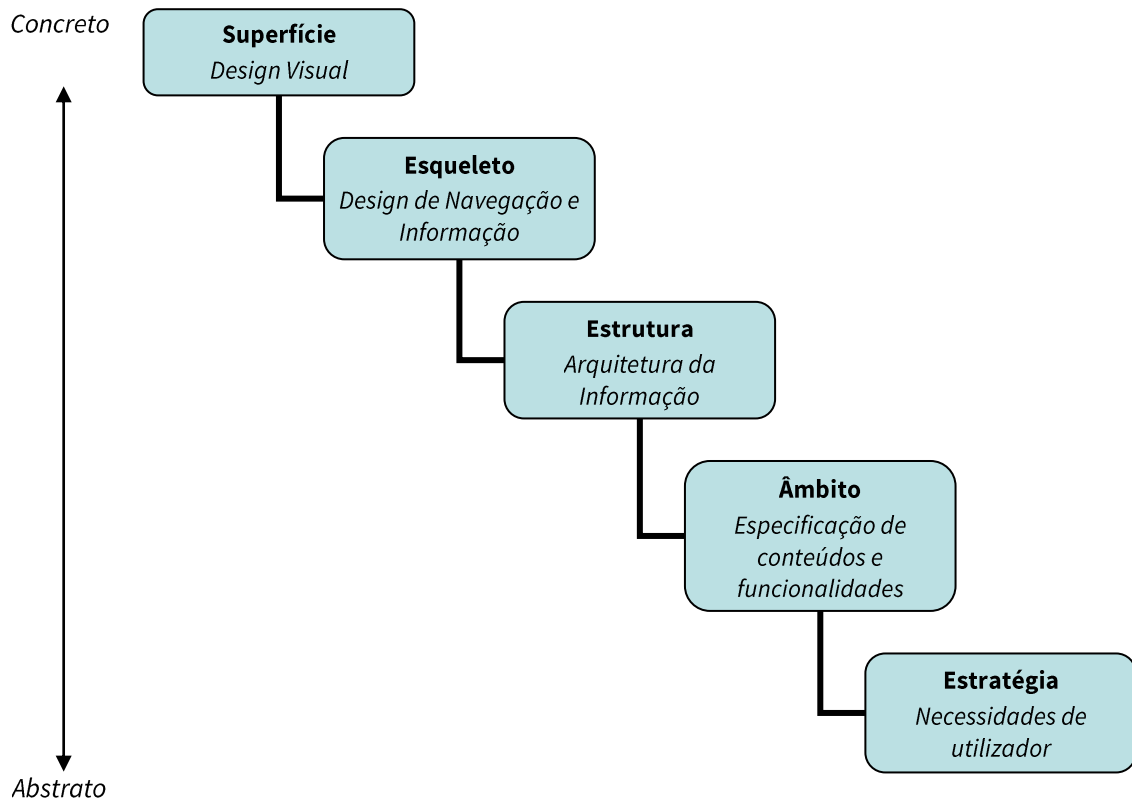


Figura 15 – Planos conceituais de apoio ao desenho e desenvolvimento sustentado de artefactos que levam em consideração a experiência de utilizador (Garrett, 2011)

Uma abordagem *bottom-up* implica que as decisões a tomar ao longo do tempo, plano a plano, recaiam em questões progressivamente mais concretas e com um maior nível de detalhe envolvido (Figura 15). Como exemplo, no plano inferior – plano da estratégia – não há preocupações com a forma e aspeto finais do artefacto, sendo a única preocupação a maneira do artefacto corresponder ao conceito idealizado e às necessidades do utilizador. Já no plano mais elevado, a única preocupação é com detalhes da aparência do artefacto.

Esta abordagem é importante pois fornece uma estrutura que permite conscientemente deliberar cada aspeto do artefacto interativo de forma gradual. Cada plano depende do plano que lhe antecede, garantindo que as escolhas feitas em cada momento se encaixem perfeitamente. Isto significa que as decisões tomadas no plano estratégico representam um *efeito cascata* nas decisões consequentes, constringindo-as.

2.2. Design Centrado no Utilizador (DCU)

O desenvolvimento de artefactos sob uma metodologia de *User-Centered Design*, ou *Human-Centered Design*, é feito com a pretensão de garantir que o utilizador é capaz de utilizar, sem dificuldade, quaisquer tecnologias, aplicações e métodos de interação que continuamente surgem e evoluem (Norman, 2013). Esta denominação descreve uma forma de atuar cujo ponto de partida são as pessoas e o desenho de soluções é moldado a partir destas, colocando as necessidades, capacidades e comportamento humanos em primeiro lugar e, só depois, desenhando de acordo com essas necessidades, capacidades e formas de atuar.

Esta abordagem exige uma compreensão razoável das pessoas e necessidades que o design deve solucionar. Esta compreensão é obtida principalmente pela observação das pessoas a executar as tarefas para as quais é necessário intervir, o que permite fazer o levantamento de necessidades implícitas ou que as pessoas não estariam conscientes que fossem relevantes, bem como dificuldades que encontram.

Para além das necessidades funcionais e contextuais (ambientais) de um produto, geralmente recolhidas através de observação, há ainda princípios fundamentais de interação que devem ser tidos em conta, baseados em aspetos psicológicos humanos.

Princípios fundamentais de interação

Quando um utilizador interage com um produto pela primeira vez, existe a necessidade de perceber como é que este funciona, o que faz e quais as operações possíveis. Esta descoberta resulta da aplicação efetiva de conceitos psicológicos fundamentais como *affordances*, *significantes*, *constraints*, *mapping*, *feedback* e um bom modelo conceptual (Norman, 2013). A aplicação destes princípios ajuda o utilizador a construir uma boa compreensão do sistema, a imagem do sistema, o que por sua vez suscita sentimentos de controlo, de mestria e satisfação.

Constraints

Constraints, ou restrições, podem ser físicos, lógicos ou culturais e limitam as possibilidades de uso de um objeto, sendo assim capazes de conduzir ações e facilitar a interpretação do sistema. Uma analogia são as peças de um *puzzle* que, devido ao seu formato, apenas ligam a um número fixo de peças.

Mapping

É a relação entre dois conjuntos de coisas, no caso de um produto interativo, entre controlos e suas consequências. Dando o exemplo de um carro, rodar o volante para a direita resulta numa ação previsível e fácil de memorizar. A existência de um *mapping* natural, ou seja, que tire partido de analogias físicas, espaciais e *standards* culturais, leva a uma compreensão imediata da consequência de uma ação.

Affordances

As *affordances* indicam quais as ações possíveis de um objeto. O termo refere-se à relação entre um objeto físico e o agente que com ele contacta (ser humano, animal ou até máquina) sendo, mais concretamente, a relação entre as propriedades de um objeto e as capacidades do agente para determinar como o objeto pode ser utilizado. A *affordance* não é uma propriedade do objeto em si, mas sim uma relação, proporcionada pela existência de propriedades que a suportam e indicam as suas possibilidades de interação e manipulação. Por exemplo, *affordances* visíveis fornecem fortes pistas para as operações a realizar: ranhuras servem para inserir coisas, manípulos suportam a colocação da mão.

Significantes

Enquanto as *affordances* se referem a quais as ações possíveis, os significantes são signos que indicam onde é que a ação deve ocorrer, podendo ser qualquer marca visual ou som.

O termo tem origem no campo da semiótica, o estudo dos signos e símbolos, mas tal como o termo *affordance*, Norman (2013) adaptou-o para o design, alterando-lhe um pouco o significado original. Na disciplina de design, significante é qualquer indicador perceptível que comunica o adequado comportamento de interação, podendo, em aplicações eletrónicas servir para indicar ações que envolvem deslizar o dedo no ecrã, pressionar com o rato ou efetuar determinado gesto.

Feedback

Trata-se de enviar de volta para o utilizador, informação acerca da ação por ele realizada, indicando-lhe que o sistema está a funcionar a seu pedido. Essa informação é, geralmente, tátil, visual ou sonora. A inexistência de *feedback* pode ser comparada a desenhar sem deixar traço ou cantar sem produzir som.

Modelo Conceptual

É uma explicação, geralmente simplificada, de como funciona o artefacto, produzida mentalmente pelo utilizador. Por residir na cabeça das pessoas, é também chamado de modelo mental. Este é principalmente construído com base nas pistas que o artefacto fornece de acordo com a aplicação dos conceitos de *mapping*, significantes, *constraints* e *affordances*.

Um bom modelo conceptual permite prever os efeitos das ações. Sem um bom modelo conceptual, o utilizador opera de forma arbitrária, através de imitação ou tentativa e erro, até que algo de errado aconteça. O designer deve elaborar um artefacto, apropriado ao utilizador, que capture os elementos fundamentais do dispositivo e comunique claramente essas funções.

As pessoas constroem modelos concetuais a partir de qualquer tipo de informação que esteja à disposição desde a estrutura visível do artefato à experiência de utilização de artefatos similares no passado. Para além disso, outros elementos do universo do

produto como artefactos promocionais e manuais de instruções ajudam a construir o conjunto de informação disponível que corresponde à imagem do sistema. Quando a imagem do sistema é incoerente, incompleta ou contraditória, o utilizador não conseguirá utilizar o artefacto ou terá problemas em fazê-lo (Norman, 2013)

Os ficheiros, pastas e ícones de um sistema operativo ajudam as pessoas a criar um modelo conceptual dos documentos e pastas dentro do computador, ainda que na realidade não existam pastas, mas sim metáforas que tornam fácil a manipulação e organização de documentos.

2.2.1. Processos de desenvolvimento

Uma abordagem centrada no utilizador implica que o design seja conduzido com base em utilizadores reais e suas necessidades. Mais do que uma técnica, o DCU é uma filosofia, cujo princípio é o de desenvolver tecnologia que potencie ao máximo habilidades e capacidade de julgamento do utilizador e que esteja diretamente relacionada e em conformidade com a tarefa a realizar (Preece et al., 2002, p. 327). Para isso, é fundamental testar soluções empírica e precocemente, de preferência com a presença do utilizador real, bem como estar preparado para constantes iterações, invariavelmente associadas ao desenvolvimento de soluções tecnológicas inovadoras.

Gould e Lewis (1985) foram dos primeiros a delinear princípios do design centrado no utilizador e usabilidade, o que constitui uma leitura fundamental para perceber a essência desta abordagem. De forma resumida, os princípios de uma metodologia de design centrado no utilizador são:

Ênfase inicial no utilizador e tarefas

As tarefas e objetivos do utilizador devem ser o motor subjacente ao desenvolvimento. O comportamento e contexto de uso do utilizador devem ser compreendidos para que o sistema seja desenhado de acordo. Isto vai para além de conhecer os objetivos e necessidades de uso, devendo-se estudar em detalhe de que forma é que as tarefas são feitas, listando prioridades, preferências e intenções implícitas (Preece, Rogers, & Sharp, 2002, p. 327).

De igual modo, as características do utilizador são tidas em conta e o design é feito a partir delas. Para isso, é necessário não esquecer a propensão humana para o erro, aspetos cognitivos como a memória, atenção e percepção e aspetos físicos como o peso, mobilidade e força (Preece, Rogers, & Sharp, 2002, p. 328).

Utilizadores são consultados desde as fases de desenvolvimento iniciais até às finais e as suas sugestões devem ser tidas em atenção. Ainda que uma metodologia deste género não implique a participação ativa do utilizador em todas as decisões, este deve ser considerado em todas as fases. Todas as decisões devem ser tomadas de acordo com o contexto dos utilizadores, o seu trabalho e ambiente de interação, (Preece, Rogers, & Sharp, 2002, p. 328).

Medição empírica com recurso a protótipos

Sempre que possível, desde fases preliminares de desenvolvimento, o público-alvo deve ser consultado e exposto ao produto a desenvolver, seja sob a forma de protótipos de baixa fidelidade ou mesmo de esquemas e cenários em papel. Numa fase posterior de desenvolvimento, protótipos funcionais permitem obter observações do utilizador e capturar as suas reações ao interagir com o produto. Assim, a prototipagem, ao permitir comunicar de uma forma tangível a direção que um produto interativo está a tomar e registar o *feedback* do público-alvo, geralmente através da medição de acordo com critérios de usabilidade, garante a obtenção de dados empíricos capazes de influenciar o conseqüente desenvolvimento.

Design iterativo

Iterações permitem que o design seja refinado com base em *feedback* do utilizador (Preece, Rogers, & Sharp, 2002, p. 327). Quando se trata do desenvolvimento de produtos inovadores, raramente se desenvolve a solução ideal à primeira tentativa, sendo que geralmente leva tempo, evolução, tentativa e erro e uma grande dose de paciência. Por estas razões, as iterações são inevitáveis (Gould & Lewis, 1985).

2.3. Desenho da Investigação

A equipa conta com a colaboração de utilizadores finais para os quais a tecnologia está a ser desenvolvida. Com base nos princípios de DCU acima enunciados, esboçou-se uma investigação que será descrita nos pontos seguintes. Um sumário com objetivos, técnicas e instrumentos pode ser consultado no final deste capítulo, na tabela 3.

2.3.1. Participantes

A equipa de investigação que acompanhará todas as fases do projeto, direta ou indiretamente, é constituída por elementos de áreas multidisciplinares: uma equipa especializada no desenvolvimento de equipamento médico, 2 médicos especialistas em procedimentos cirúrgicos laparoscópicos, de Itália e Reino Unido, e investigadores da área de IHC da Universidade de Aveiro. Está ainda prevista a inclusão de engenheiros eletrotécnicos, especializados em lidar com processamento de dados recolhidos através de técnicas de imagiologia médica.

No que toca à metodologia de DCU, o contributo dos médicos cirurgiões é fundamental visto serem estes os utilizadores finais do produto a desenvolver. Assim, será possível desenvolver e avaliar um produto, cuja evolução depende unicamente de necessidades e requisitos reais.

2.3.2. Fases da Investigação

A investigação empírica será dividida em 4 fases distintas: exploratória, design, desenvolvimento e avaliação.

1) Fase exploratória

Considerando que o investigador foi inserido numa investigação em curso, iniciada pela dissertação de mestrado de Marques (2015), esta fase começará com uma apresentação da equipa de investigação e partilha do progresso do trabalho desenvolvido.

No desenvolvimento de produtos interativos, é necessário começar por conhecer bem o contexto de utilização do produto e estudar todos os *stakeholders*, pessoas direta ou indiretamente envolvidas. Esta atividade será suportada pelo estudo de cariz etnográfico documentado na dissertação de Marques (2015), no qual o ambiente de interação e o utilizador a atuar foram observados na 1ª pessoa por elementos da equipa de investigação. Por razões de logística, não foi possível realizar uma nova observação, que se poderia revelar útil para complementar o estudo anterior, dando-lhe uma nova perspetiva ao permitir identificar aspetos que possam ter passado despercebidos. De igual modo, é comum existirem ideias pré-concebidas que só com uma observação *in loco* poderiam ser abandonadas. Durante esta fase, sessões exploratórias com membros da equipa que estiveram presentes no bloco operatório serão importantes para desfazer algumas das eventuais ideias pré-concebidas.

A leitura da dissertação permitirá também perceber quais os elementos técnicos na base do projeto, nomeadamente qual o sistema de visualização utilizado, tipo de sensores, plataforma de desenvolvimento, linguagens de programação e arquitetura do sistema. Alguns destes elementos serão mantidos no protótipo final a desenvolver, pelo que condicionarão a inclusão de novos elementos tecnológicos.

Através de sessões com membros da equipa, serão ainda discutidos requisitos que é necessário ter em conta para dar seguimento ao projeto, pretendendo-se que esta fase seja concluída com uma listagem de requisitos técnicos e funcionais.

Técnicas e instrumentos de recolha de dados

Sessões exploratórias;

Revisão bibliográfica;

2) Fase de design

Esta fase dividir-se-á em dois momentos: design funcional, relativo à projeção de funcionalidades a desenvolver e design técnico, relativo à escolha e estudo de quais os elementos técnicos que suportarão essas funcionalidades. Trata-se apenas de uma fase de conceitualização, ainda que envolva o desenvolvimento de alguns protótipos de baixa fidelidade com o propósito de validar os requisitos estipulados na fase anterior.

Design Funcional

Nesta fase, o design é iterativo na medida em que algumas funcionalidades serão definidas através de ciclos de design-avaliação-redesign. Para que a avaliação seja feita de forma ágil e o mais efetiva possível, as funcionalidades serão testadas sob a forma de

protótipos de baixa fidelidade, em sessões que envolvem a equipa de investigação e testes laboratoriais com participantes independentes à investigação. Estes serão os principais instrumentos de recolha de dados, nesta fase, por serem de fácil desenvolvimento e permitirem explorar ideias, clarificar requisitos e identificar fragilidades precocemente (Preece et al., 2002, p. 391).

É também nesta fase que serão descritos e concetualizados conteúdos textuais e gráficos da aplicação final.

Técnicas e instrumentos de recolha de dados

Prototipagem de baixa fidelidade;

Sessões exploratórias

Testes laboratoriais;

Design Técnico

O design técnico engloba a especificação de aspetos técnicos e tecnológicos que irão apoiar as funcionalidades do protótipo final. Para isso, serão feitas sessões exploratórias com especialistas de forma a analisar soluções.

Um dos objetivos será a construção de um mapa de funcionamento baseado numa lógica modular, isto é, diagrama de blocos, de maneira a facilitar tanto o *debugging*, como o trabalho colaborativo e independente por parte dos vários elementos da equipa. Desta forma, previne-se que possíveis mudanças de tecnologia afetem, em cascata, os restantes módulos.

A proposta de nova tecnologia deve ainda ser feita de maneira a que haja compatibilidade com a tecnologia já implementada. Por isso, esta fase terá como objetivo analisar requisitos funcionais existentes e fazer uma análise comparativa de novas tecnologias a implementar.

No final desta fase, aspetos técnicos do protótipo funcional e arquitetura do sistema deverão ficar definidos.

Técnicas e instrumentos de recolha de dados

Sessões exploratórias;

Análise comparativa de várias tecnologias disponíveis;

3) Fase de desenvolvimento

Uma vez que as funcionalidades já foram definidas, através de vários protótipos de baixa fidelidade, nesta fase pretender-se-á elaborar um protótipo de alta fidelidade que reúna todo o conhecimento adquirido. Esse protótipo será então avaliado por utilizadores finais na fase seguinte.

4) Fase de avaliação

A fase de avaliação será o momento em que se analisa e interpreta os dados recolhidos na fase de desenvolvimento. Após este momento, serão registadas conclusões relativamente às soluções desenvolvidas e delineadas necessidades a responder em trabalhos futuros.

Técnicas e instrumentos de recolha de dados

Observação natural;

Entrevista semiestruturada;

Tabela 3 - Sumário das fases de investigação

FASE	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLHA DE DADOS
<p>EXPLORATÓRIA</p> <p><i>Estabelecimento de requisitos e necessidades</i></p>	<p>Travar conhecimento com equipa de investigação e projeto em curso;</p> <p>Conhecer o público a que se destina o produto e respetivo ambiente de interação;</p> <p>Conhecer requisitos técnicos e funcionais do projeto;</p> <p>Discutir e propor funcionalidades a serem desenvolvidas de forma a dar continuidade ao projeto;</p>	<p>Sessões exploratórias;</p> <p>Revisão bibliográfica;</p>
<p>DESIGN</p> <p><i>Desenho de alternativas que cumpram os requisitos</i></p>	<p>Design Funcional</p> <p>Especificar funcionalidades;</p> <p>Descrever e produzir conteúdos (textuais/gráficos);</p> <p>Design Técnico</p> <p>Construir mapa de funcionamento;</p> <p>Análise técnica dos requisitos funcionais existentes;</p> <p>Analisar comparativamente tecnologias;</p> <p>Descrever aspetos técnicos do protótipo funcional e elaborar arquitetura do sistema;</p>	<p>Desenvolvimento de protótipos de baixa fidelidade;</p> <p>Testes laboratoriais com protótipos: recolha de dados através de observação e/ou registo de logs;</p> <p>Sessões exploratórias;</p> <p>Análise comparativa de tecnologias;</p>

DESENVOLVIMENTO

Prototipagem de artefactos interativos que permitam comunicar e examinar as soluções

Desenvolvimento do protótipo final a fim de ser avaliado na fase seguinte.

AVALIAÇÃO

Avaliação do que foi construído durante o processo;

Testar protótipo funcional junto de um grupo de utilizadores finais;

Analisar e interpretar dados recolhidos;

Refletir acerca do produto e possíveis iterações necessárias;

Entrevistas semiestruturadas;

Observação natural;

3. ESTUDO EMPÍRICO

O processo de desenvolvimento do protótipo final decorreu assente nas fases de investigação descritas no capítulo anterior. A acrescentar a essas fases, existiu ainda um teste preliminar visando estudar características tipográficas em *Head-Mounted Displays*. Este teste vai de encontro a uma das perguntas de investigação formulada:

- 1) Que características deverão ter os elementos visuais de uma aplicação de realidade aumentada em cirurgia para questões de acuidade e perceção visual?

3.1. Teste da influência de características tipográficas no julgamento de distância em Head-Mounted Displays (HMD)

O objetivo deste estudo, que teve aqui o seu primeiro teste laboratorial (Vairinhos, Dias, & Almeida, 2015), é identificar quais as propriedades visuais de uma tipografia que permitem um melhor julgamento da sua distância, quando observadas através de um dispositivo de visualização binocular acoplado à cabeça (HMD), em particular, do tipo OST.

3.1.1. Desenho do teste laboratorial

Existem algumas características tipográficas que podem ter impacto no julgamento de distância em dispositivos HMD. Propriedades como cor, contraste, textura, *billboard background*, *body compression* e orientação fornecem importantes pistas de profundidade pictóricas.

Outras propriedades, estas diretamente ligadas aos elementos textuais, são o *leading* (espaçamento entre parágrafos) e o *kerning* (espaçamento entre caracteres), que produzem frequências espaciais específicas ou, por exemplo, as *serifas* e o tamanho do *ascendente* e *descendente* que resultam em pequenas diferenças gráficas de acordo com o estilo e o tipo da tipografia.

Pretendeu-se determinar se a introdução de volume no corpo da letra teria um impacto positivo na distância percebida. Ao contrário de outras pistas pictóricas já referidas, esta é uma propriedade específica da tipografia, razão que justificou a sua escolha para este primeiro teste laboratorial.

Foram escolhidos três estilos diferentes para a mesma fonte tipográfica - Arial - cada qual com uma determinada característica tridimensional distinta (Figura 16).



Figura 16 – Características tridimensionais atribuídas à fonte tipográfica Arial

O maior desafio inerente ao desenho deste teste laboratorial deveu-se ao facto de os estímulos visuais produzidos pelo sistema de visualização causarem um conjunto de distorções e conflitos perceptuais, alguns deles impossíveis de minimizar de forma significativa. O maior risco associado a estas distorções é o teste laboratorial acabar por não medir a variável em questão, mas apenas o efeito da distorção visual e perceptual causada pelo sistema de visualização.

No seguimento destes desafios, optou-se por bloquear as lentes do dispositivo de visualização (*HMD Optical See-through*) com um cartão preto (Figura 18), de forma a eliminar o impacto visual do fundo, que em dispositivos deste género é o mundo real. A ausência de um cenário real possui as seguintes vantagens:

- Deixa de ser necessário um complexo processo de calibração para garantir que o mundo real é consistente com o mundo virtual que lhe é sobreposto, de um ponto de vista da perceção visual;
- O processo de calibração acima referido teria como objetivo garantir que a disparidade retiniana resultante de um objeto virtual coincida com a de um objeto real à mesma distância do sujeito, fornecendo pistas de profundidade pictóricas idênticas. Um *setup* sem objetos reais garante que o participante consegue estimar a distância dos caracteres sem que existam interferências com origem em erros de calibração.
- Ter o mundo real como fundo é fulcral numa aplicação de realidade aumentada e tem consequências na perceção, nomeadamente na legibilidade, estimando-se que, de igual modo, influencie o julgamento de distância. Ao utilizar um fundo neutro, de cor negra, é possível isolar o efeito que o estilo tipográfico provoca no julgamento de distância. Contudo, pela sua importância em aplicações de

realidade aumentada, testes com um fundo real devem fazer parte de estudos futuros.

3.1.2. Procedimentos

O sujeito realiza o teste sentado numa cadeira, com um dispositivo de visualização *Optical See-through* acoplado à cabeça (HMD) que permite liberdade de movimentos. No seu campo de visão é observável um conjunto de palavras estáticas colocadas num fundo negro. Ainda que o movimento constitua uma importante pista de profundidade (efeito paralaxe), decidiu-se manter um cenário estático, eliminando assim distorções e conflitos adicionais associados a latência.

Cada sessão corresponde a 90 testes, divididos em 5 séries. Um teste consiste na apresentação de palavras, dispostas numa grelha de duas colunas e três linhas, e de um círculo posicionado entre as duas colunas que funciona como ponto de referência, com profundidade 0. A disparidade retiniana da imagem apresentada a cada um dos olhos foi calibrada para corresponder a uma distância real de 2 metros. Esta calibração, consistiu em colocar um objeto a 2 metros de distância do sistema de visualização e, com a ajuda do *software*, fazer coincidir a posição do círculo virtual com esse objeto. De modo a verificar a consistência da distância percebida, o procedimento foi repetido por mais que uma pessoa da equipa.

Quando um participante fixa o seu olhar no círculo, todos os objetos que estão localizados à mesma distância irão produzir uma igual disparidade retiniana. Esses objetos pertencem à linha de Horopter, isto é, uma superfície côncava *imaginária* que representa pontos no espaço onde objetos são percebidos como estando à mesma distância. Objetos mais afastadas da linha de Horopter produzem uma disparidade descruzada, enquanto objetos mais próximos produzem uma disparidade cruzada.

Em cada teste, um conjunto de seis palavras (nomes de animais) é apresentado pelo *software* (Figura 17). Cada palavra pode possuir 2 níveis de profundidade em relação à linha de Horopter do círculo (-3m, 3m). No início de cada teste, uma palavra pisca durante breves segundos e o participante deve decidir se essa palavra se encontra mais próxima ou mais afastada em relação ao círculo, de acordo com a indicação que lhe for dada.

Enquanto a posição das palavras no eixo de profundidade (eixo dos Z) é aleatória (dentro das possibilidades acima referidas), a sua posição na grelha bidimensional (X, Y) é fixa, permitindo assim o sujeito concentrar-se apenas na profundidade. A restante aleatoriedade (ao nível da profundidade e das palavras apresentadas) garante que o utilizador não desenvolve estratégias de reconhecimento baseadas em padrões, minimizando o fator de aprendizagem associado.

De modo a não condicionar a performance do participante devido a fadiga, os testes foram divididos em 4 séries de 20, com uma série inicial de 10 meramente experimental, vantajosa para a equipa explicar os procedimentos e demonstrar em que consistem os

testes. De referir que os resultados obtidos nestas primeiras séries experimentais foram descartados.

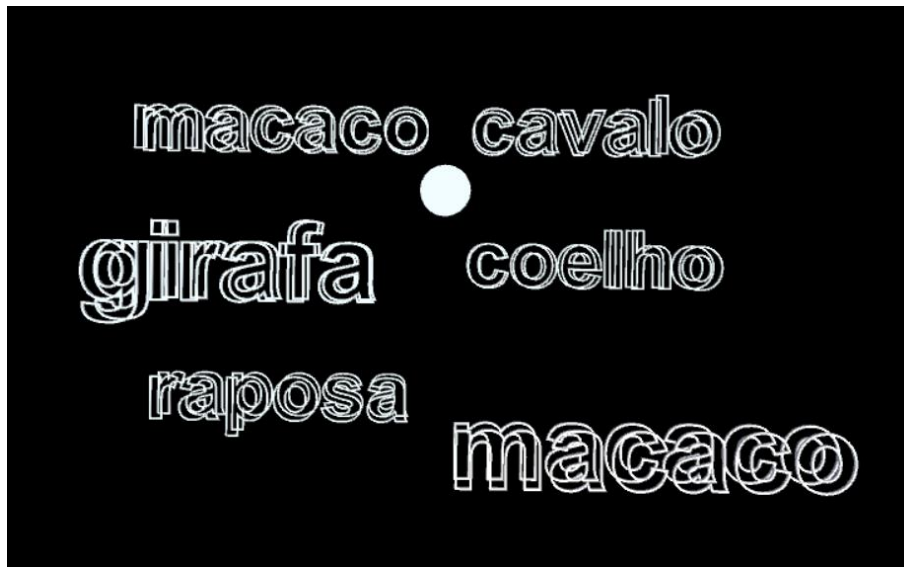


Figura 17 – Exemplo de um dos testes

3.1.3. Participantes

Foram realizadas 21 sessões, correspondentes a 21 participantes, incluindo uma sessão piloto que foi utilizada para obter feedback de alguém exterior à equipa de investigação e melhorar os procedimentos. Os participantes foram recrutados de forma aleatória no Departamento de Comunicação e Arte da Universidade de Aveiro. A maior parte eram estudantes de licenciatura e mestrado, com idades compreendidas entre os 20 e os 35 anos, sem qualquer interesse na área de investigação. No total, 1890 testes foram conduzidos. No início de cada sessão, decorreu uma entrevista informal que permitiu a equipa aferir se o participante possuía problemas associados à visão estereoscópica (*stereo blindness*).

3.1.4. Descrição do teste

O participante segura na sua mão um comando com um botão amarelo (o segundo botão visto na figura 18 não tem função). Em cada teste, tem 3 segundos para pressionar o botão caso a localização da palavra assinalada (a palavra que pisca durante breves segundos) esteja de acordo com o que é pedido na série, isto é, antes ou depois do círculo. O sujeito tem assim duas opções: pressiona o botão caso a palavra esteja posicionada de acordo com o que foi indicado ou não pressiona caso não se verifique. O sistema de *input* foi reduzido a um único comando possível de forma a minimizar possíveis enviesamentos resultantes do esforço para selecionar uma resposta. Passados 3 segundos, um novo teste surge até que acabe a série. Antes de começar uma nova série, é indicado ao participante qual a posição a assinalar e este dá indicação quando se sentir preparado para iniciar.



Figura 18 – Setup do teste laboratorial. Ao fundo, o investigador monitoriza e conduz o teste

3.1.5. Hipóteses de investigação

As hipóteses formuladas no início do estudo foram:

- i. A aplicação de estilos tipográficos capazes de fornecer volume aos caracteres, afeta a perceção de distância dos mesmos.
- ii. A introdução de saliências (efeito de relevo) melhora a performance na estimação de distância pois aumenta o espetro de pistas de profundidade visuais fornecidas ao sistema de perceção visual.

3.1.6. Recursos

As sessões decorreram no laboratório do centro de investigação Digimedia (CIC.DIGITAL) da Universidade de Aveiro. O *setup* utilizado consistiu numa cadeira para o participante se sentar e numa mesa para a equipa de investigadores conduzir e monitorizar os testes. Um computador estava ligado ao dispositivo de visualização e foi responsável por executar a aplicação que gerou o *output*. Os cabos que fizeram a ligação ao HMD eram compridos o suficiente para permitir conforto e liberdade de movimentos ao participante.

A aplicação (*software*) foi desenvolvida no motor gráfico Unity 3D e o sistema de *input*, que consistia num comando desenhado para este propósito (Figura 18), foi implementado através da plataforma Genuino. O dispositivo HMD utilizado neste estudo foi um protótipo da META – META 1 *Developer Kit* – baseado nos óculos OST Epson Moverio, com uma resolução de 960x540 pixéis (qHD) e um FOV de 23 graus.

3.1.7. Resultados

As 20 sessões produziram um total de 80 séries. Destas 80 séries, 23 foram rejeitadas por não alcançarem um mínimo de 60% de respostas corretas. Assim, ao considerar apenas as séries com uma alta proporção de respostas corretas, são eliminadas as situações onde os participantes possam não ter percebido completamente a tarefa ou, por outro motivo, tenham respondido de forma incoerente.

Foram analisados dados de 1126 testes. O estilo A (fonte bidimensional) apareceu em 336 dos testes analisados, nos quais 47 correspondem a julgamentos errados, equivalente a uma percentagem de 14% de erro. O estilo B (fonte com relevo 3D) apareceu em 396 testes, dos quais 74 são respostas erradas, o que equivale a uma percentagem de erro de 18.6%. Por fim, o estilo C (fonte com *wireframe* 3D) apareceu em 392 testes, tendo alcançado 68 maus julgamentos, uma percentagem de erro de 17.3% (Figura 19).

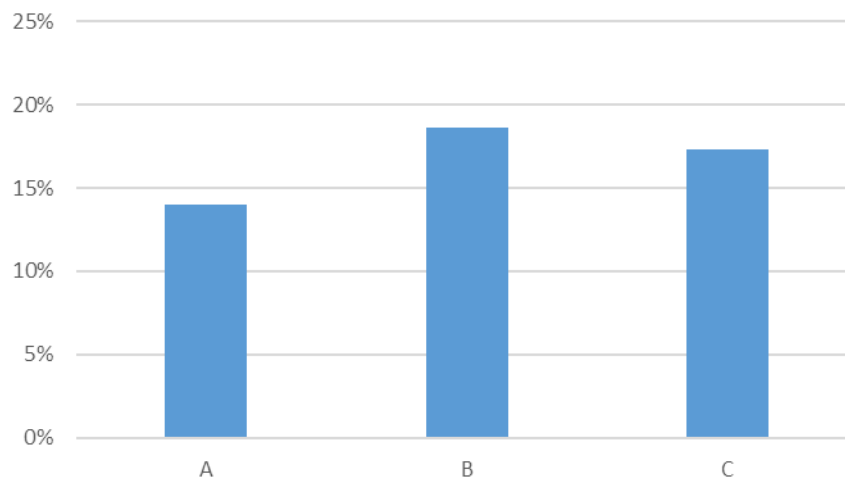


Figura 19 – Percentagem de erro no julgamento de distância para cada fonte tipográfica

À primeira vista, os resultados sugerem que, contrariamente à hipótese formulada, a fonte tipográfica bidimensional (A) tem melhor desempenho que fontes com propriedades tridimensionais. Uma análise separada, para cada um dos participantes, é consistente com os resultados e reforça esta ideia. Comparando o desempenho individual de 15 participantes, verificamos que a fonte A apresenta melhores resultados em 9 participantes (60%).

Foi realizado um teste estatístico mais aprofundado que consistiu na elaboração de um teste de Shapiro-Wilkis. Desta forma, pretendia-se inferir se, para um determinado intervalo de confiança, o melhor desempenho obtido pela letra A não ocorrera devido a um acaso. Os resultados, foram apresentados pela equipa de investigação na conferência ALTMM2016 e encontram-se disponíveis num artigo na *ACM Digital Library* (Vairinhos, Almeida, & Dias, 2016), e vêm reforçar a maior eficácia de fontes bidimensionais no julgamento de distância.

3.1.8. Pertinência para a investigação

Em aplicações de realidade aumentada, a capacidade de julgar corretamente a distância em relação a uma palavra ou texto digital, combinados com o ambiente físico, pode ser fulcral. Em alguns casos, a informação textual funciona como âncora visual e ajuda a organizar visualmente o espaço onde decorre a ação.

A investigação vem confirmar que diferentes estilos tipográficos influenciam a perceção da sua distância em dispositivos HMD. Contudo, ao contrário das hipóteses formuladas, a introdução de volumetria na fonte leva a piores julgamentos.

Indiretamente relacionado com o estudo das características tipográficas, este primeiro contacto com o sistema de visualização de RA e contacto com os desafios relativos às pistas de profundidade foi importante para o trabalho a ser desenvolvido posteriormente.

3.2. Fase Exploratória

Este projeto de investigação, no qual esta dissertação se insere, teve início com a investigação de mestrado de Marques (2015), cuja dissertação foi defendida em dezembro de 2015. Trata-se de uma parceria com uma empresa britânica, EC Medica Ltd, que para além de financiar alguns dos requisitos da investigação, possui ainda médicos cirurgiões como parceiros, especialistas em cirurgia de remoção de pedras nos rins.

Esta fase exploratória foi essencialmente de aproximação ao projeto e tomada de conhecimento de necessidades e requisitos a ter em conta. Adicionalmente à tomada de conhecimento do trabalho realizado até à data e respetivos resultados, foi também nesta fase que se tomou algumas decisões que dariam rumo à investigação, sustentadas pelo conhecimento acumulado e por aquilo que se procurava obter com a pergunta de investigação formulada.

3.2.1. Caracterização do ambiente de interação

Foi necessário conhecer o procedimento para o qual a solução tecnológica iria ser desenvolvida. Não só era importante conhecer as tarefas a realizar que envolveriam diretamente o produto, mas também obter algum conhecimento das ações e contexto, de um ponto de vista humano.

Numa caracterização deste género é importante observar o público-alvo a interagir. Essa observação, na 1ª pessoa e em ambiente natural, fora feita anteriormente pela equipa e documentada na dissertação de Marques (2015), referente a um procedimento de remoção de pedras nos rins.

O procedimento cirúrgico é baseado em rotinas e formas de atuar seguidas rigorosamente, dada a exigência e minúcia das tarefas em questão. O bloco operatório é constituído por um grupo heterogéneo de profissionais a trabalhar em conjunto, com vários graus de especialização, numa dinâmica que varia de acordo com o procedimento e tarefa a realizar, bem como de eventuais complicações e imprevistos.

No geral, há sempre um mínimo de 7 profissionais envolvidos e em iterações constantes: 2 médicos (um executante e um assistente), 2 enfermeiros (um instrumentista e um circulante), 1 anestesista e o seu enfermeiro e, no mínimo, 1 auxiliar. O procedimento não é feito de forma silenciosa, existindo música para apaziguar o ambiente e amenizar a pressão advinda da exigência das tarefas. De igual modo, existem diálogos constantes entre os intervenientes, sendo, no geral, um local ruidoso.

Na cirurgia de remoção de pedras nos rins, existem 4 etapas fundamentais:

- Inserção de agente contrastante;
- Rotação do paciente;
- Perfuração;
- Destruição e remoção da pedra;

O procedimento inicia-se com o paciente na posição supina (de barriga para cima) e com a inserção de um cateter no paciente, pelo qual é introduzido um líquido contrastante que melhora a visão do rim na imagem do raio X. A inserção deste cateter é apoiada pelo recurso a radiografias.

Após a introdução do agente contrastante, o paciente é rodado e fica na posição prona (barriga para baixo). É após este momento que é feita uma perfuração com uma agulha, recorrendo a raio-X para obter *feedback* visual. A agulha que faz a perfuração vai acompanhada de um tubo que criará um canal de acesso até ao rim, sendo esta uma técnica denominada de Técnica de Seldinger. É através deste canal que os restantes instrumentos cirúrgicos serão introduzidos, num procedimento acompanhado de constantes disparos de raio-X, visualizados em monitores.

Finalmente, após a inserção de instrumentos, é iniciada a última etapa, referente à destruição e remoção das pedras. Esta última tarefa é feita com recurso a imagens de vídeo recolhidas em tempo real.

3.2.2. Familiarização com o projeto de investigação e recolha de requisitos

Num primeiro contacto com o projeto, sessões com membros da equipa permitiram conhecer o projeto, estado de desenvolvimento da investigação e interagir com o protótipo funcional desenvolvido, tomando assim conhecimento das tecnologias utilizadas e respetivos requisitos técnicos (Figura 20).

Este protótipo, reunia todas as funcionalidades consolidadas até à data, através de protótipos exploratórios, nomeadamente sistema de visualização e sistema de registo, tendo sido desenvolvido com o objetivo principal de elucidar os utilizadores em relação às soluções tecnológicas concebidas e obter o seu *feedback* com um protótipo funcional. O protótipo permitia visualizar informação digital, em particular a captura do ultrassom, registada no mundo real através dos óculos de RA (visão estereoscópica proporcionada por um *display* OST). Para além disso, apresenta uma prova de conceito do sistema de *tracking*, com recurso a um sistema de *tracking* eletromagnético. Com este sistema é possível adequar a visualização do utilizador, através do rastreio dos óculos, e apresentar a captura da sonda ultrassónica na sua localização do mundo físico.

A aplicação responsável por receber dados e gerar a visualização foi desenvolvida no motor gráfico Unity 3D, ferramenta que suporta todo o projeto. Uma das principais vantagens é o seu *workflow* de desenvolvimento que conjuga programação por código (C# ou Javascript) com a manipulação de componentes de base (câmara, sistema de física, iluminação, entre outros) através de uma interface gráfica de utilizador. Assim, permite prototipar ideias e desenvolver aplicações visuais em ambientes 2D ou 3D com relativa facilidade, numa lógica modular que promove o reaproveitamento de componentes.

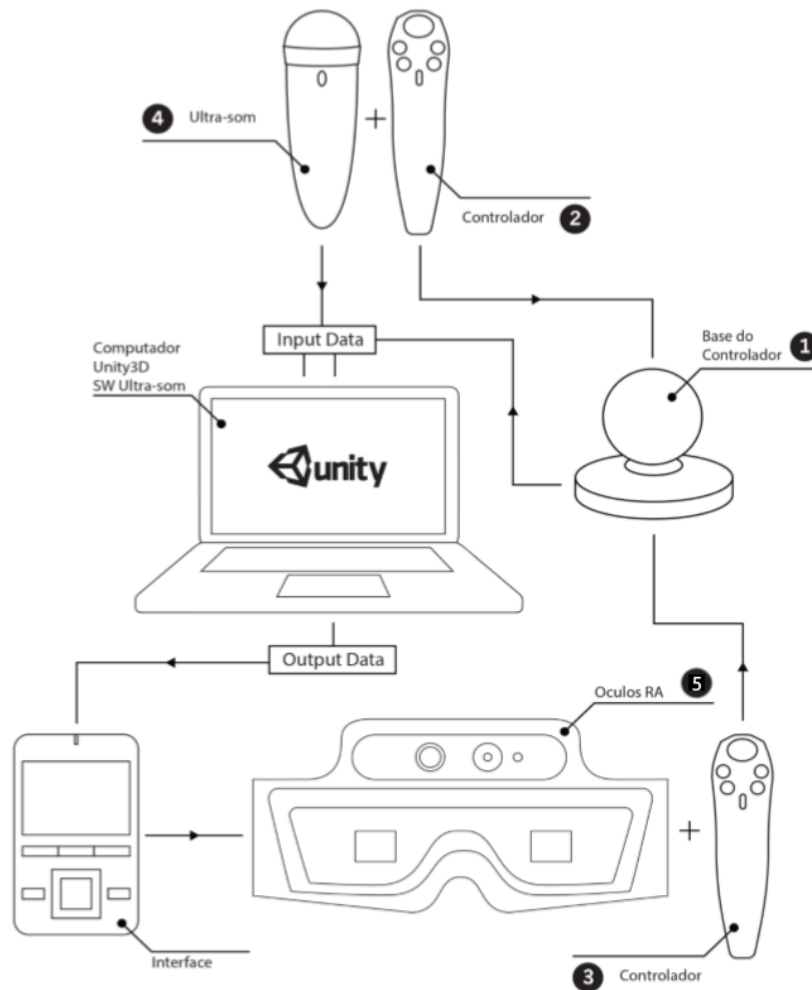


Figura 20 - Diagrama representativo do 1º protótipo funcional. Adaptado de Marques (2015)

Em detalhe, os elementos tecnológicos na base deste primeiro protótipo eram:

- Base do controlador [1, Figura 20]

Pertence, juntamente com os componentes 2 e 3, a um sistema de rastreio magnético, destinado à indústria de videojogos, o sistema de controladores Razer Hydra. Ainda que a solução final deva ser obrigatoriamente um sistema certificado para a utilização em contexto cirúrgico, esta foi uma solução adquirida para testar o tipo de rastreio e demonstrar o conceito junto dos utilizadores.

O sistema é composto por dois controladores e uma base. A base do controlador (Figura 21) é responsável por gerar um campo magnético que passa a ser a origem do sistema de coordenadas cartesiano (x,y,z) e comunicar os vetores de posição e rotação dos sensores com a aplicação.



Figura 21 – Base do Sistema de Tracking eletromagnético Razer Hydra

- Controladores [2 e 3, Figura 20]

Visto que se trata de um produto destinado a videojogos, os sensores eletromagnéticos encontravam-se inicialmente embutidos em 2 controladores de jogo (Figura 22), juntamente com um *joystick* e botões. Para incluí-los no protótipo, os sensores foram isolados dos controladores e acoplados aos óculos e à sonda. Uma das lacunas deste protótipo era apenas permitir 2 destes sensores, sendo que seria necessário pelo menos um terceiro, a fim de rastrear a agulha a introduzir no paciente. Assim, seria impossível incluir na visualização, uma representação tridimensional da agulha, melhorando a sua identificação na anatomia interna.



Figura 22 – Comando do Sistema de Tracking eletromagnético Razer Hydra, do qual foram retirados os sensores eletromagnéticos

- Sonda Ultrassónica [4, Figura 20]

A sonda ultrassónica, *SeeMore Abdominal Probe* da Interson Corporation (Figura 23), foi adquirida pela empresa parceira do projeto e tem a vantagem de permitir uma conexão USB, sendo então possível enviar os dados da captura para a aplicação. Em termos técnicos, possui uma frequência de *scan* que pode variar entre os 2.5 e os 5.0 Mhz e uma profundidade até 24cm.

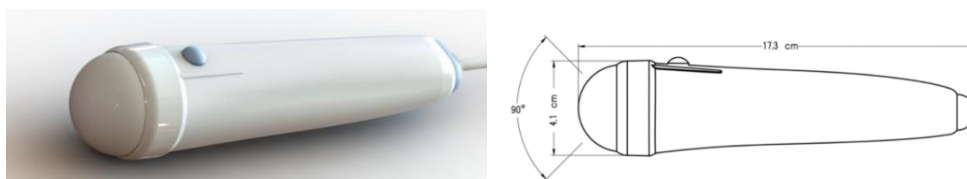


Figura 23 – Sonda de Ultrassom do projeto, com respetiva representação esquemática das suas características

- Óculos RA [5, Figura 20]

Os óculos são um protótipo da empresa META, os META 1 *Developer Kit* (Figura 24). Trata-se de uma tecnologia de visualização OST, indo de encontro à desejada sobreposição de informação digital da anatomia interna, sobre a superfície anatómica visível do paciente.



Figura 24 – Dispositivo de visualização *Optical See-through* - META 1 Dev. Kit

3.2.3. Necessidades do projeto

A leitura da dissertação de Marques (2015), permitiu obter um conhecimento mais aprofundado dos processos na base da produção do protótipo e resultados obtidos, nomeadamente o *feedback* recolhido com utilizadores.

Como perspetivas de trabalho futuro, foram identificados aspetos que necessitavam de ser corrigidos, sobretudo resultantes de problemas identificados na avaliação de protótipos com utilizadores (Marques, 2015).

As ditas reformulações dividem-se nas seguintes áreas de desenvolvimento:

- *Sistema de visualização*

Foram reportados problemas de visualização nos testes com o último protótipo (Marques, 2015), essencialmente relativos a um desconforto físico sentido pelos cirurgiões ao utilizar o dispositivo de visualização. Dado o incómodo denotado, a sugestão dos médicos aponta para testes com uma abordagem de RA baseada em monitor. No entanto, julga-se que o incómodo relatado se deve ao estado de maturação da tecnologia à disposição da equipa e não diretamente ao sistema de visualização.

- *Sistema de registo*

Ao nível do sistema de registo, verificou-se a necessidade de implementar sensores mais responsivos e capazes de minimizar as limitações encontradas, tais como a necessidade de sensores com dimensões mais reduzidas e certificados para uso em medicina. Ainda assim, a integração de sensores desta natureza, sensores eletromagnéticos,

demonstrou-se em concordância com o que era pretendido, o que justifica um investimento da equipa no melhoramento desta solução.

- *Aumentos digitais*

Por constituir uma representação bidimensional e com pouca qualidade figurativa, a imagem ultrassónica foi descrita como insuficiente para fornecer, num sistema de navegação, uma plena perceção do trajeto da agulha. Assim, é necessário que esta modalidade seja substituída ou complementada por uma modalidade de imagiologia médica que ofereça uma representação tridimensional dos órgãos da anatomia interna do paciente.

- *Funcionalidades e sistema de input*

Relativamente a funcionalidades, os médicos indicaram que seria pertinente a adição de marcas virtuais que permitissem servir de alvo para a inserção de uma agulha. Ficou também registada a intenção de desenvolver qualquer funcionalidade de forma a permitirem a personalização de acordo com as preferências do profissional.

3.2.4. Estabelecimento de requisitos

Com o objetivo de dar seguimento ao projeto, foram realizadas sessões exploratórias com a equipa, que consistiram na discussão e troca de ideias relativamente aos aspetos para trabalho futuro já mencionados.

A equipa decidiu prosseguir o desenvolvimento de um protótipo com um sistema de visualização baseado em dispositivos OST. A principal razão é esta solução oferecer vantagens que superam as desvantagens identificadas na avaliação do protótipo funcional. Estas desvantagens, referidas pelos cirurgiões, devem-se essencialmente ao desconforto físico causado pelo equipamento utilizado nos testes, um protótipo da META para programadores que possuía bastantes fragilidades do ponto de vista ergonómico e de visualização, com um campo de visão e contraste reduzidos. A equipa acredita que estas fragilidades serão minimizadas a curto/médio prazo, sendo que surgem agora no mercado alguns exemplos que parecem demonstrar uma evolução (em particular, o novo sistema da META, Epson BT-200 e os Microsoft HoloLens). As principais vantagens de um sistema deste tipo, para além de permitir observar a informação digital sobreposta nos locais correspondentes da anatomia real, é que o faz produzindo pistas de profundidade binoculares, tais como a estereopsia, e permite o movimento do utilizador em redor da informação digital, graças ao sistema de *tracking*. Estas formas de obter conhecimento de profundidade são consideradas pela equipa como essenciais para um eficiente planeamento do procedimento, através da inserção de marcas, e consequente execução que consiste na inserção e remoção da agulha até ao rim.

Visto que uma das lacunas identificadas era a utilização do ultrassom como única modalidade imagiológica, a equipa de investigação começou por juntar à equipa um especialista em informática biomédica e tecnologias de imagiologia médica, membro

do grupo de Informática Biomédica e Tecnologia, do Instituto de Engenharia Eletrónica e Telemática de Aveiro (IEETA)². O objetivo da sua inclusão no projeto foi reunir conhecimento na área do processamento de sinal e algoritmos de correlação matemática que permitissem à equipa, no futuro, conceber e desenvolver algoritmos de fusão. No caso concreto desta investigação, o conceito de fusão consiste em posicionar o modelo virtual do órgão no espaço cartesiano e tridimensional correspondente ao interior do paciente, através da correlação em tempo real com a imagem de ultrassom.

Por outras palavras, um dos desafios desta abordagem é o registo, que consiste em fazer corresponder modelos pré-operatórios com a imagem do ultrassom, num processo denominado de *matching*. Como forma de obter esta correspondência, decidiu-se tirar partido do conhecimento anatómico do cirurgião, com a solução a passar pelo desenvolvimento de um algoritmo que permita o cirurgião identificar pontos de referência estratégicos em 2 momentos distintos:

- Numa fase pré-operatória, o cirurgião identifica pontos de referência num modelo 3D, órgão a intervir, adquirido via TAC.
- No início da intervenção cirúrgica, utilizando o protótipo de realidade aumentada, o cirurgião identifica os pontos de referência identificados previamente, desta vez com recurso a ultrassom, de modo a registar o modelo 3D na sua localização real.

Dada a exigência técnica de uma implementação deste género, era essencial contratar alguém para a equipa que pudesse trabalhar a tempo inteiro nesta tarefa. Contudo, dadas as dificuldades em encontrar alguém com o perfil pretendido, optou-se por não condicionar a presente investigação de mestrado com este processo e avançar com o desenvolvimento do módulo de interação do protótipo, fundamental para o segundo momento do processo de fusão.

O desenvolvimento do módulo de interação do sistema, que inclui o desenvolvimento da interface de utilizador, tanto do ponto de vista gráfico como de ferramentas virtuais e físicas de interação, era já uma necessidade do projeto. Para além de permitir a personalização de aspetos do sistema, uma das necessidades identificada pelos cirurgiões era a de poder assinalar virtualmente zonas da anatomia com vista a facilitar a inserção de uma agulha até ao rim. A técnica utilizada atualmente é um procedimento standard denominado de Técnica de Seldinger (3.2.1.) e é suportado por radiografias como forma de orientar a agulha em direção ao rim. O sistema de interação permitiria assinalar zonas da anatomia interna do paciente por onde a agulha deveria ser alinhada, retirando a necessidade de o fazer com recurso à observação de radiografias e sucessivas tentativas de aproximação da agulha ao melhor trajeto.

² Augusto Silva <http://bit.ly/2bQwzdy>

No final desta fase de investigação, ficaram então definidos os requisitos funcionais e técnicos a cumprir na fase de design, tal como declarados na tabela 4:

Tabela 4 – Requisitos de um Sistema de Realidade Aumentada, baseado em ultrassons, de auxílio à cirurgia de remoção de pedras nos rins

FUNCIONAIS	Sistema de Registo
	<ul style="list-style-type: none">- Apresentar, em tempo real, imagens da anatomia interna via ultrassom.
	Sistema de Interação <ul style="list-style-type: none">- Permitir a manipulação de marcas virtuais de navegação, registando-as em zonas anatómicas.- Permitir a personalizar/configuração de aspetos do sistema:<ul style="list-style-type: none">- Distância Interpupilar- Frequência Ultrassom (Hz)- Profundidade Ultrassom (cm)-Tipo da marca- Cor da marca- Tamanho da marca
TÉCNICOS	<ul style="list-style-type: none">- Receber dados da sonda ultrassónica via USB em tempo real;- Novo sistema de <i>tracking</i> que permita o rastreio de 3 sensores;- Integração do novo sistema de <i>tracking</i> na plataforma de desenvolvimento (Unity 3D);

3.3. Design Funcional

Nesta fase ocorre uma especificação funcional, com base nos requisitos, sobretudo feita através do desenvolvimento de protótipos de baixa fidelidade. O desenvolvimento destes protótipos de baixa fidelidade, tanto ao nível de esboços em papel como de protótipos desenvolvidos no Unity permitem comunicar funcionalidades entre a equipa com maior eficácia, bem como um maior esclarecimento na definição de funcionalidades. É também nesta fase que toda a informação gráfica e textual que suportará o protótipo é elaborada.

3.3.1. Sistema de interação

Um primeiro protótipo, de baixa fidelidade, foi desenvolvido para explorar o sistema de interação, tendo-se como principal objetivo, o desenvolvimento das funcionalidades de adicionar e remover marcas virtuais de navegação e a escolha de uma ferramenta de interação capaz de suportar essa tarefa (Figura 26).

Os elementos técnicos na base deste protótipo provêm do protótipo funcional conhecido na fase exploratória, tendo apenas sido adicionada funcionalidade ao *joystick* que acompanha um dos sensores eletromagnéticos, tal como observado na figura 25.

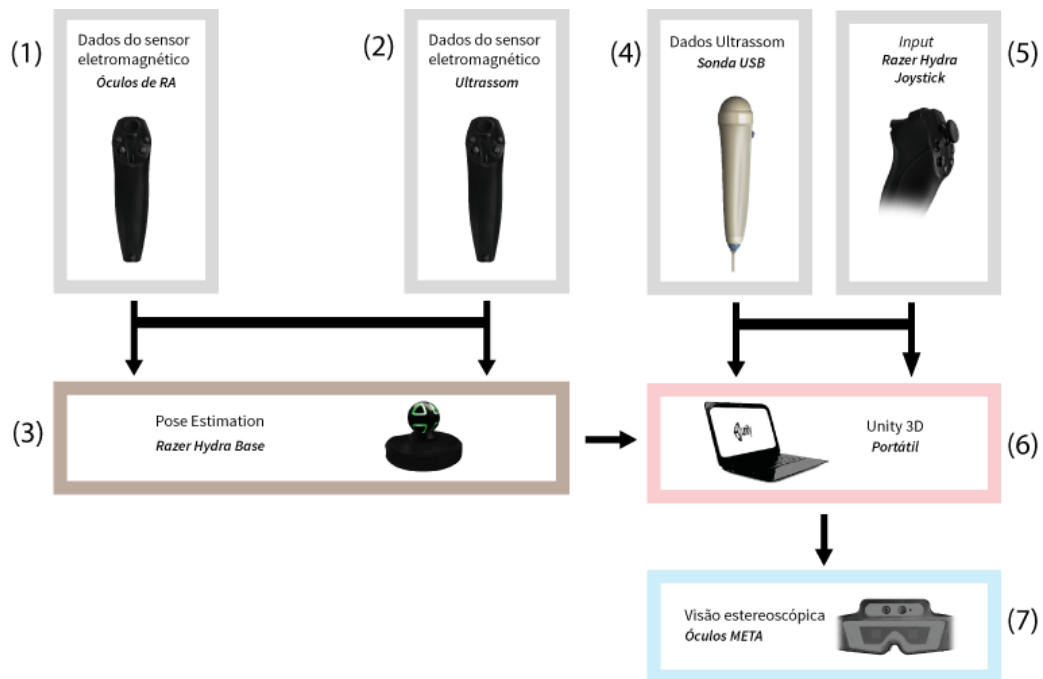


Figura 25 – Arquitetura do 1º protótipo exploratório

A sonda fornece a visualização da captura ultrassónica [4, Figura 25], e, com base nas coordenadas adquiridas pelo sistema de *tracking* [2, Figura 25], o *software* regista a imagem no seu local de captura do mundo físico, correspondente à extremidade da sonda. Uma vez que se pretendia apenas explorar o sistema de interação e não havia ainda certezas se o sistema de *tracking* [1, 2 e 3, Figura 25] seria para manter no projeto, o registo não foi calibrado com exatidão. Isto significa que, ao utilizar os óculos de realidade aumentada, a localização da imagem capturada pela sonda não era observada exatamente na localização real da sua aquisição.

As marcas virtuais são gravadas a partir da informação visual obtida pela captura ultrassónica, ficando fixas no local em que forem adicionadas. Um *joystick* foi acoplado à sonda para permitir esta interação [5, Figura 25]. Uma vez que o *joystick* provém do sistema de *tracking* Razer Hydra, foi apenas necessário adicionar código para obter os valores desse *input*, a partir da biblioteca já integrada no projeto.

Os controlos do *joystick* incluem *input* bidimensional e um clique. Como os valores do *input* bidimensional têm origem na manipulação de dois potenciómetros localizados no interior do *joystick*, para além da direção, é também possível enviar a intensidade da direção. Neste protótipo algumas operações foram exploradas de acordo com estes controlos (Figuras 28,29,30 e 31).

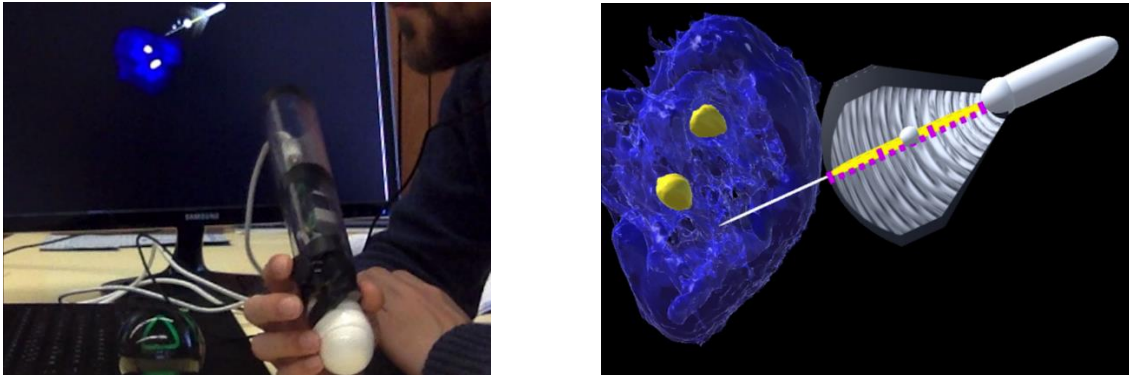


Figura 26 – 1º protótipo exploratório. À esquerda, manipulação da ferramenta física de interação composta por sonda de ultrassons e joystick. À direita, interface, com uma representação virtual da sonda e de rins.

Para este protótipo, as marcas são representadas por esferas. Uma esfera virtual acompanha o movimento da sonda, estando colocada no centro da captura ultrassónica [4, Figura 27]. Ao clicar no botão do joystick analógico, a esfera é duplicada, sendo fixada permanentemente nesse preciso local do espaço físico. Por seu lado, a esfera original mantém-se sempre no centro da sonda ultrassónica permitindo novas colocações no espaço.

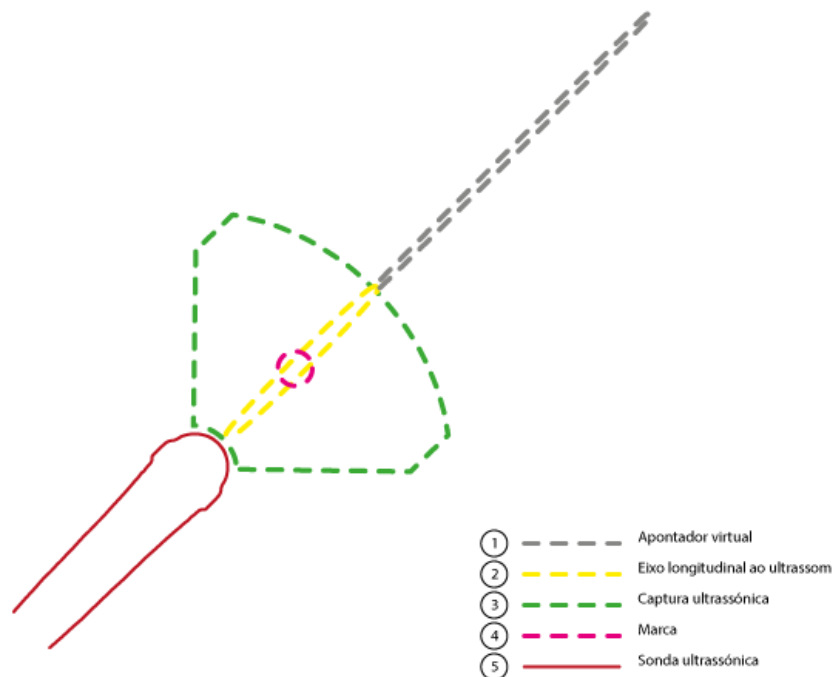


Figura 27 – Esquema legendado das ferramentas virtuais de interação desenvolvidas

O *input* vertical do joystick faz mover a esfera ao longo do eixo longitudinal da sonda [2, Figura 27], representado por uma agulha amarela. Este movimento permite colocar marcas em diferentes níveis de profundidade no interior do paciente. Sempre que a esfera se desloca desta forma, surge uma régua que dá indicação da profundidade da

captura ultrassónica. Uma vez que o desenvolvimento foi feito sem recorrer ao SDK³ do ultrassom, os valores reais de profundidade não eram conhecidos, pelo que a régua serve apenas como prova de conceito.

Incluindo a manipulação da sonda no espaço com 6 graus de liberdade, as operações permitidas são:

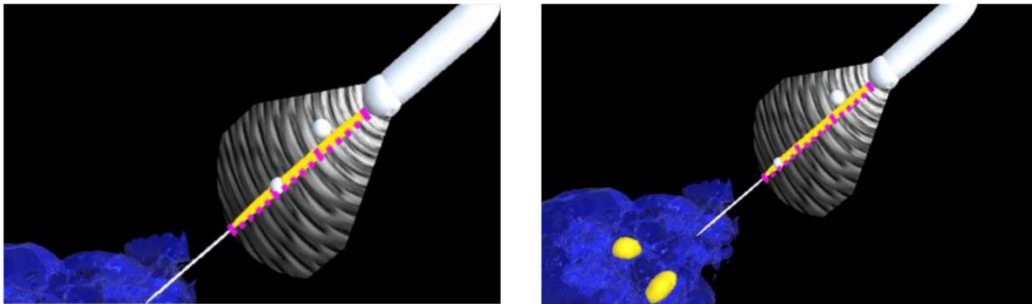


Figura 28- Manipulação da profundidade da marca virtual, através de *input* vertical do *joystick*

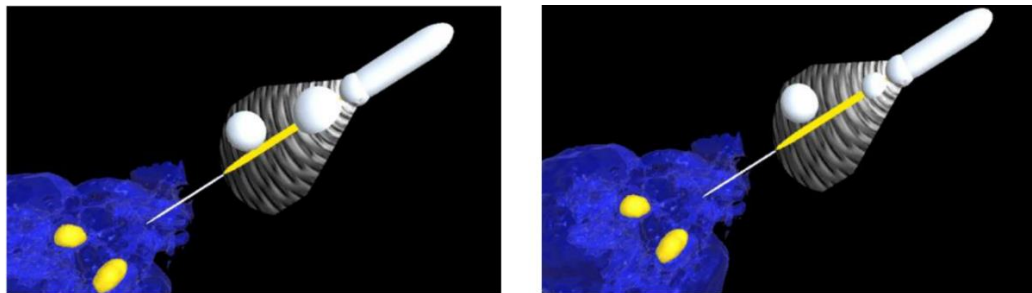


Figura 29 – Configuração do tamanho da marca, deslizando o *joystick* analógico para os lados (*input* horizontal)

³ SDK (*Software Development Kit*): pacote de ferramentas que permitem a implementação de aplicações que complementem ou tirem partido do sistema original, adicionando valor a esse sistema.

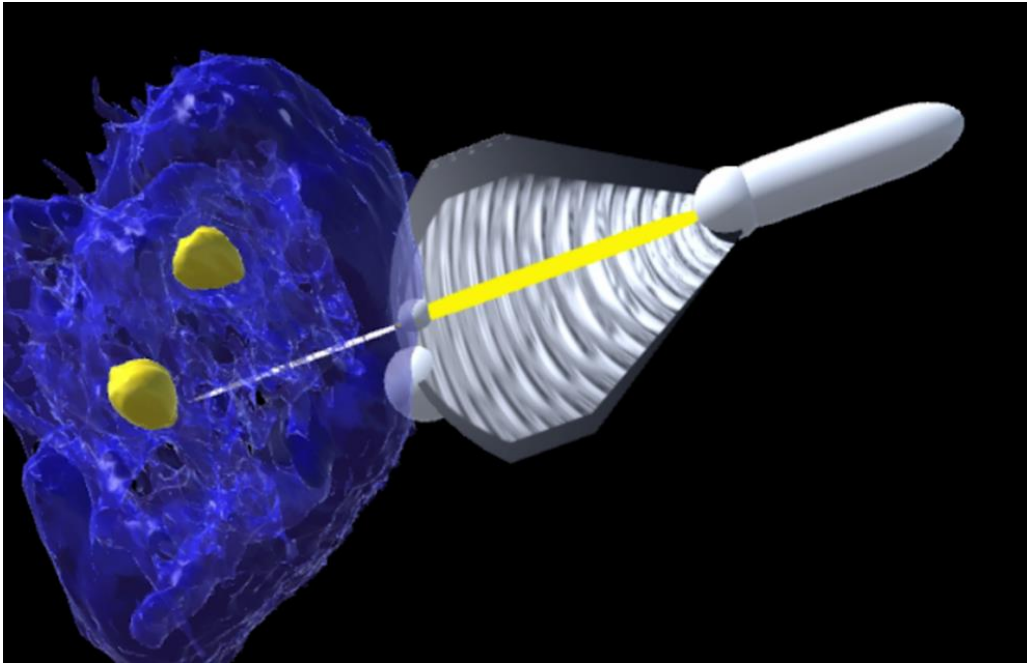


Figura 30 – Colocação da marca no espaço (através da sua duplicação), pressionando o botão do *joystick*

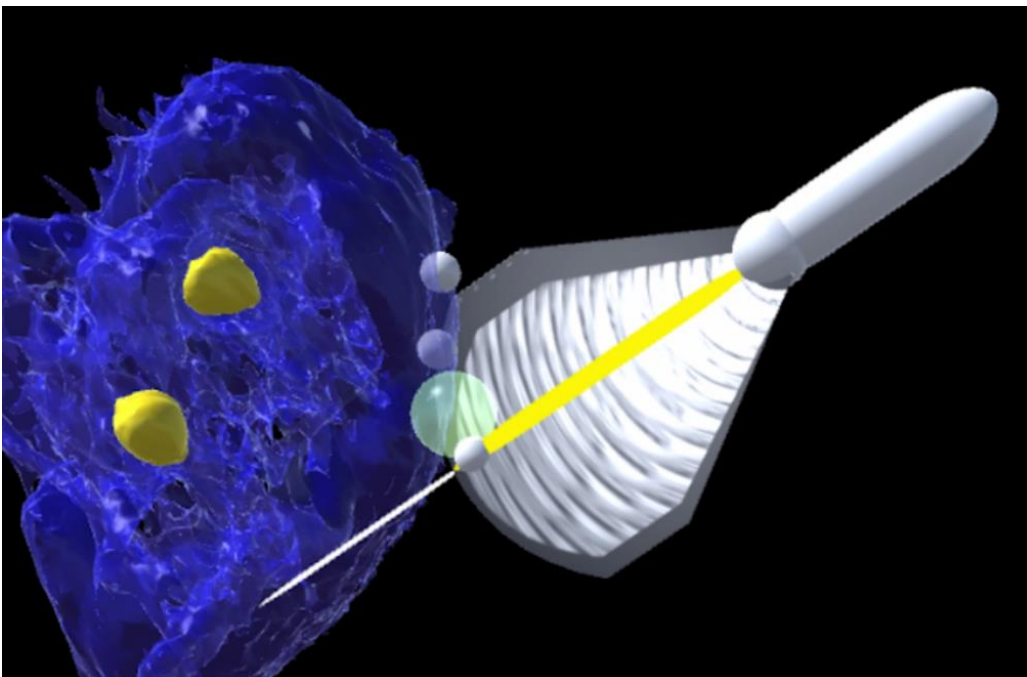


Figura 31 – Remoção das marcas colocadas, encostando a marca principal à marca que se deseja remover e pressionando o botão quando esta última indicar que está selecionada, ao ficar transparente

Feedback recolhido e alterações

Esta solução deu boas indicações quanto às ferramentas físicas de interação a adotar. A introdução dos controlos diretamente numa ferramenta obrigatória do *workflow* (sonda de ultrassom) é vantajosa pois não requer a utilização de uma mão adicional ou controladores localizados num espaço físico diferente daquele onde se dá a

intervenção. Neste caso, o *joystick* atua como uma extensão da sonda o que é vantajoso para a compreensão das operações capazes efetuar com as marcas.

De maneira a consolidar a concetualização proposta, foram realizadas sessões exploratórias com membros da equipa, especialistas da área de IHC, que puseram à prova o protótipo desenvolvido. Essas sessões resultaram nas seguintes alterações:

- Método de apagar marcas

Neste protótipo, seria necessário encostar a marca original à marca que se desejava apagar, o que requeria uma precisão evitável. Como solução, optou-se por tirar partido do apontador [1, Figura 27], até agora apenas com a função de ajudar a alinhar visualmente a captura ultrassónica com o espaço físico ou alinhar a sonda relativamente a marcas já colocadas. O apontador em questão, situado no eixo longitudinal da captura ultrassónica, passaria a permitir selecionar marcas colocadas no cenário e apagá-las pressionando o botão do *joystick* analógico.

- Novos modos de interação

Decidiu-se ainda a introdução de dois novos modos de interação: um modo livre, onde apenas seria visível a captura ultrassónica e um modo que permitisse gravar fatias de ultrassom no espaço, isto é, capturar *snapshots* em locais de interesse, ficando estes fixos na localização do espaço físico onde foram capturados.

- *Input* horizontal e dimensões da marca

À luz da recente inclusão de novos modos de interação, chegou-se à conclusão que a forma mais natural para alternar entre eles seria mover o *joystick* horizontalmente. Quanto à anterior função deste *input*, controlar a dimensão da marca, passaria a ser um dos aspetos a incluir num menu inicial que permitisse configurar aspetos da interface de utilizador. Esse menu inicial, faz parte do sistema de navegação e será descrito na próxima secção (3.3.2).

3.3.2. Sistema de navegação

Surgiu a necessidade de concetualizar um menu inicial onde o utilizador poderia definir o tamanho e estilo das marcas e proceder a alguns ajustes de calibração, antes de interagir com o sistema em contexto cirúrgico. Na figura 32 é possível ver o modelo de navegação concetualizado, com os respetivos elementos textuais e caminhos a percorrer na aplicação.

No modelo concetualizado, o utilizador tem a oportunidade de calibrar o sistema e configurar aspetos visuais num momento prévio à utilização dos modos de interação. Este modelo foi importante para tornar explícitas as necessidades identificadas para a aplicação em termos de informação personalizável e funcionalidades a desenvolver no futuro (isto é, integração dos dados do ultrassom e processos de calibração).

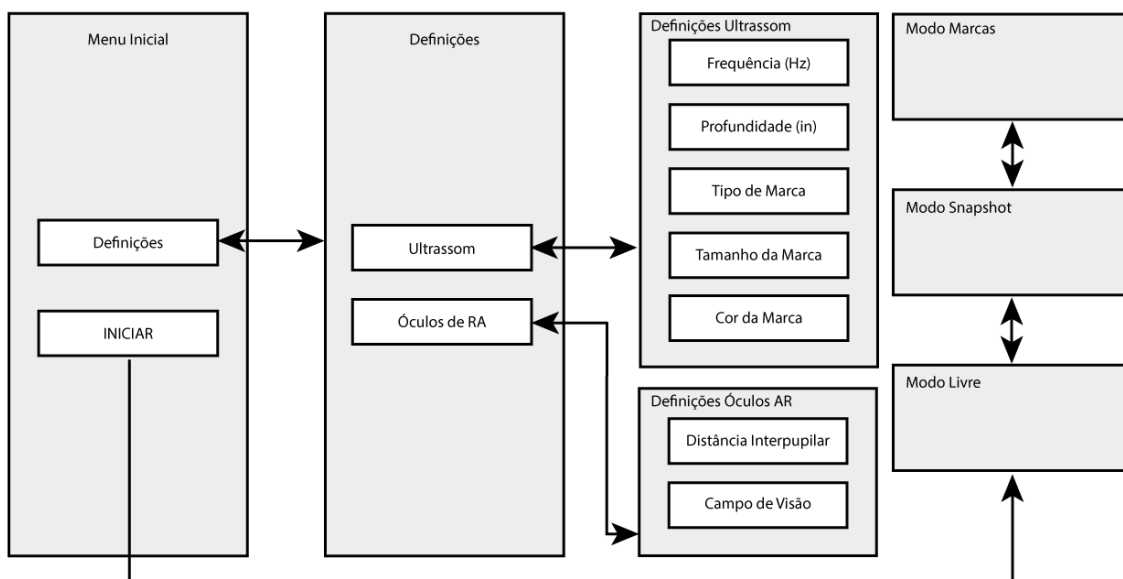


Figura 32 – Modelo de navegação

Em termos de controlos, o *input* vertical do *joystick* permite navegar entre opções do menu, seleccionando-as, enquanto o *input* horizontal serve para avançar para a opção seleccionada ou para voltar para trás. Nos menus onde é possível personalizar aspetos do sistema (Definições Ultrassom e Definições Óculos AR), pressionar o botão do *joystick* fará surgir as várias opções referentes à entrada de menu que for seleccionada.

Paralelamente à arquitetura da informação, foi feito um esboço da interface, levando em consideração a natureza tridimensional da visualização. O menu concetualizado consiste numa espécie de carrossel, em que a opção seleccionada é paralela aos olhos do utilizador e as restantes opções do menu surgem com uma inclinação no espaço tridimensional (Figuras 33 e 34). Para além disso, a opção seleccionada deve aparecer sempre no centro do campo de visão do utilizador, por esta ser a zona de maior nitidez em termos de perceção visual.

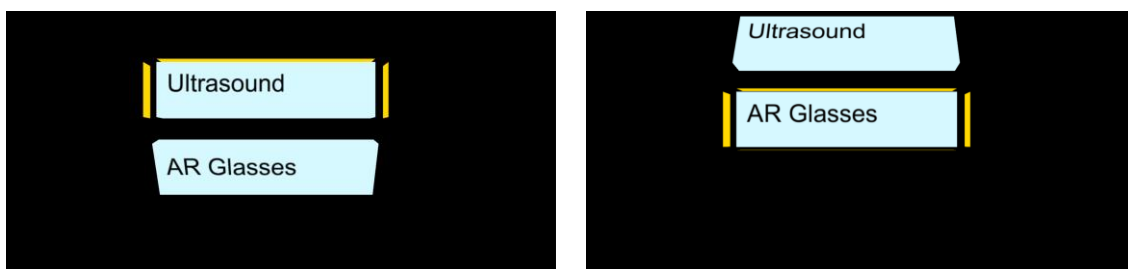


Figura 33 – Botões de menu de navegação concetualizados



Figura 34 – Comportamento do botão de menu selecionado (à esquerda) e pressionado (à direita)

Decidiu-se não avançar para um design visual mais aprimorado na fase de desenvolvimento, tendo-se ficado apenas pela conceitualização. Isto deveu-se ao facto de não ser uma prioridade da investigação, além de que não havia certeza quanto à totalidade das informações e configurações a incluir, algo que seria apurado na fase de avaliação com o público-alvo.

3.4. Design Técnico

Nesta fase pretendia-se projetar os elementos técnicos que iriam servir de base às funcionalidades do protótipo. Tal como se definiu na fase exploratória, enquanto que o sistema de visualização a utilizar manter-se-ia o dispositivo OST da META, o sistema de *tracking* eletromagnético que iria garantir o rastreio dos óculos, sonda e agulha estava ainda por decidir. Da mesma forma, uma nova ferramenta física de interação necessitava de ser escolhida, uma vez que aquela que era anteriormente utilizada pertencia ao sistema Razer Hydra, entretanto abandonado pelo projeto.

No final desta fase, pretendia-se completar o mapa de funcionamento representado na figura 35, onde é possível ver os elementos técnicos em falta.

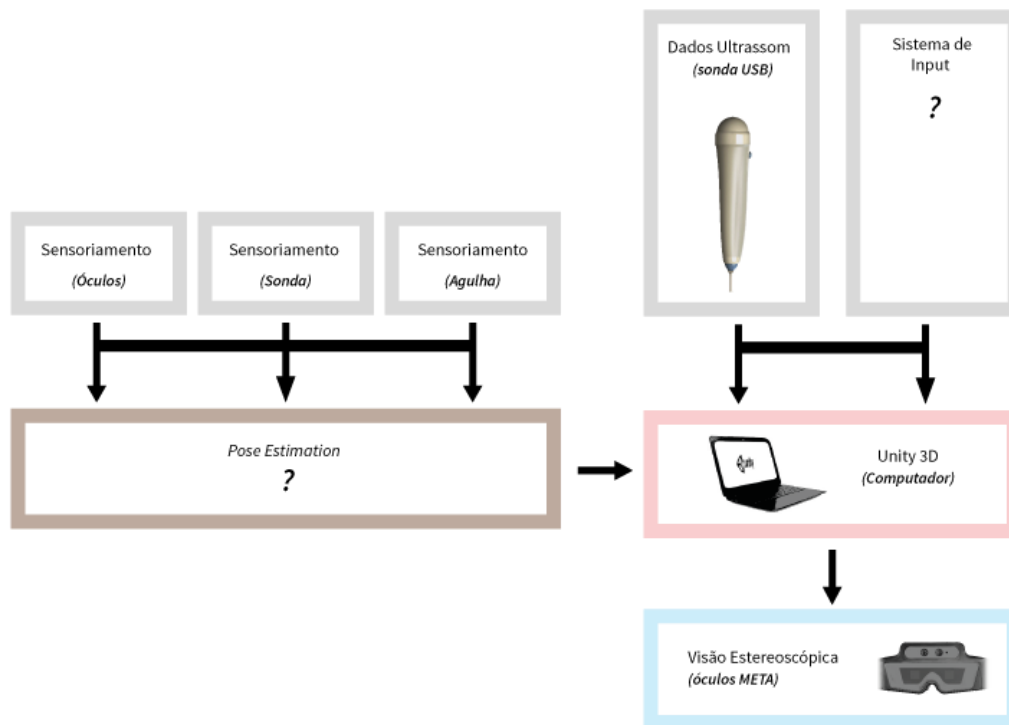


Figura 35 – Mapa de funcionamento com que se deu início a esta etapa

3.4.1. Sistema de *Tracking*

A equipa tinha em vista a aquisição e incorporação de um novo sistema de *tracking*, após analisar e considerar as limitações identificadas no sistema Razer Hydra. Entre outras coisas, o sistema não permitia testar o rastreo da agulha em simultâneo com o rastreo dos óculos e da sonda, visto que apenas admitia 2 sensores. Este rastreo da agulha ia de encontro à necessidade de acompanhar o seu trajeto no interior do paciente, sem a necessidade de lhe ser administrado qualquer tipo de contraste para que possuísse melhor visibilidade no ultrassom. O facto de permitir este tipo de rastreo no interior do paciente, mesmo quando não há *feedback* visual do sensor, foi a principal razão para a escolha de um sistema eletromagnético.

Com igual importância, outra necessidade fundamental são as dimensões do sensor, especialmente para que seja possível a sua conexão à agulha que é introduzida no paciente.

Em termos de sistemas médicos autónomos de rastreo eletromagnético há poucos fabricantes. Um deles, Ascension, foi comprado pela NDI, existindo apenas 2 fabricantes atualmente: NDI e Polhemus (Franz, Haidegger, Birkfellner, & Maier-Hein, 2014). Uma análise comparativa de tecnologias (Tabela 5), guiou a equipa na tomada de decisão.

Tabela 5 – Análise comparativa de tecnologias

	RAZER HYDRA	ASCENSION TRAKSTAR™	NDI Aurora
POSSIBILIDADE DE INTEGRAR NO UNITY 3D	Sim, existem <i>plugins</i>	Sim, através do desenvolvimento de um <i>plugin</i> por defeito	Sim, através do desenvolvimento de um <i>plugin</i> por defeito
Nº MÁXIMO DE SENSORES PERMITIDOS EM SIMULTÂNEO	2	4	16
DIÂMETRO DOS SENSORES 6DOF	>1mm	De 0.56mm a 7.9mm	De 0.8mm a 1.8mm
EXISTÊNCIA DE CABOS	Sim	Sim	Sim
POSSIBILIDADE DE CERTIFICAR PARA USO MÉDICO	Não	Sim	Sim

A escolha recaiu no sistema de *tracking* Ascension trakSTAR™, adquirido pela empresa que acompanha o projeto. A principal razão para a escolha deste sistema deve-se ao diâmetro mínimo dos seus sensores que admitem 6 graus de liberdade (3 graus de posição e 3 de rotação) ser menor, permitindo assim mais facilidade de integração na agulha. Apesar do sistema Aurora possuir sensores com 0.3mm de diâmetro, estes apenas rastreiam 5 graus de liberdade (3 graus de posição e 2 de orientação).

Sistema de *tracking* eletromagnético trakSTAR™

O sistema adquirido é composto por três elementos fundamentais:

- **Controlador**

É o responsável por fazer a comunicação entre os sensores e o computador e controlar parâmetros do transmissor como o alcance do rastreio.

- **Transmissor**

Responsável por gerar campo magnético que, por sua vez, irá induzir corrente nos sensores. É a base do sistema, funcionando como origem do sistema de coordenadas cartesiano (0,0,0).

Trata-se de um transmissor de médio alcance, cuja distância máxima de rastreio é 660mm. Em termos das suas dimensões, estas não deverão ser um entrave a uma fácil integração no bloco operatório: 96mmx96mmx96mm. Este dispositivo deve ser preferencialmente colocado num local não-magnético, com um raio de pelo menos

61cm à sua volta sem objetos ferromagnéticos para não comprometer o campo magnético gerado.

- **Sensores**

Foram adquiridos quatro sensores, de duas tipologias diferentes: um sensor Modelo 55, com um diâmetro de 0.56mm, e três sensores Modelo 800, com diâmetros de 7.9mm. Quanto ao comprimento dos cabos, estes vão de 2,2m a 3,3m dando alguma flexibilidade para ajustar a sua disposição no bloco operatório. Os sensores são ligados ao controlador e este procede ao cálculo da sua posição e orientação em relação à origem do sistema. Visto que o campo magnético é gerado com uma geometria conhecida, é possível obter esta informação através de fórmulas matemáticas, com base no valor de corrente induzida em cada sensor.

3.4.2. Sistema de Interação

Para interagir com os modos de interação concetualizados, a equipa introduziu um novo *joystick* no protótipo (Figura 36). Os *inputs* são analógicos em dois eixos (cima/baixo e esquerda/direita), dados por dois potenciômetros. Para além disso, pressionar o botão do *joystick* produz um *input* digital. Este tipo de *inputs* adequa-se às interações concetualizadas e, por conveniência, este foi o modelo escolhido. No entanto, no futuro, a solução poderá passar por um *joystick* sem fios, de forma a ser menos intrusivo na solução final.



Figura 36 – Mini Joystick – Phidgets (Phidgets Inc, 2012)

4. IMPLEMENTAÇÃO DA TECNOLOGIA

A implementação da tecnologia coincidiu com a fase de desenvolvimento. Nesta etapa da investigação empírica, pretendia-se obter um protótipo final que reunisse as funcionalidades e requisitos técnicos identificados anteriormente e fosse capaz de servir como prova de conceito para ser avaliado por utilizadores finais.

4.1. Integração do sistema no Unity

A API⁴ fornecida pela Ascension para controlar o sistema, consiste numa DLL compilada na linguagem C. Uma vez que o Unity não suporta a integração desta linguagem por defeito, foi necessário compilar uma DLL compatível com o Unity, que fizesse a interface entre a API do sistema e a aplicação desenvolvida em C#.

No *plugin* desenvolvido e compilado no Visual Studio, algumas funções genéricas de aquisição de dados do controlador foram escritas, tendo por base a documentação da API. Essas funções permitiam essencialmente iniciar o sistema, enviar configurações como a frequência de aquisição dos dados e obter as coordenadas de posição e rotação de cada um dos sensores. Após compilar a DLL, esta foi colocada na pasta do projeto do Unity e, através da linguagem de programação C#, foi utilizado o atributo 'DllImport' para implementar as funções no projeto.

4.2. Integração dos sensores nas ferramentas

Para facilitar a sua manipulação, o sensor da agulha, que possui uma espessura reduzida e uma elevada flexibilidade (Figura 37), foi introduzido no interior de um tubo fino de plástico. Os restantes sensores foram acoplados aos seus respetivos instrumentos: sonda e óculos. Dado o estado preliminar da investigação e respetiva incerteza quanto aos instrumentos finais, não houve a necessidade de fazer uma integração de alta-fidelidade nos instrumentos à disposição, o que envolveria design de produto. Desta forma, um dos sensores foi fixo à sonda através de velcro, enquanto que o outro foi acoplado aos óculos através de uma peça, modelada e impressa em 3D (Figura 38).

⁴ API (*Application Programming Interface*): conjunto de métodos e funções estabelecidos por um *software* para a utilização das suas funcionalidades, abstraindo detalhes da sua implementação.



Figura 37 – Sensor Modelo 55, com 0.56mm de diâmetro

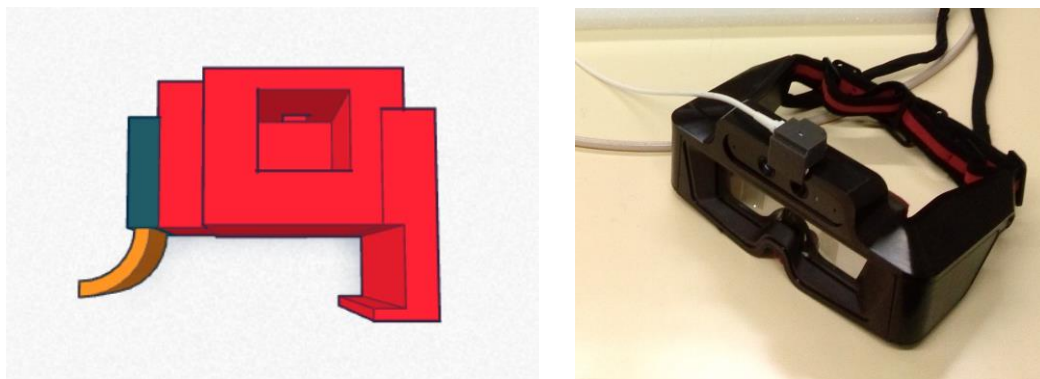


Figura 38 – À esquerda, peça 3D modelada na ferramenta online Tinkercad. À direita, peça impressa e encaixada nos óculos, já com o sensor acoplado.

4.3. Sistema de registo

Um dos principais desafios da RA é o registo, ou seja, o alinhamento dos objetos reais e virtuais. Caso estes não estejam adequadamente alinhados entre si, isto é, caso os objetos virtuais não sejam posicionados tridimensionalmente no mundo físico, a ilusão da sua coexistência é comprometida (Azuma, 1997). Isto implica sempre algum tipo de rastreio, sendo que no caso do protótipo desenvolvido é garantido por um sistema de navegação eletromagnético. Um sensor, colocado nos óculos, permite adequar o ponto de vista da visualização de acordo com a posição e rotação da cabeça do utilizador. Os restantes sensores, colocados na sonda e na agulha, permitem registar a informação digital nos seus locais do mundo físico, isto é, na extremidade da sonda física é observada a imagem correspondente à sua captura e no lugar da agulha é registada uma indicação visual da sua posição.

Em RA, o registo necessita de ser mais rigoroso do que em RV, uma vez que os erros são muito mais fáceis de identificar. Para além dos requisitos da RV, onde é necessário adequar a coerência das pistas de profundidade monoculares e binoculares, em RA acresce a necessidade de adequar a escala dos elementos virtuais ao mundo real. Um desfazamento de poucos pixéis na escala dos elementos virtuais é facilmente detetável.

Há vários tipos de erros associados ao registo, podendo ser divididos em erros estáticos e dinâmicos (Azuma, 1997). No protótipo desenvolvido não foram identificados erros

dinâmicos, associados a latência no sistema. Em sentido contrário, foram identificados erros de natureza estática, tendo sido elaborado um guião de calibração de forma a obter um registo assente num processo sistemático. O processo envolveu a adequação da escala dos sensores à escala real, bem como o ajuste da distância interpupilar e da distância focal.

Guia de calibração:

1. Adequar posição das câmaras virtuais, correspondentes a cada um dos olhos, à sua distância física em relação ao sensor e separar as duas câmaras tendo em conta a distância interpupilar. No Unity, criar um pivot que receba a posição e orientação do sensor e transformar as duas câmaras em filhas desse pivot. No eixo do y, distanciar as câmaras em relação ao pivot de acordo com a distância que existir entre os olhos e o sensor colocado nos óculos. Para a distância relativa entre as duas câmaras no eixo do x, ter como referência a distância interpupilar média de 6cm.
2. Construir parte de um *cubo* com apenas 3 arestas, correspondentes aos 3 eixos do sistema de coordenadas cartesiano. Construir cada eixo com uma dimensão conhecida, passando-se a considerar essa dimensão como 1 unidade. Por exemplo, se cada eixo tiver 15 cm, 1 unidade equivale 15cm.
3. Posicionar o vértice do *cubo* comum a todos os eixos, a X unidades da origem do sistema (transmissor do sistema eletromagnético). Colocar um sensor eletromagnético nesse vértice e verificar se a distância no Unity equivale à distância real.

Verificar se:

1 unidade real == 1 unidade do Unity

4. Construir réplica do *cubo* no Unity e colocar na mesma posição.
5. Fixar a posição dos óculos e olhar através de um dos olhos, de forma a verificar se o cubo virtual está situado no mesmo local do cubo real.
6. Corrigir a posição do cubo virtual, apenas modificando o FOV da câmara do olho utilizado.
7. Copiar o FOV obtido para a outra câmara. Caso falhe, alterar distância entre câmaras, ou seja, distância interpupilar.

Uma vez efetuado o processo de calibração, repetido por mais que uma pessoa, existiu um aspeto que não ficou resolvido. A dimensão aparente da imagem não coincidia com a distância focal, gerando discrepâncias no registo. Contudo, esta diferença não afetou o estudo uma vez que não fazia parte das componentes a avaliar com o público-alvo.

4.4. Sistema de Interação

Com base nos protótipos de baixa fidelidade desenvolvidos e *feedback* recolhido, que permitiram projetar as funcionalidades, o sistema de interação foi implementado. Ao único modo de interação prototipado, de adição e remoção de marcas, foram adicionados o Modo Livre (*Free Mode*) e o Modo *Snapshot* (*Snapshot Mode*).

Na representação da captura ultrassónica foi acrescentada uma borda, cuja cor fornece pistas acerca das ações possíveis a realizar (Tabela 6). A cor branca representa neutralidade, não havendo qualquer comportamento diretamente associado a essa cor. No entanto, se a borda for vermelha, significa que o modo de interação atual é o *Snapshot* e, portanto, é possível gravar uma captura no espaço físico. No caso de um *snapshot* ser adicionado no espaço, a sua borda pode adquirir uma cor com opacidade reduzida, significando que o *Snapshot* está a ser selecionado e pode ser apagado.

Os *inputs* do *joystick* foram incorporados no projeto através do microcontrolador Iteaduino Nano, baseado na placa *open-source* Arduino Nano 3.0 (Figura 39). Os *inputs* admitidos dependem do modo de interação, podendo ser consultados na tabela 6.



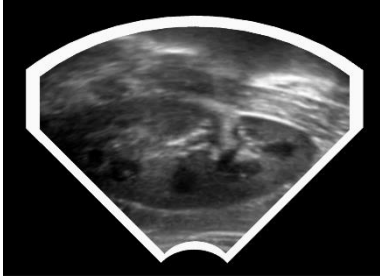


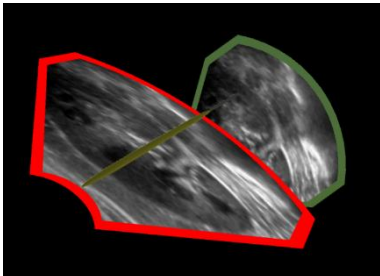



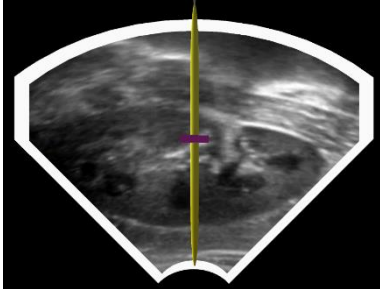



Figura 39 – Iteaduino Nano (ITEAD Wiki, 2014)

De maneira a indicar ao utilizador qual o modo de interação atual, um *widget* foi colocado no canto superior esquerdo com o nome do modo e um pictograma identificativo (Figura 40).



Figura 40 – Pictogramas desenhados. Da esquerda para a direita: Modo *Snapshot*, Modo Marcas, Modo Livre.

Tabela 6 – Modos de interação e respetivos *inputs* implementados

MODO DE INTERAÇÃO	INTERFACE DE UTILIZADOR	INPUTS
<i>Free</i>		Alterar o modo atual: 
<i>Snapshot</i>	 <i>Antes de haver snapshots adicionados</i>  <i>Depois de haver snapshots adicionados</i>	Alterar o modo atual:  Gravar/Apagar <i>snapshot</i> :  Estender/retrair apontador: 
<i>Marks</i>		Alterar o modo atual:  Mover marca ao longo do eixo longitudinal:  Gravar/apagar marca: 

4.5. Arquitetura do protótipo final

Esta última fase, antes da avaliação, resultou no desenvolvimento de um protótipo final. Este protótipo seria utilizado como instrumento de recolha de dados numa futura visita de campo a um representante do público-alvo (secção 5.2. do capítulo de Avaliação).

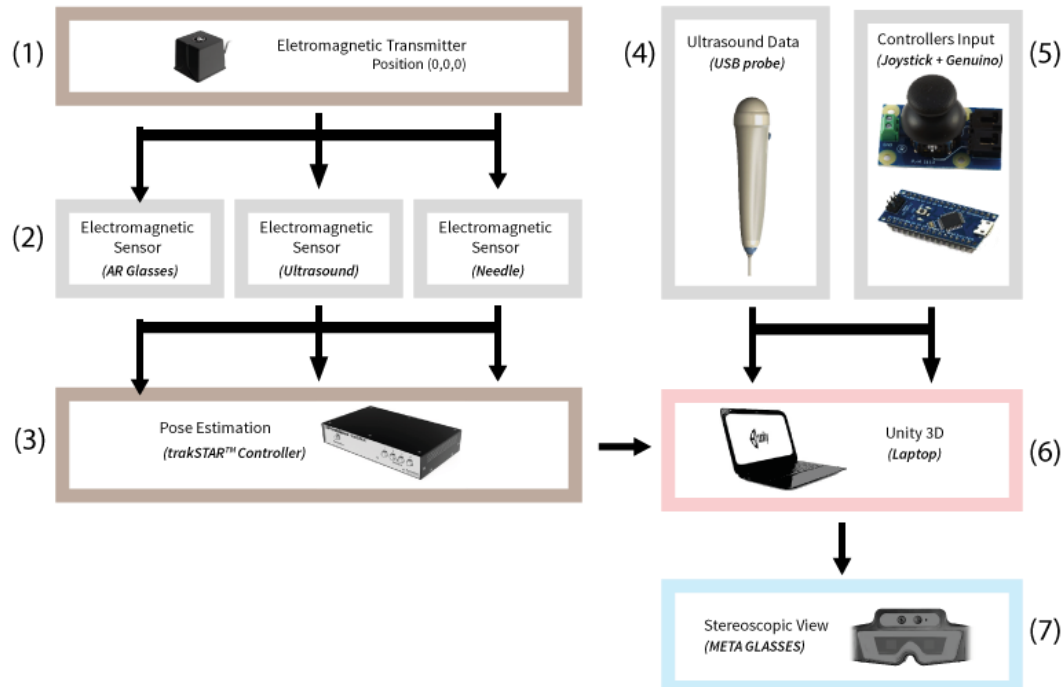


Figura 41 – Elementos técnicos na base do protótipo final

A aplicação foi desenvolvida através do motor gráfico Unity 3D [6, Figura 41], responsável por gerar a visualização estereoscópica que é transferida para os óculos de realidade aumentada [7, Figura 41] através de HDMI.

Os elementos rastreados, isto é, a sonda, os óculos e a agulha [2, Figura 41], possuem um sensor eletromagnético acoplado que envia dados de posição e rotação (6DOF) em tempo real para o controlador do sistema de navegação 3D [3, Figura 41]. Por defeito, este possui uma frequência de 30Hz, o que equivale receber 90 valores por minuto. A aplicação, escrita em C# no Unity, comunica com a API do controlador, escrita em C, via um processo de *marshalling*⁵ e, com base nos dados, gera a visualização. A visualização consiste no registo dos elementos virtuais na sua localização do espaço físico. Uma representação da imagem capturada via ultrassom, cujos dados são transferidos por USB [4, Figura 41], é observada na extremidade da sonda enquanto uma esfera virtual dá indicação da posição da agulha. Ao mesmo tempo, o rastreio dos óculos permite adequar o ponto de vista da visualização e a posição relativa dos elementos.

⁵ *Marshalling*: processo de transformação da representação de memória de um objeto para um formato de dados compatível para armazenamento ou transmissão, tipicamente utilizado para mover dados entre diferentes partes de um computador.

Em termos de interação, um *joystick* analógico é responsável pela navegação entre os modos de interação e adição de marcas virtuais. Este é controlado graças à plataforma *open-source* Genuino, cujos *inputs* são enviados para o Unity através de um processo de comunicação em série.

5. AVALIAÇÃO

No desenvolvimento de produtos interativos, a avaliação é fundamental. Colocar utilizadores a cumprir tarefas com protótipos permite identificar precocemente falhas e equívocos relativos à sua usabilidade. De igual forma, a inclusão de utilizadores pertencentes ao público-alvo da tecnologia permite identificar direções a seguir, pontos de vista não considerados e informações acerca da pertinência e adequabilidade dos caminhos seguidos no desenvolvimento.

Após o desenvolvimento de um protótipo final, que serviria como prova de conceito para transmitir ao público-alvo da tecnologia, houve dois momentos de avaliação. Num primeiro momento, procurou-se aferir questões relativas à pertinência e usabilidade apenas do sistema de *input*, tendo-se recrutado participantes independentes da equipa de investigação para obter respostas.

Num segundo momento, houve uma deslocação a Oxford para um encontro com um médico cirurgião. O motivo da visita foi a apresentação do protótipo final, enquanto prova de conceito da tecnologia a desenvolver, e recolha de informações acerca da sua pertinência e necessidades a encarar no futuro.

5.1. Avaliação do sistema de *input*

Esta avaliação destinou-se a aferir a robustez do sistema de *input*, um dos módulos da arquitetura de sistema do protótipo final. Assim, foi possível obter algum *feedback* antes de testar o sistema completo com o público-alvo. A avaliação de módulos independentes do sistema é fundamental pois a deficiência de um módulo pode condicionar a apreciação geral do sistema por parte dos utilizadores finais. De igual modo, em IHC, é importante testar com pessoas fora da equipa de investigação de forma a obter uma visão que não seja dada por alguém que conhece em detalhe o artefacto e tenha, por isso, ideias que na prática possam não ser óbvias para o utilizador.

5.1.1. Desenho do teste

Pretendeu-se obter uma visão geral acerca do sistema de *input*, tanto ao nível das ferramentas de interação físicas (*hardware*) como das ferramentas virtuais (*software*), de forma a guiar a equipa de investigação em futuros desenvolvimentos, em particular, na preparação da visita a Oxford para avaliar o protótipo com um dos médicos da equipa. O principal objetivo era aferir a facilidade de uso do *joystick* nas tarefas de interação propostas e obter *feedback* acerca da compreensão geral da interface de utilizador.

De entre os modos de interação, optou-se por escolher o *Modo Marcas* para fazer incidir os testes. Este modo requer a utilização de todos os controlos do *joystick* (translação

nos eixos X e Y e clique no botão) e tem a vantagem de não ser o modo com que os participantes se deparam por defeito, obrigando-os a interagir com a aplicação e compreender o sistema de navegação.

O método principal de recolha de dados foi a observação, acompanhada de perguntas informais aos participantes e recolha de notas por escrito. De forma a testar a eficácia da funcionalidade de adicionar marcas, foi ainda desenhada uma componente do teste que permitiu obter dados de carácter quantitativo. Essa componente consistiu em colocar 2 alvos virtuais na cena (2 esferas) e pedir aos participantes que adicionassem e eliminassem 1 marca em cada um dos alvos. Assim, o teste quantitativo consistia em 4 operações, cada qual avaliada com 25% de pontuação no caso de ser realizada com sucesso. No caso da adição de marcas, sucesso significava que as marcas estariam completamente dentro do alvo.

5.1.2. Procedimentos

De forma a ilustrar as tarefas e dar algum contexto ao participante, um cenário foi comunicado: o participante é um cirurgião e necessita de identificar pontos de referência virtuais na anatomia de um paciente, artérias por exemplo, representados pelos alvos colocados à sua frente. Esta identificação, através da adição de marcas, permitirá inserir uma agulha mais tarde, evitando aqueles locais.

O investigador sentou-se ao lado do participante para monitorizar o teste e não de frente, numa tentativa de tranquilizar e apoiar o participante nas tarefas, indicando-lhe o que fazer em caso de dificuldades e incentivando a partilha das suas impressões.

5.1.3. Descrição dos testes

O participante coloca os óculos de realidade aumentada e é-lhe pedido que posicione a sonda ultrassónica no seu campo de visão, de forma a observar a representação virtual do seu *output*. De seguida, quando esta tarefa é concluída, é-lhe pedido que navegue entre os modos de interação até encontrar o *Modo Marcas*.

Uma vez no *Modo Marcas*, há uma pequena explicação acerca dos controlos e ações possíveis e é pedido ao participante para colocar 1 marca virtual em cada um dos alvos reais (2 no total) colocados à sua frente. Assim que esta tarefa é completada, é pedido ao participante para eliminar as marcas colocadas.

Por fim, os alvos reais são retirados do cenário e são colocados 2 alvos virtuais (esferas) que o utilizador deverá ver através dos óculos cerca de 35cm à sua frente. É então pedido ao participante que repita o procedimento do teste anterior: adicionar 1 marca em cada um dos alvos e removê-las de seguida.

5.1.4. Participantes

Os participantes no estudo constituem uma amostra de conveniência, tendo sido angariados no Departamento de Comunicação e Arte da Universidade de Aveiro. No total, eram 2 alunos da licenciatura em Novas Tecnologias da Comunicação e 2 alunos

do mestrado em Comunicação Multimédia, com idades compreendidas entre os 19 e os 23 anos.

O facto de a amostra incluir somente membros de uma área profissional diferente daquela para a qual o protótipo é destinado, justifica-se uma vez que não se pretendia aferir a eficácia do protótipo em termos médicos, mas sim em termos da sua facilidade de uso e aprendizagem.

O número reduzido de participantes permitiu agilizar as avaliações de carácter qualitativo, permitindo assim uma observação mais demorada, com enfoque na partilha de opiniões por parte do participante. Este número de participantes teve em conta a relação custo-benefício da avaliação de utilizadores, cujo valor ótimo se situa entre 3 a 5 utilizadores (Nielsen & Landauer, 1993). No entanto, era sabido que não seriam detetados 100% dos problemas de usabilidade, algo que não era um dos objetivos, visto que avaliações deste nível apenas estavam previstas para uma fase mais avançada da investigação, já depois de recolher *feedback* junto do utilizador final.

5.1.5. Recursos

Os testes foram conduzidos num *setup* preparado no laboratório do centro de investigação Digimedia (CIC.DIGITAL) da Universidade de Aveiro. O *setup* consistiu numa cadeira para o participante e uma mesa, colocada à sua frente, na qual foi colocado o transmissor do sistema de rastreio eletromagnético, responsável por gerar o campo magnético e criar uma zona ótima para testar o protótipo. Na mesa ao lado, estava o restante equipamento que suporta o protótipo e o investigador, com o papel de conduzir os testes e registar observações.

De forma geral, o protótipo consistia numa sonda ultrassónica USB (*Interson Corporation*), com um sensor eletromagnético e um *joystick* acoplados e um dispositivo *Optical See-Through – META 1 Developer Kit* – para a visualização, também com um sensor eletromagnético acoplado. Dos elementos do protótipo final apresentados no capítulo anterior, apenas a agulha foi excluída por não corresponder ao objetivo principal da avaliação.

Dois alvos (Figura 42) foram construídos, a partir de esferas com 1cm de diâmetro e tubos para as elevar, e colocados na mesa do participante. Na mesa ao lado, destinada à equipa de investigação, estava o controlador do sistema de rastreio eletromagnético e o computador responsável por gerar o output para os óculos de realidade aumentada.

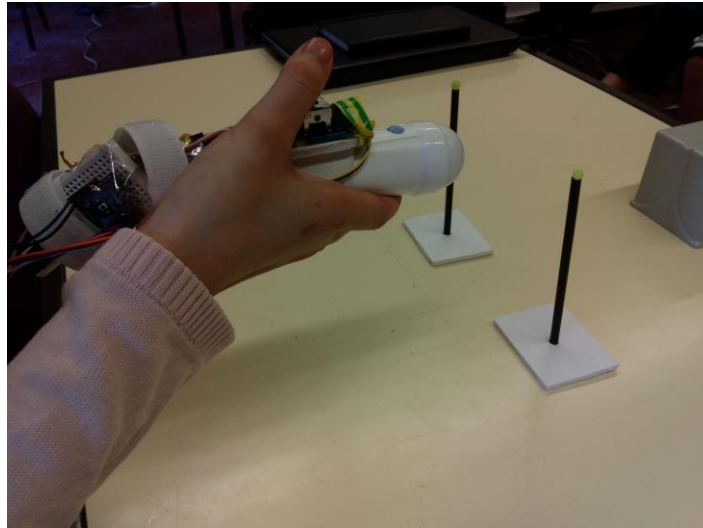


Figura 42 – Setup do teste laboratorial

5.1.6. Resultados

A maior parte dos problemas reportados são relacionados com fraquezas identificadas no dispositivo de visualização (HMD *Optical See-through: META 1 Dev. Kit*), nomeadamente: reduzido campo de visão (FOV), baixa resolução e desconforto físico causado. Em particular, o reduzido campo de visão gera frustração, sobretudo em utilizadores inexperientes (metade dos participantes experienciaram a tecnologia pela primeira vez). A falta de *feedback* visual leva a que exista uma perda da noção espacial relativamente à localização dos objetos virtuais, o que, geralmente, é acompanhado por um sentimento de desorientação e necessidade de constantemente explorar o espaço, movendo a cabeça, de forma a reencontrar a localização dos objetos virtuais na cena.

As observações relacionadas com problemas de interação indicam apenas problemas com o *joystick* sempre que é necessário utilizar o clique. Isto deve-se à inexistência de uma restrição física no botão, permitindo que, ao efetuar o clique, facilmente se mova o *joystick* para o lado por acidente, cancelando a ação pretendida. No entanto, quando os participantes se concentravam na tarefa e clicavam calmamente no botão, cientes das limitações, eram capazes de inserir e apagar marcas com facilidade.

Outra observação registada num dos testes é referente a cansaço provocado pelo constante segurar da sonda. Esta situação deve-se apenas à natureza do teste visto que o participante estava sentado numa cadeira, com o braço elevado a segurar a sonda no ar, enquanto num cenário real de uso, a sonda estaria pousada no corpo do paciente, reduzindo o esforço físico requerido.

Quanto aos resultados obtidos nos testes quantitativos, verificou-se uma eficácia de 100%, ou seja, todas as marcas adicionadas pelos participantes coincidiram com o alvo e foram removidas na primeira tentativa.

Ainda que seja a única informação visual que está constantemente fixa no campo de visão do utilizador, o *widget* informativo que indica qual o modo de interação atual passou despercebido a um dos participantes durante grande parte do seu teste, o que explica a sua dificuldade em compreender o sistema de navegação e os modos existentes.

5.1.7. Pertinência para a investigação

O *feedback* recolhido relativamente aos óculos não é novidade para a equipa, sendo já sabido que esta não seria a solução definitiva. Por um lado, o dispositivo utilizado é uma versão beta desenvolvida pela marca destinada a equipas de investigação e não aberta ao mercado, resultando por isso de várias limitações de natureza técnica e ergonómica com implicações negativas no desempenho. Por outro, há fatores técnicos relativos ao estado de maturação de uma tecnologia ainda não consolidada que não contribuem para uma experiência ótima, nomeadamente contraste, resolução e campo de visão.

Os erros detetados no sistema de interação não põe em causa a pertinência da solução, ainda que, tal como foi apresentada, necessite de alterações. No entanto, estas não foram realizadas a tempo da avaliação com o público-alvo por constrangimentos temporais. Algumas das possíveis soluções são reportadas no capítulo seguinte, na secção relativa a trabalho futuro.

Para a avaliação seguinte, com o público-alvo da tecnologia, foi tida em conta uma observação recolhida nesta avaliação referente à visibilidade do modo de interação atual. Uma vez que o *widget* informativo desenvolvido para o efeito facilmente passava despercebido, decidiu-se que de cada vez que o modo de navegação fosse alterado, surgiria na zona central do campo de visão do utilizador, um pictograma identificativo do modo de interação durante breves segundos. Simultaneamente, uma informação textual estaria sempre fixa numa das extremidades do campo de visão do utilizador.

5.2. Avaliação do protótipo funcional

Com a finalidade de avaliar o protótipo desenvolvido e recolher dados, a equipa dirigiu-se a um dos hospitais da Universidade de Oxford, para se reunir com um médico cirurgião, no dia 21 de setembro de 2016. Trata-se de um investigador na área da urologia e especialista em urologia geral e doença de pedra urinária, áreas de especialidade que vão de encontro ao procedimento para o qual se procura estudar a aplicação de realidade aumentada, a cirurgia de remoção de pedras nos rins. Este médico já colaborara com a investigação no passado, tendo dado *feedback* em relação a um protótipo preliminar do projeto.

5.2.1. Estrutura da avaliação

A avaliação consistiu em 3 momentos principais. Numa fase introdutória, foi feita uma contextualização do trabalho realizado desde o último encontro com o médico. Num

segundo momento, de exploração, foi dado algum tempo ao médico para interagir com o protótipo e, por fim, efetuou-se uma entrevista semiestruturada onde foram abordados temas de interesse para o seguimento da investigação.

1) Contextualização

Começou-se por comunicar ao cirurgião em que consistia o protótipo e quais as novidades desde a última avaliação, em concreto, sistema de *tracking* e sistema de interação. Foi explicada a arquitetura técnica na base do protótipo apresentado, sendo dada uma visão geral tanto dos componentes como do seu funcionamento, com particular foco no sistema de *tracking*, por ser o elemento menos familiar e mais complexo.

Com vista ao momento seguinte de exploração do protótipo, foi dada a conhecer a interface de utilizador, com uma explicação de como navegar entre os modos de interação e o que fazer em cada um deles, através de esquemas impressos da interface.

2) Exploração

Nesta fase, o médico explorou livremente o protótipo (Figura 43). Foi-lhe solicitado realizasse algumas tarefas como navegar entre os modos de interação, adicionar e remover *snapshots* e interagir com o modo marcas. Foram registadas algumas observações reportadas pelo médico.

Uma das carências identificadas no protótipo disse respeito aos dados do ultrassom, como a profundidade e a frequência de captação, não serem visíveis na interface de utilizador. De igual modo, foi mencionado que seria importante configurar esses dados em tempo real com o objetivo de melhorar a visualização e identificação de órgãos e estruturas anatómicas. Por exemplo, a necessidade de configurar a profundidade deve-se à diferença de estrutura física de cada paciente, cada um com uma quantidade de gordura variável e, portanto, uma distância aos órgãos também variável. Ainda relativamente ao ultrassom, outros dados serão importantes de modo a ajustar a qualidade da captura.

O sistema de *tracking* foi visto com o potencial de permitir observar uma representação virtual da agulha. Atualmente, de forma a que a agulha seja detetada com maior facilidade, o processo envolve adicionar-lhe um agente de contraste, o que não é uma solução ótima e completamente eficaz. Ao ser possível localizar a agulha no espaço, recorrendo ao sistema de rastreio eletromagnético, é possível criar uma representação tridimensional cuja qualidade figurativa não depende da técnica de imagiologia utilizada.

Em relação à ferramenta física de interação, esta foi valorizada tendo em conta a tarefa de colocação de marcas. Para além da pertinência de efetuar o clique diretamente com a mão que manipula a sonda, foi visto como positivo o facto de se poder ajustar a profundidade da marca e deste ajuste ser acompanhado por uma régua que informa acerca da sua localização e dimensão.

No entanto, a utilização dos óculos para a tarefa de visualização da captura de ultrassom e adição de marcas virtuais foi vista como prescindível, tendo sido indicada a preferência pelo uso de um monitor, tal como acontece atualmente neste tipo de procedimentos. Dada a dificuldade de interpretação, intervir cirurgicamente com recurso a ultrassom é uma tarefa só ao alcance de pessoas especializadas, sendo que poucos cirurgiões estão treinados para o fazer. Cirurgiões especialistas em ultrassom realizam a tarefa utilizando a sonda e a agulha em cada uma das mãos, obtendo *feedback* visual através de um monitor. A tridimensionalidade da anatomia interna do paciente é construída mentalmente, através de repetidos movimentos de arrasto da sonda pelo paciente, onde o cirurgião procura contornos e formas que lhe são familiares de forma a identificar os órgãos e a construir a imagem mental da sua localização no paciente. Uma das vantagens vista pela equipa com a introdução dos óculos, para além de permitir observar a captura de ultrassom *in loco* no corpo do paciente, era a de ser capaz de fornecer pistas de profundidade tridimensionais, nomeadamente a estereopsia (visão binocular) e o movimento garantido pelo *tracking* da cabeça. No entanto, ainda que pudessem melhorar a inserção da agulha através da marca virtual, estas pistas de profundidade não potenciam a interpretação do ultrassom. Assim, por um lado, médicos não especialistas em ultrassom não serão capazes de realizar o procedimento, enquanto médicos especialistas não verão necessidade de o fazer introduzindo os óculos no processo, uma vez que apenas acrescentará complexidade.



Figura 43 – Cirurgião a explorar o protótipo. Na sua mão direita segura a agulha e, na mão esquerda, a sonda de ultrassons com o respetivo módulo de interação acoplado

3) Entrevista semiestruturada

O médico foi entrevistado, tendo sido abordados três principais temas de interesse para a investigação. Relativamente ao protótipo avaliado, foram feitas questões sobre o sistema de *tracking* e sistema de interação, procurando aferir aspetos como o seu interesse para a cirurgia, pertinência das soluções desenvolvidas, adequabilidade à

dinâmica do bloco operatório e eventuais novas funcionalidades e requisitos a ter em conta. O último dos três temas a ser abordado foi referente ao processo de fusão, isto é, a combinação de modelos virtuais de órgãos e tecidos na anatomia real do paciente. Este é um procedimento encarado pela equipa como sendo de alta importância e aplicabilidade, tendo já motivado o recrutamento de um especialista em tecnologias de imagiologia médica. Antes de avançar para o seu desenvolvimento, procurou-se recolher a opinião do médico em relação a uma abordagem concetualizada pela equipa (descrita na secção 3.2).

Na tabela seguinte podem ser consultadas as questões colocadas e respetivas respostas obtidas, organizadas de acordo com o tema. Visto que foi necessário contextualizar algumas das perguntas, dois dos temas são ainda acompanhados de um texto introdutório que foi comunicado ao cirurgião.

Tabela 7 – Guião da entrevista semi-estruturada

TEMAS	QUESTÕES	RESPOSTAS
<p>SISTEMA DE TRACKING</p> <p>O sistema de <i>tracking</i> é composto por um transmissor, um controlador e 3 sensores (2 sensores modelo 800 e um modelo 55). Há alguns fatores a ser considerados, especialmente referentes a dimensões e fontes de distorção.</p> <p>Quanto a dimensões, o elemento mais crítico é o sensor modelo 55, adquirido especialmente para ser inserido na agulha que irá perfurar o paciente. Este tem uma espessura de 0.56mm de diâmetro.</p> <p>O transmissor, que funcionará como origem do sistema de coordenadas cartesiano, possui um alcance máximo de 660mm, o que significa que o paciente deverá estar circundado por este raio. Simultaneamente, o controlador deve ser</p>	<p>1) Onde e como integrar o equipamento no bloco operatório, dadas as limitações físicas, de distorção e alcance do rastreio? Qual a sua opinião?</p>	<p>A mesa de operações possui metal na sua constituição de forma a oferecer um suporte sólido, o que poderá causar distorções no rastreio. No entanto, não consigo precisar quais os materiais utilizados, poderão até ser compatíveis com o sistema.</p> <p>Quanto à colocação do sistema poderia passar pela utilização de uma unidade móvel que pudesse ser colocada ao lado da cama de operações. De forma a garantir a distância necessária entre o controlador e o transmissor, estes poderiam ficar distanciados em altura, através de prateleiras.</p>
	<p>2) Quanto à latência, considera que os sensores são responsivos o suficiente? Oferecem um bom tempo de resposta?</p>	<p>Sensores oferecem um tempo de resposta bastante satisfatório. Não verifiquei qualquer tipo de latência.</p>
	<p>3) Vê a necessidade de georreferenciar outras ferramentas?</p>	<p>Não há necessidade.</p>
	<p>4) O sensor de rastreio da</p>	<p>Não dá para inserir no interior</p>

TEMAS	QUESTÕES	RESPOSTAS
<p>colocado a uma distância de pelo menos 610mm do transmissor para evitar distorções no campo magnético.</p> <p>Quanto a distorções no rastreio, as mais difíceis de controlar estarão relacionadas com a existência de certos metais perto da zona de <i>tracking</i>, sendo aconselhável a zona de rastreio estar livre destes materiais. A existência de metais ferrosos, geralmente utilizados na construção de edifícios poderá gerar interferências no campo magnético, resultando num rastreio deficiente.</p>	<p>agulha possui uma espessura (diâmetro) adequada para a inserção na agulha habitualmente utilizada no procedimento em vista?</p>	<p>da agulha <i>standard</i> uma vez que esta não é oca. A única possibilidade seria inserir dentro do tubo juntamente com a agulha (ver caracterização da técnica de Técnica de Seldinger na secção 3.2.1), visto que é compatível com a espessura do sensor. No entanto, já que a agulha é esterilizada e descartável, não será apropriado nem rentável fazê-lo.</p>
	<p>5) No caso de não ter um diâmetro adequado, outra alternativa seria rastrear apenas o manípulo da agulha e calcular a posição da sua extremidade, de acordo com o comprimento conhecido. Considera uma solução viável? A agulha é rígida o suficiente para permitir isso ou é flexível?</p>	<p>A agulha é ligeiramente flexível, dobrando-se ligeiramente ao perfurar tecidos. Assim, a solução de rastrear o manípulo pode não ser completamente adequada.</p>
<p>SISTEMA DE INTERAÇÃO</p>	<p>6) Em relação ao <i>Modo Marcas</i>, é útil para a tarefa a realizar?</p>	<p>Sim, bastante útil. Este é o principal modo de interação necessário ao planeamento da intervenção e o <i>joystick</i> adequa-se bem à tarefa. Para controlar a profundidade das marcas, a régua fornece um importante <i>feedback</i> visual.</p>
	<p>7) É fácil controlar a edição de marcas? Tanto a adição como a remoção?</p>	<p>Sim, penso que o <i>joystick</i> se adequa. Não tive dificuldades.</p>
	<p>8) Em relação ao estilo da marca, o seu aspeto visual é adequado? Que tipo de sólido geométrico seria o ideal?</p>	<p>Sim, nada a apontar. Não considero relevante, qualquer marca serve.</p>
	<p>9) As marcas precisam de ser maiores ou menores?</p>	<p>O tamanho atual parece aceitável, mas depende da profundidade que o ultrassom</p>

TEMAS	QUESTÕES	RESPOSTAS
		estiver a registar. Se a régua indicasse valores reais conseguiria responder a essa pergunta.
	10) As cores são adequadas à tarefa?	Sim, nada a apontar.
	11) Em média, quantas marcas seriam necessárias?	Apenas uma marca será necessária, se registada num local ótimo.
	12) Em relação ao modo <i>Snapshot</i> , considera-o útil?	Sim, é um procedimento <i>standard</i> . Aqui tem a particularidade dos <i>snapshots</i> ficarem no seu local de captura do mundo físico.
	<p><i>Se respondeu de afirmativamente à questão anterior.</i></p> <p>13) A forma como o modo <i>snapshot</i> está desenvolvido é suficiente para suportar a tarefa? Alteraria alguma coisa como a opacidade das fatias gravadas?</p>	Sim, talvez na eventualidade de se adicionarem várias fatias, fosse útil não serem completamente opacas.
	14) Há outras funcionalidades que considera importantes e gostaria de ver incluídas no sistema de interação?	Não.
<p>FUSÃO DE IMAGENS MULTIMODAIS</p> <p>Uma possibilidade para um futuro processo de fusão de imagens multimodais, poderá consistir numa identificação, por parte do médico, de pontos de referência (<i>landmarks</i>) em modelos 3D, num momento prévio à operação. De modo a conseguir uma correspondência, esses mesmos pontos de referência</p>	15) Baseado na concetualização descrita, considera que o cirurgião será capaz de identificar os pontos de referência (<i>landmarks</i>) com recurso a ultrassom?	Depende do médico, visto que é necessária uma elevada proficiência para interpretar o ultrassom. No caso de ser efetuado por um cirurgião especialista em ultrassom, talvez seja possível fazer a correspondência. No entanto, a respiração do paciente faz com que os órgãos não sejam completamente estáticos, o que é um entrave para a solução apresentada.

TEMAS	QUESTÕES	RESPOSTAS
voltariam a ser identificados pelo médico, desta vez no início do procedimento e diretamente no tecido do paciente. Este procedimento permite um algoritmo mais robusto por se basear no conhecimento anatómico do cirurgião, ao mesmo tempo que é de mais fácil desenvolvimento por não requerer complexos algoritmos de visão por computador.		

5.2.2. Discussão e resultados

No geral, a receção da tecnologia foi positiva, tanto do ponto de vista da eficácia do sistema de *tracking* como da pertinência do sistema de interação implementado.

O tempo de resposta dos sensores foi encarado como satisfatório. No entanto, foi identificada uma dificuldade no que se refere à integração do sensor na agulha, visto que esta é esterilizada e descartável, dificultando a reutilização do sensor. A acrescentar a este facto, a agulha que é utilizada de forma regular nestes procedimentos não é oca, tornando mais difícil a inclusão do sensor. Uma solução, proposta pela equipa, consistia no rastreio apenas do manípulo, no caso de a agulha ser rígida. Contudo, o facto da agulha se dobrar ligeiramente ao perfurar tecidos poderá invalidar esta estratégia.

As funcionalidades desenvolvidas foram do agrado do cirurgião que demonstrou particular interesse no modo marcas, tanto ao nível das ferramentas de interação físicas como virtuais. A utilização do *joystick* e ajuste da profundidade das marcas foi visto com potencial para ser aplicado à técnica de imagiologia de ultrassom, independentemente de o método de visualização ser através de óculos de RA ou monitor. Uma informação obtida em relação às marcas, de que a equipa não tinha conhecimento, é o facto de uma única marca virtual ser suficiente para guiar a inserção da agulha.

A utilização dos óculos foi vista com potencial para o eventual processo de fusão, pois aí, as pistas tridimensionais proporcionadas pelo sistema de visualização seriam úteis para compreender relações espaciais entre os órgãos. Um procedimento deste género, onde órgãos tridimensionais adquiridos previamente à operação sejam registados no paciente, poderá abrir este tipo de procedimento pouco invasivo a qualquer cirurgião, independentemente do seu grau de experiência ou especialização.

No entanto, o cirurgião não viu a necessidade de um procedimento baseado apenas em ultrassons ser realizado recorrendo ao sistema de visualização apresentado. Sendo assim, o próximo passo poderá consistir no desenvolvimento de um sistema de realidade aumentada baseado em ultrassons, cuja visualização seja feita através de um monitor, tal como já é efetuado por médicos cirurgiões especialistas nesta técnica. O principal contributo desta investigação a introduzir no processo seria o sistema de interação e o rastreio da agulha, com o objetivo de ser melhor detetada na captura ultrassónica.

Quanto à estratégia comunicada ao cirurgião, relativa à forma de abordar o processo de fusão, esta terá de ser melhor estudada pela equipa, visto que, para já, possui como principal limitação o facto de a respiração do paciente modificar a localização espacial dos órgãos.

6. CONCLUSÃO

Os objetivos delineados no desenho da investigação (secção 2.3.2.) foram cumpridos com sucesso, tendo resultado num protótipo final capaz de obter *feedback* junto de um elemento do público-alvo.

A fase exploratória foi útil para conhecer os requisitos e necessidades do projeto, sobretudo identificados na dissertação de Marques (2015), trabalho de investigação que antecedeu esta dissertação. Neste sentido, para além de se tomar conhecimento do estudo etnográfico documentado na dissertação, foi importante conhecer os aspetos identificados para trabalho futuro. Esta fase foi também fundamental para delinear a abrangência da investigação, de acordo com o que fora questionado na pergunta de investigação. Assim, ficou decidido que a implementação da tecnologia iria recair no desenvolvimento de uma interface de utilizador e na implementação de novos sensores de suporte à interface, com o objetivo de registar os aumentos digitais no espaço físico.

Na fase de design, as funcionalidades foram projetadas com base no desenvolvimento de protótipos de baixa fidelidade. Este recurso à prototipagem permitiu comunicar e discutir soluções entre a equipa de uma forma mais explícita. Ainda que os protótipos tenham sido desenvolvidos na plataforma final de desenvolvimento, assemelhando-se a protótipos de alta fidelidade, estes não possuíam a robustez e atenção ao detalhe presentes fase de desenvolvimento.

Na fase de implementação da tecnologia, a principal dificuldade prendeu-se com a integração do sistema de rastreio eletromagnético na plataforma de desenvolvimento. Para isso, foi necessário desenvolver um *plugin* que fizesse a comunicação entre o Unity e a API do sistema, tendo surgido dificuldades em lidar com a linguagem de programação através da qual a API foi desenvolvida. O facto de a biblioteca estar relativamente bem documentada e possuir exemplos facilitou a criação de métodos genéricos de recolha de dados para utilizar no Unity. No entanto, o sistema apresenta limitações do ponto de vista de prevenção e comunicação de erros, dada a complexidade requerida e o pouco tempo de desenvolvimento à disposição. Outra dificuldade confrontada na fase de implementação, este com menos importância para o estudo, relacionou-se com o registo, no seguimento das dificuldades de calibração reportadas na secção 4.3.

Por último, a fase de avaliação foi proveitosa para recolher *feedback* quanto à pertinência das soluções desenvolvidas e aos desafios para trabalho futuro, discussão que fará parte das secções seguintes.

6.1. Análise Crítica

Elaborou-se um protótipo em realidade aumentada, direcionado ao procedimento de remoção de pedras nos rins, que permite observar para além da anatomia visível do

paciente com recurso a ultrassom. Como consequência, ao estender a visão do cirurgião, o ultrassom permite identificar zonas estratégicas da anatomia interna e fixar marcas virtuais de auxílio à inserção de uma agulha. Ainda que a qualidade figurativa da captura ultrassónica não permita uma identificação trivial de órgãos e tecidos do paciente, facto reforçado na avaliação com o utilizador, esta é uma abordagem que permite estudar alguns dos desafios e oportunidades inerentes a qualquer sistema de realidade aumentada em contexto cirúrgico, sobretudo de um ponto de vista técnico do rastreio de instrumentos e do design de interação. Simultaneamente, ao desenvolver protótipos funcionais e expô-los a elementos do público-alvo, procura-se ainda aferir o grau de aceitação da tecnologia e a sua aplicabilidade.

Algum do conhecimento obtido durante a investigação empírica com o objetivo de responder à pergunta de investigação é sistematizado na Tabela 8.

Tabela 8 - Pergunta de investigação e resultados

<i>Quais os desafios e oportunidades que o paradigma da realidade aumentada, baseada num sistema de imagiologia de ultrassons, suscita no procedimento cirúrgico a nível técnico, conceptual e do design de interação?</i>	
Desafios Técnicos	<ul style="list-style-type: none">- Complexidade do registo- Estado de maturação da tecnologia (sistema de visualização e sistema de <i>tracking</i>)- Sensoriamento da agulha
Desafios Conceptuais	<ul style="list-style-type: none">- Complexidade de incluir sistema no <i>workflow</i> do bloco operatório- Dificuldade em interpretar ultrassom
Desafios do Design de Interação	<ul style="list-style-type: none">- <i>Input</i> de dados

No que se refere a desafios técnicos, existiu a dificuldade de obter um registo eficaz dos elementos virtuais no mundo físico. Essa dificuldade verificou-se sobretudo na adequação da escala virtual à escala real, uma vez que o sistema de *tracking* era responsivo o suficiente para obter-se em tempo real a localização exata dos sensores. Noutras aplicações de realidade aumentada, com recurso a fiduciais por exemplo, este desafio não seria tão significativo. Contudo, o sistema de *tracking* utilizado no protótipo final, baseado em sensores eletromagnéticos, é o único que se adequa aos requisitos do projeto por permitir um rastreio ininterrupto, independente do grau de visibilidade do sensor.

O estado de maturação da tecnologia utilizada no sistema de visualização e no sistema de *tracking* foi outro dos desafios identificados. Por um lado, os sistemas de visualização HMD não possuem ainda qualidades necessárias para conquistar a confiança das

peçoas. A acrescentar ao facto de as soluções comerciais não permitirem focar a diferentes distâncias, condicionando assim a perceção oculomotora de profundidade dos elementos virtuais, existem ainda limitações quanto às dimensões do campo de visão e contraste dos elementos visuais. Por outro lado, qualquer sistema de *tracking* eletromagnético está ainda sujeito a distorções no campo magnético que comprometem a exatidão do rastreio. Dessa forma, ainda que apresentem resultados positivos em laboratório, estão sujeitos a resultados instáveis no bloco operatório.

Em termos de desafios concetuais, há dificuldades na adequação de um sistema desta complexidade ao bloco operatório no sentido de permitir não só uma fácil configuração e compreensão do *setup*, como do ponto de vista da redução das possíveis fontes de distorção do sistema de *tracking*.

Há ainda dificuldades concetuais, relacionadas com a utilização de ultrassom enquanto única modalidade imagiológica. Dada a fraca qualidade figurativa que esta técnica apresenta, o procedimento é apenas possível para cirurgiões especialistas em ultrassom.

Por fim, em termos de design de interação, o *input* de dados é o fator mais crítico, sobretudo num sistema cujo sistema de visualização seja um HMD. Uma solução, num sistema deste género, é a criação de um modelo de interação se aproxime do modelo enunciado nas TUI, no qual os controlos de informação correspondem igualmente às representações. Neste sentido, a interação seria valorizada através de gestos ou controladores personalizados. No entanto, dadas as especificidades de uma cirurgia, no qual o cirurgião tem as mãos ocupadas com utensílios, existem desafios complexos. No caso dos gestos, são de difícil aplicabilidade visto o cirurgião possuir as mãos ocupadas. Já no caso de controladores adaptados ao procedimento, para além de não serem uma solução universal, estão sempre sujeitos a exigentes normas de certificação para uso médico.

As seguintes questões secundárias foram também respondidas ao longo da investigação.

- a. Dadas as dificuldades inerentes a uma cirurgia, qual a forma de interagir com um sistema de realidade aumentada, com o objetivo de introduzir informação em tempo real?

No caso do protótipo desenvolvido, é proposto um sistema de interação cuja ferramenta física de interação é um *joystick*. A principal vantagem da utilização deste tipo de *input* é a sua fácil adaptação à sonda ultrassónica. Uma vez que não é necessário desviar a atenção entre a manipulação da sonda e a introdução de comandos, é possível realizar tarefas com recurso a uma só mão e no mesmo espaço físico da captura. Outras ferramentas de interação previamente prototipadas (Marques, 2015) e que tinham em conta esta necessidade, *joystick* incluíam o uso de pedais e de comandos de voz. Enquanto que é impraticável utilizar comandos de voz, dado o ruído de fundo verificado em qualquer cirurgia, fruto da comunicação entre todos os profissionais presentes no

bloco operatório, os pedais, por si só, não oferecem os comandos necessários às interações requeridas, visto que os únicos que são certificados para utilização no bloco operatório fornecem apenas um *input* digital, booleano. Outra vantagem do *joystick* é esta ser uma solução que não depende do uso de um HMD, podendo ser aplicada em procedimentos que recorrem à visualização de ultrassom através de um monitor.

- b. Que características deverão ter os elementos visuais de uma aplicação de realidade aumentada em cirurgia para questões de acuidade e perceção visual?

No seguimento desta questão, foi elaborado um teste laboratorial que pretendia averiguar se a introdução de volume na fonte tipográfica teria impacto no julgamento da sua distância. A principal conclusão prende-se com a confirmação de que diferentes características tipográficas afetam o julgamento de distância. Os resultados indicam que uma melhor eficácia no julgamento de distância é obtida com fontes tipográficas bidimensionais, não havendo, por isso, a necessidade de lhe adicionar qualquer volume tipográfico.

Ainda no seguimento desta questão, verificou-se que o uso de cores escuras não beneficiava a sua identificação. Nesse sentido, uma borda branca foi acrescentada à captura do ultrassom. Nos restantes elementos, optou-se pela escolha de cores com elevada saturação por se verificar que contribuía para a sua perceção.

6.2. Trabalho Futuro

No decorrer da investigação empírica, alguns tópicos foram identificados como necessidades a considerar no futuro. Alguns deles ficaram por executar devido à contingência temporal de uma dissertação de mestrado e complexidade técnica da sua implementação, enquanto outros foram identificados apenas na fase de avaliação. De forma a facilitar a sua compreensão, as necessidades para trabalho futuro foram divididas nas seguintes categorias:

- **Processo de fusão**

Tal como identificado no início da investigação, sendo reforçado na avaliação do protótipo final, o processo de registar imagens multimodais no paciente é uma das principais necessidades deste projeto. Tendo em consideração que um sistema baseado em ultrassons está limitado a um pequeno número de cirurgiões especialistas nesta técnica imagiológica, a solução desenvolvida não constitui um avanço considerável no sentido de tornar o procedimento acessível qualquer cirurgião.

Um sistema em realidade aumentada que permita observar representações realistas de órgãos e tecidos do paciente, para além da superfície anatómica visível, constituiria uma grande mais valia para o procedimento cirúrgico, diminuindo a exigência requerida. Enquanto que para já o enfoque do projeto é na remoção cirúrgica de pedras nos rins, através da identificação de marcas virtuais que permitam auxiliar a inserção de

uma agulha, o processo de fusão permitiria alargar o estudo a outras áreas de intervenção tal como referido pelo médico durante a entrevista.

- **Sistema de visualização**

De acordo com o *feedback* recolhido na avaliação com o cirurgião, o sistema de visualização utilizado, baseado num HMD *Optical See-through*, não vem acrescentar nada ao procedimento cirúrgico baseado em ultrassons. Esta prática é feita hoje em dia com recurso a monitores, pelo que a introdução de um HMD não será vista pelos cirurgiões como uma solução a adotar. No entanto, tanto o *tracking* da agulha como a adição de marcas virtuais através de um *joystick* acoplado à sonda foram bem-recebidas, pelo que poderão ser incluídas num sistema de realidade aumentada baseado em monitor.

No caso da implementação do processo de fusão, o cirurgião admitiu que os óculos constituiriam a solução adequada, ainda que o modelo utilizado no protótipo não corresponda ao desejado. Esta última consideração vai de encontro ao que foi reportado no teste do sistema de interação com utilizadores, no qual foi identificado o desconforto causado pelo dispositivo, bem como fragilidades do ponto de vista gráfico e perceptual.

- **Experiência de utilizador**

A concetualização de uma unidade móvel que comporte todos os elementos técnicos do projeto é uma necessidade a ter em conta. Isto poderá reduzir a complexidade da introdução do sistema no bloco operatório, tendo em conta a ligação de inúmeros cabos e constrangimentos de ordem física relativos à disposição do equipamento no espaço. Um dos aspetos que pode também ser incluído na unidade móvel é um ecrã tátil que funcione como segundo monitor, tanto para permitir que toda a equipa obtenha a informação visual que o cirurgião recebe nos óculos, como para permitir configurações do sistema.

Num estado mais avançado de desenvolvimento, será necessário realizar uma avaliação da experiência de utilização do sistema. Essa avaliação deverá ocorrer no ambiente natural de interação e incluir todos os envolvidos no procedimento cirúrgico, de forma a aferir aspetos menos tangíveis e, por isso, mais difíceis de avaliar que incluem sobretudo a introdução do sistema no *workflow* do bloco operatório.

- **Funcionalidades e sistema de interação**

No teste do sistema de interação com utilizadores (secção 5.1.), uma fragilidade foi identificada na ferramenta física de interação. Por vezes, ao pressionar o botão do *joystick*, os utilizadores moviam o *joystick* para o lado inadvertidamente, produzindo um comportamento diferente do esperado. Como solução, deverão ser adicionados botões adicionais que façam com que o clique para adicionar a marca seja independente da manipulação axial do *joystick*.

Quanto à interface gráfica, é importante concetualizar e implementar um menu que permita configurar aspetos do ultrassom e das marcas em tempo real. O modelo de navegação concetualizado, ainda que possua grande parte das informações a incluir numa aplicação final, foi concetualizado tendo apenas em conta a configuração desses aspetos num momento único e prévio à utilização dos modos de interação. Tendo em conta o sistema de interação proposto, um modo de configuração poderá ser acrescentado em paralelo aos modos de interação existentes, tal como também será viável a introdução de um menu vertical no Modo Livre, visto que esse modo possui o *input* vertical e o botão do *joystick* sem nenhuma funcionalidade.

- **Rastreo da agulha**

De acordo com o *feedback* recolhido na avaliação com o cirurgião, a introdução do sensor na agulha necessita de atenção especial. Por um lado, a agulha utilizada com frequentemente nestes procedimentos (Técnica de Seldinger) não é oca, impossibilitando a inserção do sensor no seu interior. Por outro lado, a agulha é esterilizada e descartável o que implica preocupações acrescidas.

Do ponto de vista da esterilização, uma prática comum é o revestimento com plásticos. Este revestimento poderia ser feito ao sensor sem qualquer tipo de constrangimento para o rastreo. No entanto, a maior dificuldade é mesmo a afixação do sensor à agulha, um entrave que poderia ser ultrapassado com a integração de agulhas perfuradas no procedimento.

BIBLIOGRAFIA

- Ashton, K. (2009). *That 'Internet of Things' Thing - RFID Journal*. Rfidjournal.com. Retirado em Dezembro 28, 2015, de <http://bit.ly/1bt4GBP>
- Athos. (2015). Athos - Wearable Technology for Fitness. Retrieved January 22, 2016, from <https://www.liveathos.com/>
- Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6, 355–385. <http://doi.org/10.1.1.30.4999>
- Bimber, O. (2007). Projector-Based Augmentation. In *Emerging Technologies of Augmented Reality* (pp. 64–67). IDEA GROUP PUBLISHING.
- Bimber, O., & Raskar, R. (2005). *Spatial Augmented Reality Merging Real and Virtual Worlds*. Scientist (Vol. 6). <http://doi.org/10.1260/147807708784640126>
- Bowman, D. A. (2012). 3D User Interfaces. In *The Encyclopedia of Human-computer Interaction* (2nd ed.). Interaction Design Foundation.
- Chang, W., & Tan, Q. (2010). Augmented Reality system design and scenario study for location-based adaptive mobile learning. *Proceedings - 2010 13th IEEE International Conference on Computational Science and Engineering, CSE 2010*, 20–27. <http://doi.org/10.1109/CSE.2010.66>
- Dam, A. Van. (1997). Post-WIMP User Interfaces. *Communications of the ACM*, 40(2), 63–67.
- Dourish, P. (1999). Embodied Interaction: Exploring the Foundations of a New Approach to HCI. *Work*, 1–16. Retrieved from <http://www.dourish.com/embodied/embodied99.pdf>
- Drascic, D., & Milgram, P. (1996). Perceptual Issues in Augmented Reality. In *SPIE* (Vol. 2653, pp. 123–134).
- Drouin, S., Kersten-Oertel, M. A., Chen, S. J.-S., & Collins, L. (2012). A Realistic Test and Development Environment for Mixed Reality in Neurosurgery. In C. A. Linte, D. R. Holmes III, J. T. Moore, & E. C. S. Chen (Eds.), *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* (pp. 13–29). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. <http://doi.org/10.1007/978-3-642-32630-1>
- Fitzmaurice, G. W. (1996). *Graspable user interfaces*. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Graspable+user+interfaces#0>
- Fitzmaurice, G. W., Ishii, H., & Buxton, W. a. S. (1995). Bricks: laying the foundations for graspable user interfaces. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 442–449. <http://doi.org/10.1145/223904.223964>
- Franz, A. M., Haidegger, T., Birkfellner, W., & Maier-Hein, L. (2014). Electromagnetic Tracking in Medicine — A Review of Technology, Validation, and Applications. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 33(8), 1702–1725. <http://doi.org/10.1109/TMI.2014.2321777>
- Fritz, F., Susperregui, a, & Linaza, M. (2005). Enhancing cultural tourism experiences with augmented reality technologies. *The 6th International Symposium on Virtual Reality Archaeology and Cultural Heritage VAST*, 20–21. Retrieved from <http://public-repository.epoch-net.org/publications/VAST2005/shortpapers/short2005.pdf>
- Fuchs, H., Livingston, M. a, Raskar, R., Colucci, D., State, A., Crawford, J. R., ... Meyer, A. a. (1998). Augmented Reality Visualization for Laparoscopic Surgery. *Proceedings of the First International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention*, 934–943. <http://doi.org/10.1007/BFb0056282>

- Garrett, J. J. (2011). Meet the elements. In *The elements of user experience* (1st ed., pp. 21–36). Berkeley, CA: New Riders.
- Hassenzahl, M. (2015). User Experience and Experience Design. In M. Soegaard & R. F. Dam (Eds.), *The Encyclopedia of Human-computer Interaction* (2nd ed.). Interaction Design Foundation.
- Hata, N., Dohi, T., Iseki, H., & Takamura, K. (1997). Development of a Frameless and Armless Stereotactic Neuronavigation System with Ultrasonographic Registration. *Neurosurgery*, *41*(3), 608–614.
- Ishii, H. (2009). Tangible User Interfaces. In A. Sears & J. A. Jacko (Eds.), *Human-Computer Interaction: Design Issues, Solutions, and Applications* (pp. 141–159). CRC Press Taylor & Francis Group.
- Ishii, H., & Ullmer, B. (1997). Tangible bits. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems CHI 97*, *39*, 234–241. <http://doi.org/10.1145/258549.258715>
- ITEAD Wiki. (2014). Iteaduno Nano. Retrieved June 16, 2016, from https://www.itead.cc/wiki/Iteaduno_Nano
- Johns Hopkins Medicine. (2016). Minimally Invasive and Robotic Surgery. Retrieved January 11, 2016, from <http://bit.ly/1JcSoEh>
- Jolesz, F. A. (2014). *Intraoperative Imaging and Image-Guided Therapy*. New York: Springer Science & Business Media. <http://doi.org/10.1007/978-1-4614-7657-3>
- Kersten-Oertel, M., Jannin, P., & Collins, D. L. (2013). The state of the art of visualization in mixed reality image guided surgery. *Comput Med Imaging Graph*, *37*(2), 98–112. <http://doi.org/10.1016/j.compmedimag.2013.01.009>
- Kersten-Oertel, M., Jannin, P., & Collins, D. L. (2016). Augmented Reality for Image-guided Surgery. In W. Barfield (Ed.), *Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality* (2nd ed., pp. 519–543). New York: CRC Press Taylor & Francis Group. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:augmented+reality+for+music#7>
- Kiyokawa, K. (2007). An Introduction to Head Mounted Displays for Augmented Reality. In *Emerging Technologies of Augmented Reality* (pp. 43–66). IDEA GROUP PUBLISHING.
- Klein, J., Friman, O., Hadwiger, M., Preim, B., Ritter, F., Vilanova, A., ... Bartz, D. (2009). Visual computing for medical diagnosis and treatment. *Computers and Graphics*, *33*(4), 554–565. <http://doi.org/10.1016/j.cag.2009.04.006>
- Kreylos, O. (2015). Oliver Kreylos' Research and Development Homepage - Augmented Reality Sandbox.
- Lamata, P., Ali, W., Cano, A., Cornella, J., Declerck, J., Elle, O. J., ... Gómez, E. J. (2010). Augmented reality for minimally invasive surgery: overview and some recent advances. In S. Maad (Ed.), *Augmented Reality* (pp. 73–98). INTECH. <http://doi.org/10.5772/7128>
- Lévy, P. (1996). *O que é o virtual?* (34th ed.). São Paulo: Editora 34. Retrieved from https://books.google.pt/books?hl=pt-PT&lr=&id=leNw_sOADVEC&oi=fnd&pg=PA11&dq=no+t%C3%ADtulo+%22O+que+%C3%A9+o+virtual%22+autor:L%C3%A9vy&ots=0BBdBfu17O&sig=nBbPchdixBVR5rO3MgNYWkQi3g&redir_esc=y#v=onepage&q=no+t%C3%ADtulo+%22O+que+%C3%A9+o+vi
- Makary, M. A. (2015). Examining the Use of Minimally Invasive Surgery. Retrieved May 20, 2012, from <http://bit.ly/1TlbJgF>
- Mann, S. (1998). Humanistic Intelligence : `WearComp` as a new framework and application for intelligent signal processing. In *Proceedings of IEEE* (Vol. 86, pp. 2123–2151).

- Marques, S. (2015). *Sistema de Realidade Aumentada no procedimento cirúrgico de remoção de pedras nos rins*. Universidade de Aveiro.
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., & Kishino, F. (1994). Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *Systems Research, 2351*(Telemanipulator and Telepresence Technologies), 282–292. <http://doi.org/10.1.1.83.6861>
- Nielsen, J., & Landauer, T. K. (1993). A Mathematical Model of the Finding of Usability Problems. In *Interchi'93* (pp. 206–213). ACM. <http://doi.org/10.1145/169059.169166>
- Norman, D. (2010). Natural interfaces are not natural. *Interactions, 6*(10).
- Norman, D. (2013). *The Design of Everyday Things* (Revised an). New York: Basic Books.
- Oertel-Kersten, M., Gerard, I., Drouin, S., Mok, K., Sirhan, D., Sinclair, D. S., & Collins, D. L. (2015). Augmented reality in neurovascular surgery : feasibility and first uses in the operating room. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*. <http://doi.org/10.1007/s11548-015-1163-8>
- Perrin, D. P., Vasilyev, N. V., Novotny, P., Stoll, J., Howe, R. D., Dupont, P. E., ... del Nido, P. J. (2009). Image Guided Surgical Interventions. *Current Problems in Surgery, 46*(9), 730–766. <http://doi.org/10.1067/j.cpsurg.2009.04.001>
- Peters, T. M. (2006). Image-guidance for surgical procedures. *Physics in Medicine and Biology, 51*(14), 505–540. <http://doi.org/10.1088/0031-9155/51/14/R01>
- Phidgets Inc. (2012). User Guide. Retrieved June 13, 2016, from http://www.phidgets.com/docs/1113_User_Guide
- Preece, J., Rogers, Y., & Sharp, H. (2002). *Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction*. Design (Vol. 18). John Wiley & Sons, Inc. [http://doi.org/10.1016/S0010-4485\(86\)80021-5](http://doi.org/10.1016/S0010-4485(86)80021-5)
- Proffitt, D. R. (2006). Distance Perception. *Current Directions in Psychological Science, 15*(3), 131–135.
- Reiss, A., & Amft, O. (2016). Design Challenges of Real Wearable Computers. In W. Barfield (Ed.), *Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality* (2nd ed., pp. 584–615). Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Ritter, F. E., Baxter, G. D., & Churchill, E. F. (2014). User-Centered Systems Design: A Brief History. In *Foundations for Designing User-Centered Systems* (pp. 33–54). London: Springer-Verlag. <http://doi.org/10.1007/978-1-4471-5134-0>
- Robertson, C. M., Coelho, E. M., MacIntyre, B., & Julier, S. (2007). Developing AR Systems in the Presence of Spatial Uncertainty. In *Emerging Technologies of Augmented Reality* (pp. 25–27). IDEA GROUP PUBLISHING.
- Rolland, J. P., & Fuchs, H. (2000). Optical Versus Video See-Through Head-Mounted Displays in Medical Visualization. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 9*(3), 287–309. <http://doi.org/10.1162/105474600566808>
- Saffer, D. (2008). Introducing Interactive Gestures. In M. Treseler (Ed.), *Designing Gestural Interfaces* (1st ed., pp. 1–30). Canada: O'Reilly Media.
- Schilit, B., Adams, N., & Want, R. (1994). Context-aware computing applications. *First International Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*. <http://doi.org/10.1109/MCSA.1994.512740>
- Scott, J. (2013). DEC VT100 terminal at the Living Computer Museum. Retrieved from <http://bit.ly/1S7a2N3>
- Sekuler, R., & Blake, R. (1994). Depth Perception. In J. Vaicunas & J. Akers (Eds.), *Perception* (3rd ed.,

- pp. 141–179). Lisbon: McGraw-Hill Internacional Editions.
- Shaer, O., & Hoernecker, E. (2009). *Tangible User Interfaces: Past, Present, and Future Directions. Foundations and Trends in Human-Computer Interaction* (Vol. 3). <http://doi.org/10.1561/11000000026>
- Shuhaiber, J. H. (2004). Augmented reality in surgery. *Arch Surg*, 139(2), 170–174. <http://doi.org/10.1001/archsurg.139.2.170>
- Starner, T. (2016). Wearable Computing: Meeting the Challenge. In W. Barfield (Ed.), *Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality* (2nd ed., pp. 13–30). Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Sutherland, I. E. (1968). A Head-Mounted Three Dimensional Display. *Proceedings of the AFIPS Fall Joint Computer Conference*.
- Ullmer, B., & Ishii, H. (2001). Emerging frameworks for tangible user interfaces. *IBM Systems Journal*, 39(3.4), 915–931. <http://doi.org/10.1147/sj.393.0915>
- Underkoffler, J., & Ishii, H. (1999). Urp: A luminous-tangible workbench for urban planning and design. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems: The CHI Is the Limit*, 386–393. <http://doi.org/http://doi.acm.org/10.1145/302979.303114>
- Vairinhos, M., Almeida, S., & Dias, L. N. (2016). Typographic Features on Distance Estimation with Head-Mounted Displays. In *AltMM '16 Proceedings of the 1st International Workshop on Multimedia Alternate Realities* (pp. 15–20). Amsterdam, Netherlands: ACM New York, NY, USA. <http://doi.org/10.1145/2983298.2983300>
- Vairinhos, M., Dias, L. N., & Almeida, S. M. (2015). 6.º Encontro de Tipografia: Livro de Resumos. (P. Amado, V. Quelhas, & J. Pereira, Eds.) (1ª). Aveiro: Departamento de Comunicação e Arte da Universidade de Aveiro. Retrieved from <http://6et.web.ua.pt/>
- Wallach, H., & O'Connell, D. N. (1953). The kinetic depth effect. *Journal of Experimental Psychology*, 45(4), 205–217. <http://doi.org/10.1037/h0056880>
- Wellner, P., Mackay, W., & Gold, R. (1993). Computer-Augmented Environments: Back to the Real World. *Communications of the ACM*, 36(7), 24–26. <http://doi.org/10.1145/159544.159555>
- Williams, D. (2007). A Reactable at the Altman Center in 2007. Retrieved from <http://bit.ly/20pyCJT>
- Yaniv, Z., & Linte, C. A. (2016). Applications of Augmented Reality in the Operating Room. In W. Barfield (Ed.), *Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality* (2nd ed., pp. 485–510). New York: CRC Press Taylor & Francis Group.

