TÉCNICO LISBOA

ACADEMIA MILITAR
MILITARY ACADEMY

Realidade Aumentada Aplicada ao Sistema de Combate do Soldado

Carlos Filipe Vieira Gomes

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientadores: Professor Doutor Augusto Emanuel Abreu Esteves
Major de Transmissões Tiago Filipe Abreu Moura Guedes

Júri

Presidente: Professor Doutor João Luís Sobrinho
Orientador: Professor Doutor Augusto Emanuel Abreu Esteves
Vogais: Professor Doutor António Manuel Raminhos Cordeiro Grilo
Coronel de Transmissões Henrique Martins dos Santos Cunha

Novembro de 2022

Declaração

Declaro que o presente documento é um trabalho original da minha autoria e que cumpre todos os requisitos do Código de Conduta e Boas Práticas da Universidade de Lisboa.

Agradecimentos

Quero agradecer aos meus orientadores, Professor Doutor Augusto Esteves e Major de Transmissões Paraquedista Tiago Guedes todo o apoio, conselhos inestimáveis, orientação e interesse, ao longo de todas as conversas que tivemos durante o decurso desta tese, que foram essenciais para o seu desenvolvimento e conclusão. A vossa presença em todas as fases da dissertação refletiu-se numa orientação presente e incansável que muito me ajudou no desenvolvimento desta dissertação.

À *NextReality* e ao *IT People Group* pelo empréstimo de um *Hololens 2*.

À Academia Militar e Exército, o meu muito obrigado por me acolherem desde 2016 e por todo o apoio prestado através dos funcionários civis, praças, sargentos e oficiais para a realização do curso e desta dissertação. Ao Centro de Investigação, Desenvolvimento e Inovação da Academia Militar (CINAMIL) pela confiança depositada com a aprovação do projeto DSS-AR que permitiu o financiamento da dissertação, a aquisição de um *Hololens 2* e a subsequente continuação do trabalho desenvolvido neste projeto durante mais um ano. À Direcção de Comunicações e Sistemas de Informação (DCSI) e aos seus militares pelo apoio prestado. Ao Regimento de Comandos e ao 2º Grupo da 1ª Companhia de Comandos, o meu agradecimento pelos dias de treino, sempre disponíveis para aceder aos meus pedidos. Ao Centro de Audiovisuais do Exército, obrigado por toda a disponibilidade e trabalho árduo. Ao Centro de Experimentação e Modernização Tecnológica do Exército, pelo convite à inauguração do mesmo, onde nos foi permitido expor o trabalho realizado até à data. Ao Estado-Maior do Exército, agradeço a possibilidade de integrar a Iniciativa Estratégica de aplicação da Realidade Aumentada aos Sistemas de Combate do Soldado.

À família da Madalena por todo apoio, motivação e carinho com que me acolheram e apoiaram. À minha família e amigos, obrigado pelo acompanhamento durante, não só os 7 anos do curso, como desde o início das nossas relações. À minha namorada, Madalena, muito obrigado por me teres ajudado durante todo este percurso. Toda a motivação e força que me deste enquanto realizavas a tua própria dissertação de mestrado.

Não tenho palavras para descrever o quanto me ajudaram durante este percurso. A cada um de vós – muito obrigado.

Abstract

The present dissertation proposes the use of *Augmented Reality* (AR) on dismounted soldiers, as an extension of Command and Control systems, usually restricted to vehicles, in order to increase situational awareness of personnel outside of vehicles. A questionnaire was applied to 86 military personnel from the Portuguese Army in order to acquire the use cases of most interest. An AR system was designed in *Unity* and applied in *Hololens 2*. This system was compared with the current system of the Portuguese Army, through questionnaires, interviews and objective metrics, by 13 soldiers with operational experience from the Commando Regiment. A training scenario was created, where the soldier had to rescue an hostage. In this mission, the AR system recorded usability 25% higher than the current system in *System Usability Scale* (SUS). In *National Aeronautics and Space Administration - Task Load Index* (NASA-TLX), there was a decrease in the self-reported Physical Demand by 34%, the self-reported Time Demand by 21% and the self-reported Effort by 31%, when compared to the current system. The proposed system reduced demands on attentional resources to maintain the level of situational awareness by 21% and decreased user error by 91%.

Keywords

Augmented Reality, Situational Awareness, Command and Control, Portuguese Army

Resumo

A presente dissertação propõe a aplicação de Realidade Aumentada (RA) no combatente apeado, como uma extensão dos sistemas de Comando e Controlo, habitualmente restritos aos veículos, de modo a aumentar a *situational awareness* do militar fora de viatura. Foi aplicado um questionário, a 86 militares do Exército Português, de modo a adquirir os casos de uso de maior interesse e desenhado um sistema de RA, em *Unity*, aplicado em *Hololens 2*. Este sistema foi comparado com o atual sistema do Exército Português, através de questionários, entrevistas e métricas objetivas, por 13 militares com experiência operacional, do Regimento de Comandos. Num cenário de teste onde o militar resgata um refém, o sistema de RA registou usabilidade 25% superior ao sistema atual no *System Usability Scale* (SUS). No *National Aeronautics and Space Administration - Task Load Index* (NASA-TLX), verificou-se a diminuição da Exigência Física auto-reportada em 34%, a Exigência Temporal auto-reportada em 21% e o Esforço auto-reportado em 31%, os três resultados face ao sistema atual. O sistema proposto reduziu a exigência de atenção para manter a *situational awareness*, em 21% avaliado através do *Situation Awareness Rating Technique* (SART) e diminuiu o número de erros do utilizador em 91%.

Palavras Chave

Realidade Aumentada, Conhecimento Situacional, Comando e Controlo, Exército Português

Conteúdo

1 Introdução **1**

1.1 Definição do Problema e Motivação . . . 3

1.2 Objetivos . . . 4

1.3 Estrutura do Documento . . . 5

2 Enquadramento e Estado da Arte **7**

2.1 Realidade Aumentada . . . 9

2.1.1 Sistemas de incremento da *Situational Awareness* em Realidade Aumentada em ambiente não militar . . . 9

2.1.2 Sistemas de incremento da *Situational Awareness* em Realidade Aumentada em ambiente militar . . . 11

2.1.3 *Óculos* . . . 12

2.1.4 *Engines* . . . 14

2.1.5 *Toolkits* . . . 14

2.1.6 Mapas . . . 14

2.2 Arquitetura Cliente Servidor . . . 15

2.3 Sistemas de Informação e Comunicações no Exército Português . . . 15

2.3.1 Sistemas de Informação e Comunicações Tático . . . 15

2.3.2 Sistema de Comando e Controlo - *Battlefield Management System* . . . 16

2.3.3 Sistema de Comando e Controlo - *Dismounted Soldier System* . . . 17

2.4 Interoperabilidade dos Sistemas de Informação e Comunicações do combatente apeado 18

2.4.1 *Standardization Agreement* 4677 . . . 18

2.5 *Situational Awareness* . . . 20

2.5.1 Definição . . . 20

2.5.2 Estudos sobre causas da perda de *Situational Awareness* . . . 21

3 Levantamento dos Casos de Uso **23**

3.1 Elaboração do Questionário . . . 25

3.2 Definição da população . . . 26

3.3 Resultados do Questionário 26

4 Desenvolvimento do Sistema **29**

4.1 Arquitetura do Sistema 31

4.2 Desenho da *User Interface* 32

4.3 Construção do Sistema 33

4.3.1 Servidor 34

4.3.2 Cliente 35

5 Testagem e Avaliação do Sistema **37**

5.1 Cenário de Estudo 39

5.2 Hipóteses 41

5.3 Resultados 42

5.3.1 *System Usability Scale* 42

5.3.2 *NASA-Task Load Index* 43

5.3.3 *Situational Awareness Rating Technique* 44

5.3.4 Métricas Objetivas 45

5.4 Discussão 46

6 Conclusões **51**

6.1 Limitações 53

6.2 Conclusões 53

6.3 Trabalho Futuro 54

Bibliografia **55**

Lista de Figuras

1.1 Resultados do questionário relativamente ao uso das mãos e à redução do foco do utilizador 4

2.1 Estudo da exposição de informação 10
2.2 Sistemas de Realidade Aumentada aplicados a ambiente militar 12
2.3 Exemplos de óculos não utilizados e a justificação 13
2.4 Integração entre os Módulos dos Sistemas de Informação e Comunicações Tático e as *Combate Net Radio* 16
2.5 Hierarquia dos sistemas de Comando e Controlo do Exército Português 17
2.6 Versões de equipamento do sistema atual para combatentes apeados 18
2.7 Arquitetura de um sistema *Joint Dismounted Soldier System* interoperável por duas nações 19
2.8 Modelo de *situational awareness* utilizado 20
2.9 Análises de baixas e as suas causas 21

3.1 Preferência de um sistema 27

4.1 Arquitetura do sistema 31
4.2 Esquema do *Head-Up Display* 32
4.3 Imagens do menu de gestão de rede do servidor 33
4.4 Imagens do mapa do servidor 34
4.5 A bússola do *Head-Up Display* demonstra unidades consoante a direção em que o militar está a olhar 35
4.6 Demonstração de alertas e do mapa no *Hololens 2* 36
4.7 Equipamento sugerido 36

5.1 Aspeto geral do estudo 39
5.2 Percurso dos dois sistemas em estudo 41
5.3 Gráficos com os resultados do SUS e do NASA-TLX 43
5.4 Gráfico com os resultados do SART 44

5.5 Gráfico com o tempo de execução das tarefas 45

Lista de Tabelas

2.1 Tabela com características de equipamentos de Realidade Aumentada 13

3.1 Divisão do questionário e número de perguntas da respetiva parte 25
3.2 Informação da população 26
3.3 Tabela com os resultados do questionário aplicado a 86 militares do Exército Português para aquisição dos casos de uso 27

5.1 Tabela com os resultados dos *paired t-tests* realizados aos valores medidos nos 3 questionários 46
5.2 Questões do *System Usability Scale* 49

Acrónimos

AEP	*Allied Engineering Publications*
AR	*Augmented Reality*
ARC4	*Augmented Reality Command Control Communicate Coordinate*
BARS	*Battlefield Augmented Reality prototype System*
BMS	*Battlefield Management System*
C4I	Comando, Controlo, Comunicações, Computadores e Informação
CINAMIL	Centro de Investigação, Desenvolvimento e Inovação da Academia Militar
CNR	*Combat Net Radio*
COP	*Common Operational Picture*
CWIX	*Coalition Warrior Interoperability eXploration, eXperimentation, eXamination, eXercise*
DSS	*Dismounted Soldier System*
FCAS	*Fratricide Causal Analysis Schema*
GPS	*Global Positioning System*
HMD	*Head Mounted Display*
HMS	*Headquarters Management System*
HUD	*Heads-Up Display*
IP	*Interface Protocols*
IVAS	*Integrated Visual Augmentation System*
JDSS	*Joint Dismounted Soldier System*
JDSSDM	*Joint Dismounted Soldier System Data Model*
JDSSIEM	*Joint Dismounted Soldier System Information Exchange Mechanism*
JDSSIN	*Joint Dismounted Soldier System Interoperability Network*

MR Mixed Reality

MRTK *Mixed Reality Toolkit*

NASA-TLX *National Aeronautics and Space Administration - Task Load Index*

OTAN Organização do Tratado do Atlântico Norte

RA Realidade Aumentada

RInd Rádio Individual

RSVP *Rapid Serial Visual Presentation*

RTS Rádio Tático de Secção

RV Realidade Virtual

SART *Situation Awareness Rating Technique*

SDK *Software Development Kit*

SIC Sistemas de Informação e Comunicações

SICOMEX Sistema Integrado de Comunicações do Exército

SIC-T Sistema de Informação e Comunicações Táctico

SUS *System Usability Scale*

STANAG *Standardization Agreement*

UDP *User Datagram Protocol*

UI *User Interface*

VIP *Very Important Person*

XML *eXtensible Markup Language*

1

Introdução

Conteúdo

1.1 Definição do Problema e Motivação 3

1.2 Objetivos 4

1.3 Estrutura do Documento 5

No primeiro capítulo da presente dissertação, é procurado introduzir o leitor ao tema da mesma, definindo a problemática e a motivação para o estudo do tópico da Realidade Aumentada (RA) nos sistemas de Comando e Controlo. Seguidamente, são estipulados objetivos da dissertação e explicada a estrutura do documento.

O conceito de procura de informação em campanha é bastante antigo, sendo descrito na Arte da Guerra de Sun Tzu [1], já no período da China antiga. Sendo um brilhante general e estratega chinês, Sun Tzu, defendeu a importância da informação, face à necessidade de obter vantagem sobre uma força opositora [1]. Com a fundação da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN) em 1949, por 12 países, incluindo Portugal, foi instituída uma aliança política e militar com doutrinas e regras próprias [2]. Segundo doutrina nacional e da OTAN, a entrega da informação aos militares no terreno é tão importante como a procura da mesma, pelo que é imperativo que a transmissão de informação seja feita em tempo útil [3]. Com vista à rápida entrega da informação, os países empregam sistemas de Comando e Controlo, de modo a aumentar a capacidade de compreensão do ambiente operacional, chamando a essa competência de *situational awareness* [3]. No Exército Português, os sistemas de Comando e Controlo para os combatentes apeados funcionam, principalmente, através de sistemas rádio, entregando informação auditiva aos militares [4].

A RA é usada em ambiente militar para aumento da *situational awareness* desde 2000, tornando-se mais comum os últimos anos devido ao amadurecimento da tecnologia, quer a nível civil, quer a nível militar [5]. No presente documento é pretendido explicar como usar a RA para aumentar a capacidade de *situational awareness* dos combatentes apeados, sendo esta dissertação o primeiro trabalho deste tipo no Exército Português.

1.1 Definição do Problema e Motivação

Atualmente, os sistemas de Comando, Controlo, Comunicações, Computadores e Informação (C4I) do Exército Português, para escalões de companhia e menores, baseiam-se em meios rádio com serviço de fonia [4], que, ao apenas enviar áudio, criam espaço para interpretação errada, dificultando o processo de entrega de informações [3]. Para além da possibilidade de interpretação errada, é necessária uma transmissão contínua da informação para a sua compreensão correta.

Através da aplicação de um questionário, foi constatado que 76% dos militares (Figura 1.1) concordam total ou parcialmente que o atual sistema Comando e Controlo requer o foco do utilizador e 60% (Figura 1.1) concorda total ou parcialmente que requer as duas mãos, apresentando duas desvantagens do atual sistema. No lado direito da Figura 1.1 podem ser observados resultados sobre foco do operador e à esquerda, sobre uso das mãos, estando a verde graficado a percentagem de utilizadores que responderam com concordância total ou algum tipo de concordância (5 e 4, respetivamente), a azul

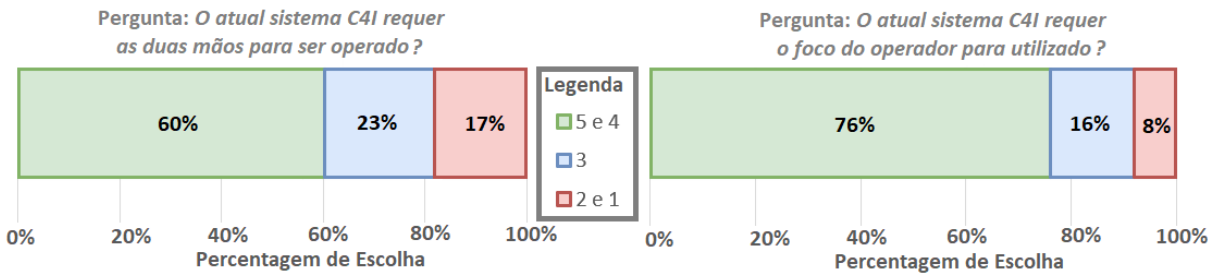


Figura 1.1: Resultados do questionário relativamente ao uso das mãos (esquerda) e à redução do foco do utilizador (direita). 5 representa concordância total e 1 representa discordância total, com a pergunta colocada

os que se mantiveram neutros (3) e a vermelho os utilizadores que responderam com algum tipo de discordância ou discordância total (2 e 1, respetivamente).

Através da definição do objetivo primário, podemos definir as consequências negativas da falta de Comando e Controlo e de *situational awareness*, servindo de motivação para a dissertação. A carência de Comando e Controlo e de *situational awareness* leva a consequências nefastas tais como:

- **Fratricídio** [6] (morte/lesão acidental de forças amigas);
- **Desenquadramento espacial do combatente** [6], devido à reduzida compreensão do espaço de batalha;
- **Emprego ineficiente das forças e dos sistemas de armas** [3], causada por desconhecimento de informações como localizações, efetivos, direções e velocidades.

Fora do ambiente militar, a falta de *situational awareness* causa incidentes em diversas áreas, tais como: construção civil [7], acidentes de viação [8] e medicina [9], por exemplo, em erros na aplicação de anestesias, tendo a falta de *situational awareness* sido creditada como a principal causa, acontecendo em 81.5% dos 200 casos estudados [9].

Para além das motivações relacionadas diretamente com as capacidades de Comando e Controlo e *situational awareness*, existe uma grande utilidade na investigação/desenvolvimento dos sistemas de Comando e Controlo e de RA, sendo o primeiro responsável por um terço da verba da Lei de Programação Militar, destinada ao Exército Português [10] e a RA apresenta-se como uma Área Tecnológica de Interesse Prioritário para a Base Tecnológica e Industrial de Defesa, sendo indicada como um dos Domínios de Integração nomeados no Plano de Investigação, Desenvolvimento e Inovação do Exército para o biénio 2021-2022. [11]

1.2 Objetivos

Com vista à definição de produtos concretos pretendidos alcançar, os objetivos desta dissertação são:

- **Levantamento de casos de uso**, através de um questionário;
- **Desenvolvimento de uma *Gateway***, implementando o *Standardization Agreement* (STANAG) 4677, apta a receber informações do *Dismounted Soldier System* (DSS) e enviá-las para o *Heads-Up Display* (HUD);
- **HUD em RA**, capaz de receber as informações enviadas pela *Gateway*, demonstrando-as ao utilizador do DSS;
- **Avaliação e comparação** do sistema proposto com o atual sistema usado pelo Exército.

Assim, será aferido se é possível aumentar a capacidade de Comando e Controlo e *situational awareness* dos combatentes que usam o sistema DSS, através de um sistema de RA. Este será o primeiro sistema de RA aplicado a um sistema de Comando e Controlo no Exército Português e será interoperável com forças de outros países da OTAN através da aplicação do STANAG.

1.3 Estrutura do Documento

O presente documento encontra-se dividido em 7 capítulos. O Capítulo 1 é destinado aos aspetos iniciais do trabalho, como a introdução, motivação e os objetivos da dissertação. O Capítulo 2 apresenta conceitos fundamentais para a compreensão deste trabalho, desde detalhes técnicos a aspetos militares que condicionam as decisões tomadas e o estado da arte. No Capítulo 3, é abordado o levantamento dos casos de uso, através de um questionário. É explicada a elaboração do mesmo e definida a população. No Capítulo 4, é explicado o desenvolvimento do sistema, tal como a arquitetura, a escolha do *hardware* e *software*. A testagem e avaliação são explicadas no Capítulo 5. Neste capítulo, é explicado o cenário de estudo, as métricas utilizadas e enunciados os resultados do mesmo. O Capítulo 6 é destinado à apresentação dos resultados alcançados, das limitações do sistema e das conclusões da dissertação, terminando a mesma com a apresentação do trabalho futuro.

2

Enquadramento e Estado da Arte

Conteúdo

2.1 Realidade Aumentada 9
2.2 Arquitetura Cliente Servidor 15
2.3 Sistemas de Informação e Comunicações no Exército Português 15
2.4 Interoperabilidade dos Sistemas de Informação e Comunicações do combatente apeado 18
2.5 *Situational Awareness* 20

Seguidamente à introdução da dissertação, onde é exposta a motivação e os objetivos da mesma, é o momento mais indicado para expor os conceitos militares e técnicos necessários à compreensão das decisões tomadas. Uma vez que o principal objetivo desta dissertação é o desenvolvimento de um sistema de RA que potencie a *situational awareness* do combatente apeado, este capítulo iniciar-se-á com a apresentação de sistemas militares e civis no mesmo âmbito, seguindo com *hardware* e *software* de RA. De seguida, é procurado enquadrar o leitor com o atual sistema do Exército Português, sendo explicada, sucintamente, a organização dos Sistemas de Informação e Comunicações (SIC) do Exército Português, abordando os escalões que os usam e quais os objetivos a alcançar através do seu uso. Finalizando o enquadramento militar, são explicadas as normas técnicas do STANAG, que definem os protocolos de partilha de informação dos sistemas supra referidos. O capítulo é terminado com a definição de *situational awareness*.

2.1 Realidade Aumentada

A RA é um tipo de realidade virtual em que estímulos sintéticos são sobrepostos no mundo real [12], maioritariamente demonstrados através de aparelhos semelhantes a óculos, com ecrãs *see-through* em que é possível ver informação e o mundo real simultaneamente. Nesta Secção, serão abordados sistemas civis e militares de RA para incremento de *situational awareness*, *hardware* e *software* desta tecnologia. Os **principais objetivos desta secção** são: **(1)** o estabelecimento do conhecimento atual sobre sistemas de RA cujo propósito é o aumento da *situational awareness* e **(2)** a procura da melhor forma de exibir as informações (textuais e/ou simbólicas), não causando incómodo ao utilizador, enquanto se maximiza o potencial da tecnologia. Assim, poderá ser desenhado, desenvolvido, testado e avaliado um HUD capaz de demonstrar as informações de forma resumida e concisa.

2.1.1 Sistemas de incremento da *Situational Awareness* em Realidade Aumentada em ambiente não militar

A *situational awareness* é de extrema importância em tarefas de várias profissões, como urgência médica [13] e combate a incêndios [14]. Através da revisão da literatura, é possível verificar que o uso dos aparelhos de RA é vantajoso em vários aspetos, como trabalho remoto (possibilitando a colaboração à distância) [15], aumento de *situational awareness* em diversas situações, como segurança e policiamento [16], investigação de locais de crime [15], resposta de desastres naturais [17], manutenção [18], combate a incêndios [19], inspeções de segurança a edifícios [20], auxílio de doentes [21]. Em suma, a RA permite a diminuição do número de erros do utilizador, tornando a tarefa mais acessível em termos cognitivos e aumentando a segurança do mesmo.

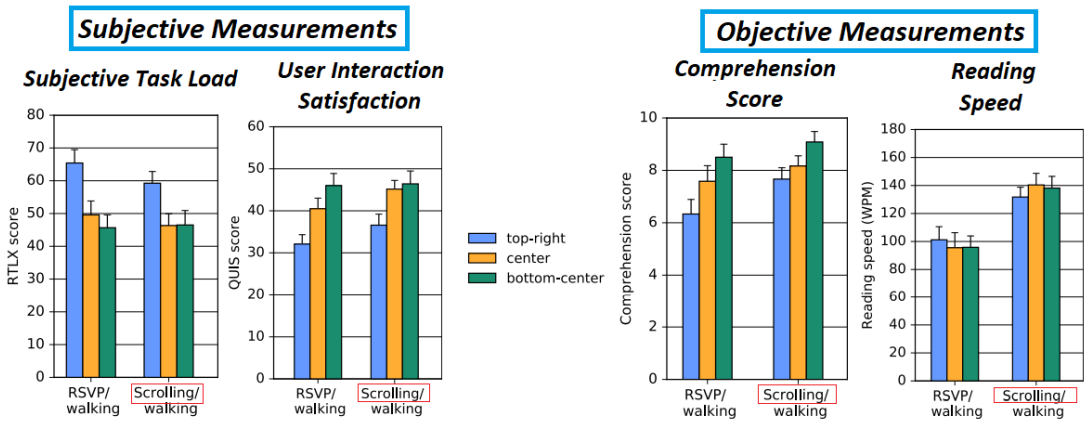


Figura 2.1: Estudo da exposição de informação que conclui que a informação mais importante deve ser demonstrada linha a linha (*scrolling*) e na zona central do HUD [22]

Apesar de grande potencial na tecnologia, os sistemas de RA possuem algumas desvantagens, como o custo dos aparelhos de alta qualidade, curva de aprendizagem mais ou menos acentuada, dependendo do grau de complexidade do sistema [21], dificuldade de desenvolvimento de aplicações em RA [15], limitação do tempo de uso pela bateria, fadiga ocular, causada pela constante mudança de foco entre imagens e mundo real [21] e distrações causadas por notificações, como *pop-ups*, mesmo quando usado nas extremidades do aparelho de RA, aumentando os perigos com o ambiente circundante [21].

Um estudo aborda a representação de informação num HUD para condutores de carros [23] com o objetivo de aumentar a *situational awareness*. Foi verificado uma maior capacidade de **deteção de sinais** de perigo em ambientes de **alta e baixa complexidade** pelo condutor. Também foi verificada a existência de efeito de túnel em situações com dois objetos simultaneamente em movimento. Assim, é possível concluir que os sistemas de RA podem aumentar a *situational awareness* em ambientes de alta complexidade (como operações militares), existindo o perigo de causarem efeito de túnel, devendo por isso, minimizar-se as instâncias em que o utilizador recebe mais do que um alerta simultaneamente.

Outro estudo compara a demonstração de informação textual enquanto o utilizador caminha. O estudo compara texto exibido linha a linha (*scrolling*) ou palavra a palavra (*Rapid Serial Visual Presentation* (RSVP)), em diferentes localizações do HUD [22]. Deste estudo, é possível concluir que **a informação deve ser demonstrada na zona central inferior e central** ao invés do canto superior direito do HUD e **exibida linha a linha**, uma vez que causa menor fadiga ao utilizador, apresentando uma maior satisfação do utilizador, maior compreensão da informação e maior velocidade de leitura, visível na Figura 2.1. Também na Figura 2.1, podem ser observados, à esquerda, gráficos com resultados subjetivos dos utilizadores, enquanto os gráficos à direita apresentam resultados objetivos. Os gráficos são adaptados, tendo sido retirados os testes em que o participante se encontrava sentado [22], uma vez que o militar apeado se encontrará quase sempre em pé.

2.1.2 Sistemas de incremento da *Situational Awareness* em Realidade Aumentada em ambiente militar

Desde os anos 90, vários países iniciaram o desenvolvimento de sistemas militares de RA. Os esforços destas três décadas resultaram em diversos sistemas baseados em equipamentos de RA com ecrãs *see-through* aliados a sistemas de informações militares, demonstrando informações através de HUDs. Os sistemas são apresentados por ordem cronológica, sendo o primeiro o mais moderno.

O *Integrated Visual Augmentation System* (IVAS), do Exército dos Estados Unidos da América, está a ser desenvolvido através duma parceria com a *Microsoft*, desde 2019 [24]. Este, implementa sensores e câmaras térmicas e de infravermelhos (vísiveis na Figura 2.2(b)), permitindo o seu uso em ambiente noturno e/ou com fumos, agregando diferentes tecnologias num único sistema, permitindo ao militar combater, treinar e preparar operações numa única plataforma. Através de um HUD num dispositivo *Hololens 2*, da *Microsoft*, são demonstradas informações sobre o ambiente circundante do operador, incrementado por *machine learning* para situações de simulação de forças inimigas [24].

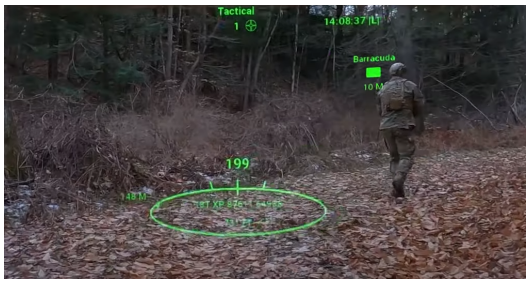
A empresa ARA divulgou o sistema *Augmented Reality Command Control Communicate Coordinate* (ARC4) em maio de 2014, visível na Figura 2.2(c). Este sistema fornece aos comandantes informações sobre o campo de batalha, como a *Common Operational Picture* (COP) [25]. O sistema implementa funções como geo-localização, navegação e marcação de características no ambiente. O sistema também é usado no treino militar, em que o ambiente virtual de campo de batalha é sobreposto no ambiente real [5, 25], permitindo ao militar um treino mais imersivo.

O *Battlefield Augmented Reality prototype System* (BARS) foi desenvolvido em 2000 no Laboratório de Pesquisa Naval dos Estados Unidos. Este sistema foi desenvolvido para situações de combate urbano, auxiliando o operador em várias tarefas como, mirar a arma quando a vista está bloqueada (por exemplo, fumo ou poeira), distinguir entre forças amigas e inimigas e condução. O sistema apenas foi utilizado em testes e nunca foi empregue em operações reais [5, 26].

Concluindo a secção sobre RA, é possível averiguar a existência de diversos sistemas com capacidade de aumento da *situational awareness*, quer em ambiente civil, quer em ambiente militar, sendo que, atualmente, o Exército Português, não dispõe de nenhum, perdendo acesso às eventuais vantagens desta tecnologia. Com os estudos abordados, é possível constatar que o desenvolvimento e desenho de aplicações em RA deve ter em conta a necessidade do militar manter a visão desobstruída, seja esta a central ou a periférica. Assim, a informação deve ser reduzida ao mínimo indispensável, traduzindo texto em linhas e símbolos [21] e demonstrada na zona central e inferior do HUD [22]. Devem ser minimizados os alertas visuais simultâneos, de forma a minorar a existência de efeito de túnel [23].

(a) Vista interior do IVAS

(b) Equipamento do IVAS



(c) Vista interior do ARC4

(d) Equipamento do ARC4

Figura 2.2: Sistemas de RA aplicados a ambiente militar

2.1.3 *Óculos*

O desenvolvimento de um sistema de Comando e Controlo deve dar grande importância à demonstração das suas informações ao utilizador do mesmo, pelo que a escolha do equipamento é de grande relevância. No âmbito da RA existem vários equipamentos, de diversas empresas, comummente referidos como óculos. O processo de escolha do equipamento foi baseado em três regras, justificadas abaixo:

- Independência - o equipamento não pode depender de um computador ou fonte de alimentação externa (*Standalone*), com o objetivo de tornar assim o sistema mais autónomo e mais leve;
- Transparência - os ecrãs utilizados no aparelho devem ser translúcidos, permitindo ao utilizador ver o seu redor enquanto utiliza o sistema;
- Mãos livres - o aparelho deve permitir que o utilizador não utilize comandos e interaja com o sistema através de gestos, permitindo que as mãos permaneçam desocupadas.

Estabelecidas as regras, foram eliminados óculos que requerem cabos para conectar a um computador, tal como o *Lenovo ThinkReality A3* (Figura 2.3(a)), todos os óculos de Realidade Virtual (RV) uma

Característica	Vuzix Blade [30] [31]	ThirdEye X2 [32] [33]	Shadow Creator Action One [34]	Hololens 2 [35]
Peso	90g	300 g	328g	556g
Field of View *(diagonal)*	20°	42°	45°	52°
Resolução (por olho)	480x480	1280x720	1280x720	1440x936
Tipo de *Tracking*	3 DoF	6 DoF	6 DoF, via 2 Câmaras	6 DoF, via 4 Câmaras
RAM	4 GB	4 GB	Não-indicado	4 GB
Armazenamento	8 GB	64 GB	64 GB	64 GB
Chip-set	Modelo não-especificado	Qualcomm Snapdragon XR1	Qualcomm Snapdragon 835	Qualcomm Snapdragon 850
Hand-tracking	Não	Sim	Sim	Sim

Tabela 2.1: Tabela com características de equipamentos de RA

vez que obstruem a visão do utilizador, tal como o *Oculus Quest 2* (Figura 2.3(b)), que requerem o uso de comandos externos aos óculos ou que têm apenas um ecrã, como o *Magic Leap 2* (Figura 2.3(c)). Os tipos de óculos não utilizados estão sumarizados na Figura 2.3. Sobraram óculos como *Vuzix Blade*, *ThirdEye x2*, *Shadow Creator Action One* e *Hololens 2*. De seguida foram analisados as características técnicas dos óculos, comparando parâmetros técnicos na Tabela 2.1.

Na Tabela 2.1, podem ser observados a verde os parâmetros em que um dos óculos é o melhor, por exemplo o *Vuzix Blade* é o *headset* com menos peso. Em caso de empate, é assinalado apenas o pior, a vermelho, por exemplo o *Vuzix Blade* com menos armazenamento que todos os outros *headsets* observados. A RAM é o único parâmetro em que não existe um *headset* pior que os outros, todos têm 4 GB, à exceção do *Shadow Creator* que não especifica esta característica. Após a análise da Tabela é possível constatar que o *Hololens 2* vence 4 das 8 categorias, sendo o pior apenas no peso. O *Shadow Creator* e o *ThirdEye X2*, apesar de não vencerem nenhuma categoria são bastante semelhantes ao *Hololens 2*, sendo por isso necessário um fator de desempate entre os três. O fator final de escolha foi

(a) *ThinkReality A3* requer equipamento externo [27]

(b) *Oculus Quest 2* obstruem a visão do utilizador [28]

(c) *Magic Leap 2* carece o uso de comandos [29]

Figura 2.3: Exemplos de óculos não utilizados e a justificação

o uso dos óculos em projetos semelhantes, sendo o *Hololens 2* utilizado pelo projeto IVAS do Exército dos Estados Unidos da América. Assim, o aparelho escolhido para desenvolvimento do sistema foi o *Hololens 2*.

2.1.4 *Engines*

A produção de RA é feita maioritariamente através de *software* de desenvolvimento de jogos. As duas plataformas de desenvolvimento em tempo-real, neste âmbito, são o *Unreal Engine* ou o *Unity*, sendo este último utilizado para desenvolver 60% do conteúdo de Realidade Aumentada/Virtual e 50% dos jogos para telemóveis e tablets [36–38]. Assim, foi escolhido o *Unity*, uma vez que tem diversas fontes de informação, facilitando o desenvolvimento, atenuando a curva de aprendizagem.

2.1.5 *Toolkits*

Tendo sido selecionada a plataforma de desenvolvimento de RA seguiu-se a escolha das ferramentas de *Human-Computer Interaction* e de Mixed Reality (MR) que foram usadas em junção com o *Unity*. O *Mixed Reality Toolkit* (MRTK) é um projeto orientado pela *Microsoft* que fornece um conjunto de componentes e funcionalidades, usados para acelerar o desenvolvimento de aplicações MR em *Unity* [39]. Este conjunto de ferramentas facilita a criação de aplicações, fornecendo ao desenvolvedor capacidades pré-construídas, tal como o sistema de *input*, permitindo selecionar os gestos que o utilizador pode realizar para interagir com os diferentes aspetos do sistema, blocos de interação espaciais, tal como elementos de *User Interfaces* (caixas de texto, botões, janelas) e ferramentas de prototipagem, permitindo observar as mudanças no sistema diretamente na máquina em que se está a desenvolver (computador) sem necessidade de extrair o projeto em desenvolvimento para os óculos de RA.

2.1.6 Mapas

No questionário aplicado a militares do Exército Português, 72.8% dos inquiridos responderam que *Concordo Totalmente* ou *Concordo Parcialmente* com a afirmação *Acredita que seja relevante mostrar Carta Militar/GPS/Mapa ao combatente?*. Assim é observável o quão relevante é para os militares a existência de informação cartográfica. Foi procurada uma ferramenta com a capacidade de exibir um mapa em projetos baseados em *Unity*, sendo capaz de receber *input* de RA. Uma vez que o MRTK, desenvolvido pela *Microsoft*, foi escolhido como a ferramenta de *Human-Computer Interaction*, a escolha do *software* de mapas vai de encontro a outra ferramenta da Microsoft, o *Maps Software Development Kit*, conhecido como *Maps SDK*. Esta ferramenta foi optimizada para aplicações e dispositivos de MR, tal como Hololens 2, fornece exemplos e documentação, facilitando o desenvolvimento para os óculos escolhidos.

2.2 Arquitetura Cliente Servidor

A arquitetura cliente servidor é comummente utilizada [40], apresentando vantagens como a centralização de dados e controlos e facilidade de escalabilidade [41]. No caso específico da RA esta tipologia é particularmente útil, uma vez que é possível utilizar a maior capacidade de recursos de processamento do servidor para a realização de tarefas não gráficas (tais como receção/envio de informação, *parsing* de mensagens e gestão de base de dados), atenuando o impacto destas tarefas na performance dos óculos, que usualmente dispõem de processadores *mobile*, inferiores aos dos disponíveis para computadores [42]. É possível constatar o uso extensivo da arquitetura cliente servidor em sistemas de RA na literatura [43–45]. É de destacar o caso específico, de um sistema de aumento do *situational awareness* de militares [46], tal como o sistema que a presente dissertação aborda. Assim é possível constatar que a arquitetura cliente servidor é amplamente utilizada no caso específico da RA, permitindo um sistema escalável e capaz de atenuar a menor performance dos equipamentos de RA.

2.3 Sistemas de Informação e Comunicações no Exército Português

O moderno campo de batalha requer SIC capazes de atender às necessidades das forças militares. Nesse sentido, aproximadamente um terço da verba da Lei de Programação Militar do Exército Português, está destinada para o desenvolvimento da capacidade de Comando e Controlo [10].

Os SIC no Exército Português, também chamados de Sistema Integrado de Comunicações do Exército (SICOMEX), estão divididos em duas componentes [47], o Sistema de Informação e Comunicações Operacional, destinado ao Comando e Controlo da componente fixa do Exército Português e o Sistema de Informação e Comunicações Táctico (SIC-T) que se materializa numa extensão da mesma, destinada ao exercício do Comando e Controlo em operações e forças projetadas [4]. É importante referir que nem todos os sistemas C4I do Exército Português foram abordados, uma vez que se tentou enfatizar os sistemas com maior relevância para a dissertação. Assim sendo, os sistemas mais relevantes são sistemas táticos; na área das comunicações, o *Combat Net Radio* (CNR), e na área dos sistemas de informação, o *Battlefield Management System* (BMS) e o DSS.

2.3.1 Sistemas de Informação e Comunicações Tático

O SIC-T teve o seu início em 2004 visando dotar o Exército Português de capacidades de SIC e sistemas de segurança e gestão de informação, dividido em vários subsistemas como módulos de comunicações SIC-T, redes rádio de combate, sistemas de informação de Comando e Controlo e sistemas de ciberdefesa, sendo o fim do projeto previsto para o triénio 2023 a 2026 [10].

Na componente de comunicações táticas, o SIC-T, está dividido em duas partes: módulos de

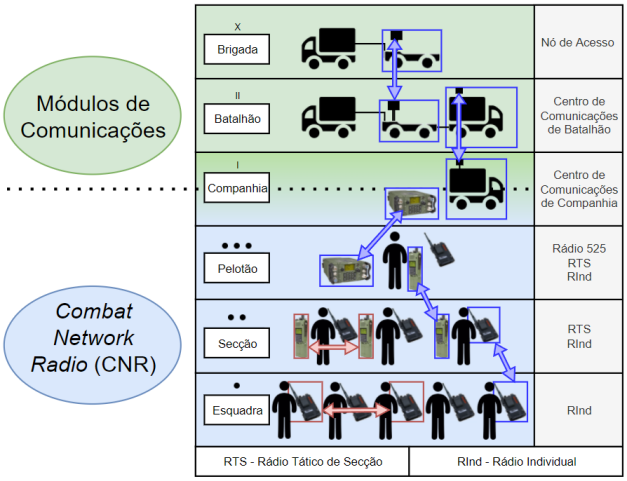


Figura 2.4: Integração entre os Módulos do SIC-T e as CNR [4]

comunicações e rádios táticos [4]. Para a Brigada, Batalhão e Companhia, são atribuídos módulos de comunicações SIC-T; a nível de Companhia, Pelotão, Secção e Esquadra são utilizados rádios táticos orgânicos das próprias unidades táticas. O escalão de Companhia, por ser um escalão intermédio, serve de integração entre os escalões de Pelotão e inferiores e os altos escalões de Batalhão e superiores, tendo acesso tanto a módulos de comunicações como a rádios orgânicos [10]. A componente dos módulos de comunicações serve de apoio aos postos de comando, sendo responsável pela comunicação de/para os altos escalões, constituída por um ou dois veículos táticos com equipamentos rádio táticos de comunicações, GRC-525 e equipamento de segurança criptográfico [4].

As Redes Rádio de Combate ou CNR utilizam equipamento rádio orgânico aos baixos escalões, que, por se encontrarem frequentemente apeados, empregam rádios mais leves, na sua maioria do tipo *handheld*, como é o caso do Rádio Tático de Secção (RTS) e do Rádio Individual (RInd) [10]. Por Pelotão existe um militar responsável pelo transporte e operação da versão *Manpack* do rádio CNR, que atualmente é o PRC-525. Esta versão é semelhante a uma mochila com um rádio maior e mais potente, cujo propósito é comunicar com o centro de comunicações da companhia [4].

Em suma, existem instalações veiculares, com maior alcance e potência, destinados aos altos escalões, uma versão portátil do rádio PRC-525 para fazer a ponte entre os centros de comunicações e os rádios *handheld* dos baixos escalões [4], observável na Figura 2.4.

2.3.2 Sistema de Comando e Controlo - *Battlefield Management System*

Visando a superioridade de informação e partilha da mesma, é importante que todos os escalões tenham acesso a informações de forma idêntica, como a posição de forças amigas/inimigas, estradas e infraestruturas, dando-se o nome de COP à imagem operacional comum partilhada pelos vários escalões. A partilha da COP, tanto verticalmente, como horizontalmente, facilita o planeamento e

sincronização entre unidades [3, 10].

Os sistemas Comando e Controlo estão divididos em 3 níveis distintos (Figura 2.5), o *Headquarters Management System* (HMS) para postos de comando dos altos escalões, o BMS para plataformas móveis de escalões Batalhão e menor e o DSS para comandantes de Pelotão e Secção quando apeados [4, 47]. O BMS é um sistema de Comando e Controlo para escalões de batalhão e menores, tendo como base ligar o escalão de batalhão aos escalões inferiores. Neste momento, encontra-se em fase de implementação, estando operacional no teatro de operações da República Centro Africana [10].

O sistema funciona em plataformas com o sistema operativo *Windows* (7 ou 10) e visa equipar as viaturas táticas, aumentando a capacidade de Comando e Controlo e *situational awareness* das forças nestas plataformas móveis, através do acesso à COP. O BMS é interoperável com o DSS, tendo sido testado no exercício *Coalition Warrior Interoperability eXploration, eXperimentation, eXamination, eXercise* (CWIX), desde 2019 [10].

2.3.3 Sistema de Comando e Controlo - *Dismounted Soldier System*

O sistema de Comando e Controlo para combatentes apeados do Exército Português é o DSS. Este sistema é uma extensão do BMS para os comandantes de Pelotão e comandantes de Secção quando fora dos veículos, permitindo-lhes aceder à COP sem estarem fisicamente nos veículos táticos, conferindo-lhes uma grande vantagem a nível de Comando e Controlo e *situational awareness* [10, 47]. O sistema pode ser acedido através de um terminal de dados com o sistema operativo *Android*. Este sistema, tal como o BMS, aumentará a comunicação horizontal (entre comandantes apeados) e vertical (entre escalões), sendo uma mais valia para a OTAN, pois tem implementado o STANAG 4677, tendo sido testado no CWIX 2020 [10]. Os sistemas C4I para o combatente apeado, têm duas configurações, a de comandante, destinada aos comandantes de Pelotão e Secção, equipados com um rádio tático

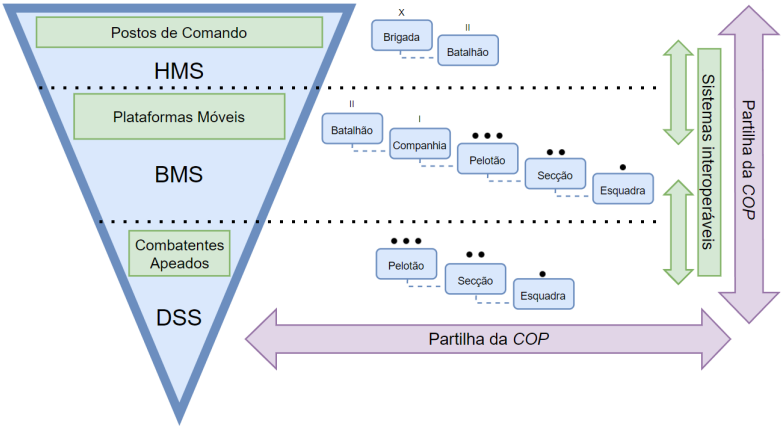


Figura 2.5: Hierarquia dos sistemas de Comando e Controlo do Exército Português [4]

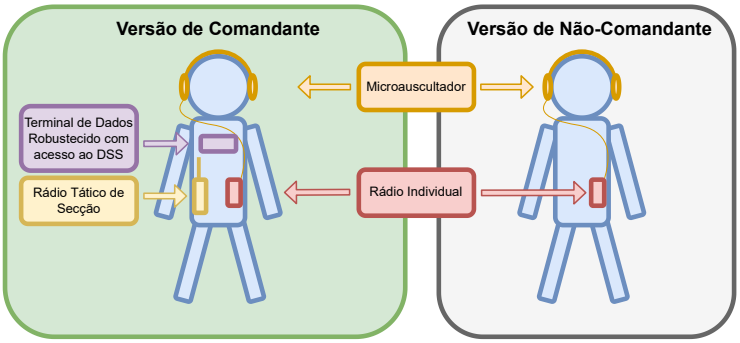


Figura 2.6: Versões de equipamento do sistema C4I para combatentes apeados [47]

de Secção e um terminal de dados robustecido, programado com o DSS, capaz de exibir a COP, e a versão para os restantes membros do Pelotão, que não têm acesso ao DSS, como é possível observar na Figura 2.6.

2.4 Interoperabilidade dos Sistemas de Informação e Comunicações do combatente apeado

Ao estar integrado na OTAN, Portugal e o Exército Português devem estar prontos a combater lado a lado com os outros países da Aliança [48]. Desde a sua fundação, em 1949, a OTAN tem desenvolvido a interoperabilidade (a capacidade de agir em conjunto de forma coerente, de forma eficaz e eficiente para alcançar os objetivos táticos, operacionais e estratégicos da Aliança [12]). A interoperabilidade deste tipo de sistemas é importante em cenários com várias nações aliadas, uma vez que o Comando e Controlo se torna mais difícil com forças de diversos países, aumentando o risco de fratricídio [49].

Um dos requisitos fundamentais para o SIC-T é a interoperabilidade [4], uma vez que a ligação de todas as entidades relevantes do campo de batalha, sejam eles decisores (como comandantes), plataformas (por exemplo, um carro de combate) e/ou sensores (como sistemas de vigilância do campo de batalha) é de extrema importância [3]. Com vista a aumentar a interoperabilidade entre diferentes países, a OTAN recorre a um processo de estandardização através da publicação de documentos que fornecem procedimentos comuns, para cada país implementar. Para a presente dissertação é importante referir o STANAG 4677, que aborda, os sistemas de combate do soldado.

2.4.1 *Standardization Agreement* 4677

O STANAG 4677 - *Dismounted Soldier Systems Standards and Protocols for Command, Control, Communications and Computers (C4) Interoperability* ou *DSS C4 Interoperability*, juntamente com o *Allied Engineering Publications* (AEP)-76 - *Specifications Defining the Joint Dismounted Soldier System In-*

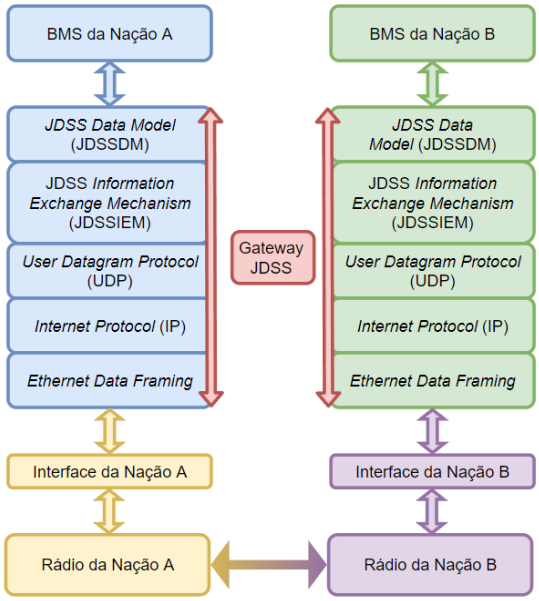


Figura 2.7: Arquitetura de um sistema JDSS interoperável por duas nações [50]

teroperability Network (JDSSIN), abordam a troca de informação entre os sistemas dos membros da OTAN (Figura 2.7), com o objetivo de aumentar a *situational awareness* do combatente apeado, contribuindo diretamente para o aumento da coordenação das forças e redução do fratricídio [50].

Os *standards* são baseados em *eXtensible Markup Language* (XML), que, sendo um *standard* comum e público, facilita o seu uso e desenvolvimento. Na Figura 2.7 é possível observar que a arquitetura do *Joint Dismounted Soldier System* (JDSS) é sumarizada por 3 componentes [50]:

1. **Sistema de Comando e Controlo Nacional** (DSS) com interface para o *Gateway* do JDSS;
2. ***Gateway* JDSS** que implemente:
   (a) Modelo de informação - *Joint Dismounted Soldier System Data Model* (JDSSDM);
   (b) Sistema de troca de informação - *Joint Dismounted Soldier System Information Exchange Mechanism* (JDSSIEM);
   (c) *User Datagram Protocol* (UDP);
   (d) *Interface Protocols* (IP);
   (e) Tramas de informação *Ethernet*;
   (f) Conecção física entre a *Gateway* JDSS e o Rádio.
3. **Rádio**.

Este STANAG é de extrema importância, uma vez que é através da aplicação do mesmo que é

garantida a comunicação entre sistemas de Comando e Controlo de combatentes apeados de diferentes países da OTAN, ou seja, a manutenção da interoperabilidade entre nações.

2.5 *Situational Awareness*

2.5.1 Definição

Existem diversas definições de *situational awareness*, tais como a do Exército Português [3] ou a da OTAN [12]. Na presente dissertação, a definição de *situational awareness* será a de Endsley, uma vez que é amplamente citada e altamente influente na investigação na área da *situational awareness* [8,51]. A Figura 2.8 apresenta uma perspetiva cognitiva típica de *situational awareness*. Este modelo propõe três níveis diferentes de SA que são relevantes para esta dissertação:

- Nível 1 da *situational awareness*: **Perceção** do estado, atributos e dinâmica de elementos relevantes no ambiente circundante;
- Nível 2 da *situational awareness*: **Compreensão** da situação, com base na síntese do nível 1, formando um parecer/entender holístico da situação;
- Nível 3 da *situational awareness*: **Projeção** do futuro a curto prazo dos elementos do ambiente.

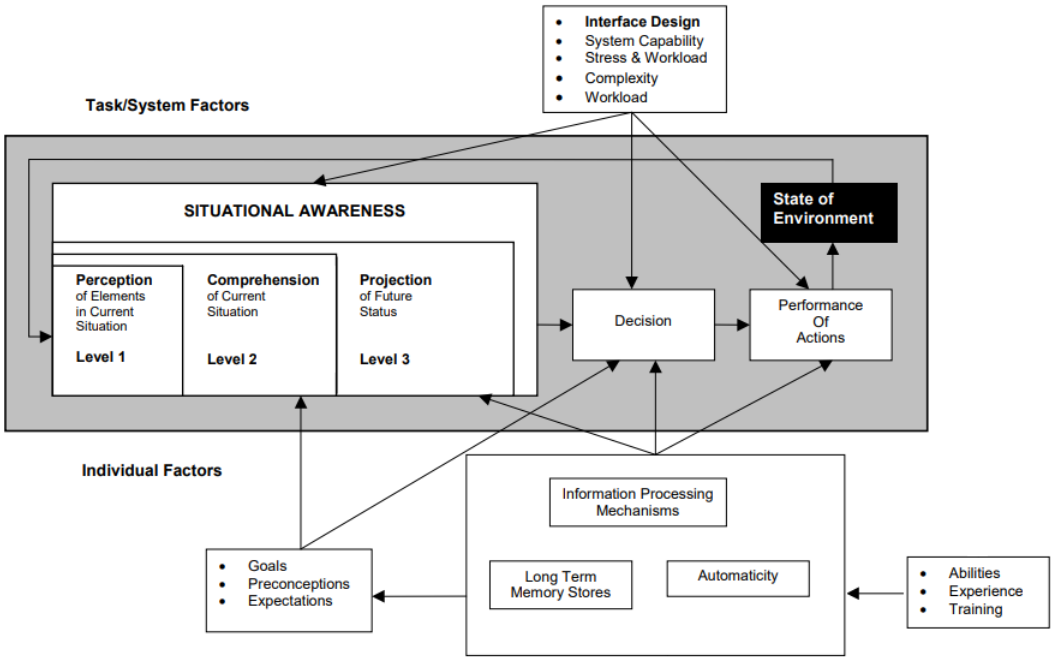


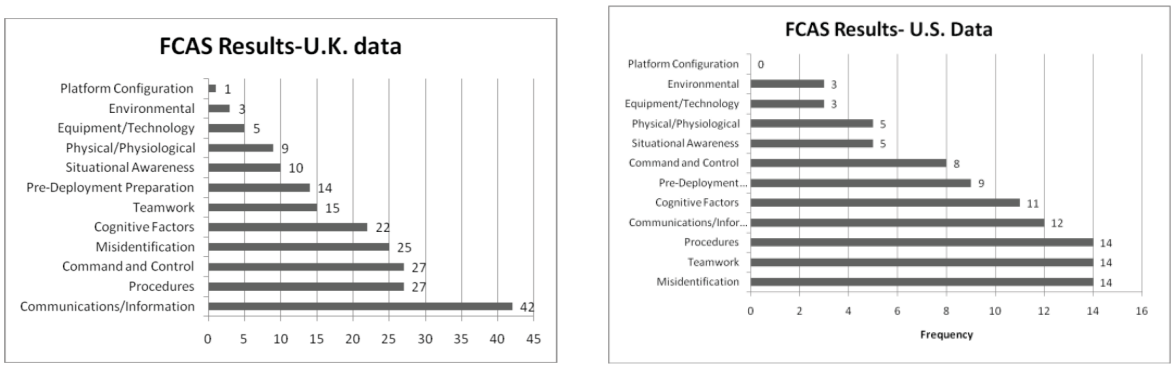
Figura 2.8: Modelo de *situational awareness* utilizado [51]

2.5.2 Estudos sobre causas da perda de *Situational Awareness*

Com vista a uma melhor justificação da problemática, foi procurado aferir quais as causas da perda de *situational awareness*, em específico da sua consequência mais nefasta, o fratricídio. Assim, é exposto um estudo que analisa situações do Reino Unido e dos Estados Unidos da América, em que é implementado um esquema de análise de causas do fratrícidio, o *Fratricide Causal Analysis Schema* (FCAS). O estudo do Reino Unido [6] analisa 10 incidentes de fratricídio que ocorreram entre 1991 e 2003, especificamente na Operação *Granby* (Operação *Operation Desert Storm*), Operação *Provide Comfort* (ajuda humanitária no norte do Iraque) e Operação *Telic* (Operação *Iraqi Freedom*). Estes acidentes foram selecionados em função do grande volume de informações recolhidas 2.9(a).

Na Figura 2.9(a), é possível observar que nos 10 incidentes houve: 42 falhas nas comunicações ou informações, 27 falhas no Comando e Controlo, 25 erros de identificação e 10 casos de falta de *situational awareness*. Relativamente ao estudo dos Estados Unidos da América foram estudados 20 casos de fratricídio, sem serem indicadas datas ou as operações em que os incidentes tomaram lugar. Na Figura 2.9(b), é possível observar que nos 20 incidentes houve 14 erros de identificação, 14 falhas no trabalho de equipa, 14 falhas nos procedimentos, 12 falhas nas comunicações/informações e 11 falhas em fatores cognitivos.

Com a análise destes dois estudos é concluído que as principais causas da perda de *situational awareness*, resultante em fratricídio, são falhas nas comunicações/informações, falhas no Comando e Controlo e erros de identificação. Aferidas as principais causas para o fratricídio nestes trinta casos, é possível constatar que um sistema de Comando e Controlo poderia mitigar qualquer uma destas causas, e assim, minimizar perdas humanas e materiais [52]. As principais causas serão utilizadas no questionário do Capítulo 3 para o levantamento dos casos de uso de maior interesse aos militares.



(a) Baixas por fratricídio do Reino Unido [6]

(b) Baixas por fratricídio dos Estados Unidos da América [6]

Figura 2.9: Análises de baixas e as suas causas [6]

3

Levantamento dos Casos de Uso

Conteúdo

3.1 Elaboração do Questionário 25

3.2 Definição da população 26

3.3 Resultados do Questionário 26

Utilizando os dois questionários analisados no final do Capítulo 2, em junção com requisitos sobre *situational awareness* elencados em doutrina do Exército Português [3, 53], foi elaborado um questionário que permita a aquisição dos casos de uso enquanto se colmata a lacuna do estado da arte, relativamente ao caso específico do Exército Português. Assim, é aumentada a compreensão das necessidades reais dos militares no terreno, permitindo o desenho e desenvolvimento de um sistema mais ajustado e capaz de melhor responder às demandas dos utilizadores do mesmo. Os resultados do questionário são enunciados na Tabela 3.3 (levantamento dos casos de uso) e nas Figuras 1.1 e 3.1 (justificação da problemática).

3.1 Elaboração do Questionário

Como referido no início do capítulo, foi elaborado um questionário com **dois objetivos** principais: **(1) a melhor justificação da problemática**, colmatando a lacuna no estado da arte sobre a situação particular do Exército Português, através de perguntas dos seus utilizadores usuais, e **(2) a definição de casos de uso** que devem ser abordados pelo sistema. O questionário foi partilhado pela Repartição de Comunicação, Relações Públicas e Protocolo do Gabinete do Chefe do Estado-Maior do Exército, a pedido do Diretor do Curso de Transmissões da Academia Militar, através do sistema de *e-mail* institucional. Neste capítulo, será explicada a elaboração do questionário, tal como a definição da população dos 86 militares que responderam ao mesmo. Seguindo a análise de estudos sobre *situational awareness*, sistemas de Comando e Controlo e de doutrina do Exército Português, foi criado um questionário que avalie requisitos reais [6] enquanto se segue a atual doutrina do Exército Português [3, 53, 54]. O mesmo foi dividido em 6 partes, indicadas na tabela 3.1. Após respostas de identificação (parte 1), os militares responderam às partes 2 a 5 com recurso a escalas *likert* de 1 a 5, estando as mesmas enunciadas na legenda da Tabela 3.3. Na 6ª parte do questionário, os militares foram questionados relativamente à sua preferência no método de acesso à informação relevante (segundo relatórios sobre eventos de fratricídio [6] e manuais do Exército Português [3, 53]), elencando cada uma das sete informações (localização das Forças Amigas, localização das Forças Inimigas, missão, bússola, mete-

Parte	Número de Perguntas
Identificação do inquirido	12
Atual sistema C4I do Combatente Apeado	4
Perguntas sobre *situational awareness*	8
Casos de uso não estando em combate	7
Casos de uso estando em combate	7
Preferência do utilizador por um sistema RA, *tablet* ou rádio	22
Total	60

Tabela 3.1: Divisão do questionário e número de perguntas da respetiva parte

orologia, carta militar/*Global Positioning System* (GPS)/mapa e medidas de controlo da missão) como Opção Preferida/2ª Opção Preferida/3ª Opção Preferida, sendo os três métodos disponíveis: imagem 3D, imagem 2D e som, estando os resultados visíveis na Figura 3.1.

3.2 Definição da população

O questionário foi respondido por 86 militares, apresentando idades entre os 19 e os 56 anos, com uma média de 34.3 anos e desvio padrão de 9.3 anos, estando os dados da população definidos na Tabela 3.2. É verificável que o questionário é respondido por militares de todas as armas e serviços e de todas as classes de postos até oficial superior, sendo que cerca de 67% tem experiência em missão internacional. Assim, é concluído que o questionário foi respondido por uma população abrangente e de diversos setores do Exército Português o que nos permitirá utilizar o mesmo para cumprir os dois objetivos enunciados no início do Capítulo 3: colmatar a lacuna do estado da arte referente ao Exército e obter os casos de uso de maior importância para os militares.

Informação	Resposta	Quantidade	Percentagem (%)
Género	Masculino	80	93.0
	Feminino	6	7.0
Posto	Praça	13	15.2
	Sargentos	32	37.2
	Of. Subalternos/Capitães	26	30.2
	Oficiais Superiores	15	17.4
Participação em missão	Sim	58	67.4
	Não	28	32.6
Arma/Serviço	Infantaria	52	60.5
	Cavalaria e Artilharia	5	5.8
	Eng. Mil. e Serviço Mat.	3	3.5
	Transmissões	23	26.7
	Administração e Saúde Mil.	2	2.3
	NS/NR	1	1.2
Anos de Serviço	Menos de 2	6	7.0
	Entre 2 e 7	23	26.7
	Mais de 7	57	66.3

Tabela 3.2: Informação da população

3.3 Resultados do Questionário

Dos resultados da Tabela 3.3 constata-se que os elementos que mais reduzem a *situational awareness* são: o desconhecimento da posição das Forças Amigas/Inimigas, falhas de identificação e a má transmissão/receção de ordens. É também possível verificar que as informações mais relevantes para os militares são a localização das Forças Amigas/Inimigas, medidas de controlo da missão, acesso a equipamento cartográfico (carta militar/GPS/mapa) e bússola. A imagem 3D foi escolhida como o método

Tema	Pergunta	Média	Desvio-padrão
(i) Contacto com Sistemas	Comunicações Militares	4.3	1.2
	C2	3.3	1.4
	RA	1.2	0.6
(ii) Atual sistema C2 requer	Uso das duas mãos	3.6	1.3
	Foco do operador	4.2	1.1
(iii) Redução da SA	Desconhecer posição das Forças Amigas	4.2	1.2
	Desconhecer posição das Forças Inimigas	4.0	1.1
	Falhas de identificação	4.2	1.2
	Má Transmissão/Receção de Ordens	4.2	1.0
	Falha em consulta de medidas de controlo da missão	3.7	1.1
(iv) Relevância da informação estando em combate	Localização das Forças Amigas	4.5	0.8
	Localização Forças Inimigas	4.6	0.8
	Missão	3.5	1.2
	Bússola	3.7	1.2
	Meteorologia	2.8	1.2
	Carta Militar/GPS/Mapa	4.0	0.9
	Medidas de controlo da missão	4.2	0.9
(v) Relevância da informação não estando em combate	Localização das Forças Amigas	4.8	0.7
	Localização Forças Inimigas	4.6	0.8
	Missão	2.9	1.5
	Bússola	3.8	2.5
	Meteorologia	2.5	1.4
	Carta Militar/GPS/Mapa	3.9	1.3
	Medidas de controlo da missão	4.3	0.9

Tabela 3.3: Tabela com os resultados do questionário aplicado a 86 militares do Exército Português para aquisição dos casos de uso.
Escala por tema: **(i)** 1 – Nunca usei a 5 – Uso/Usei frequentemente; **(ii)** 1 – Discordo a 5 – Concordo; **(iii)** 1 – Não reduz a 5 – Reduz muito; **(iv) + (v)** 1 – Nada importante a 5 – Extremamente importante.

de preferência 52% das vezes, visível na Figura 3.1. Na Figura 1.1, é observável que 60% dos militares indicam que o sistema atual requer as duas mãos para ser operado e 76% indica que requer o foco do utilizador. Após a observação da informação acima referida, é possível concluir quais os casos de uso de maior pertinência: um sistema que demonstre a localização de forças amigas e inimigas, medidas de controlo da missão, mapa e bússola de modo a minimizar o desconhecimento da posição das unidades no terreno, as falhas de identificação e a má transmissão/receção de ordens através de imagem

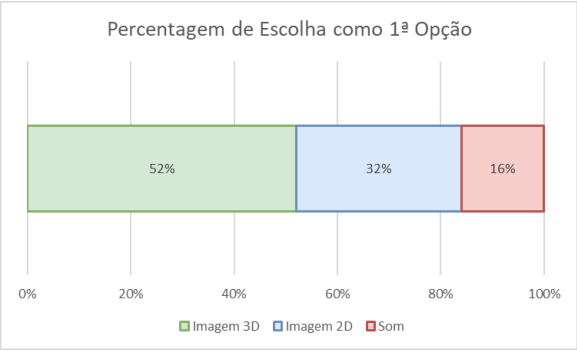


Figura 3.1: Preferência de um sistema

3D. É também possível colmatar a lacuna relativamente ao Exército Português, podendo observar a preferência pelo sistema de imagem 3D e a necessidade de um sistema que reduza o uso das duas mãos e da necessidade do foco do utilizador.

Em suma, neste capítulo foi explicada a elaboração do questionário, baseada no Estado da Arte e publicações do Exército Português, definida a população, e adquiridos os casos de uso mais preponderantes, que foram procurados atenuar com o sistema, sendo o seu desenvolvimento explicado no próximo capítulo.

4

Desenvolvimento do Sistema

Conteúdo

4.1 Arquitetura do Sistema 31

4.2 Desenho da *User Interface* 32

4.3 Construção do Sistema 33

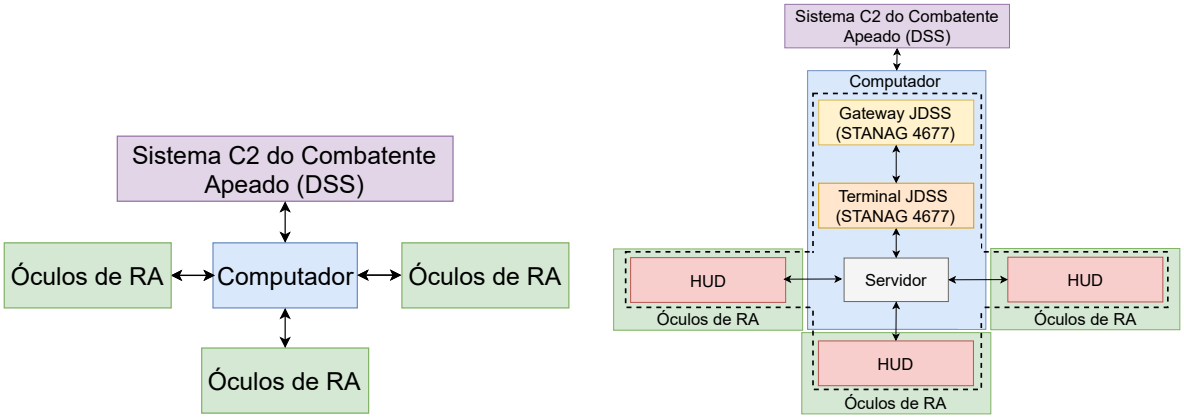
Após a aquisição dos casos de uso, foi iniciado o desenvolvimento do sistema. Neste capítulo, será explicado o processo de desenvolvimento da aplicação, desde a arquitetura do sistema, até ao produto final do mesmo, passando por pontos importantes como o desenho da *User Interface*. O objetivo deste capítulo é explicar os desafios que se apresentaram e as escolhas tomadas, uma vez que a escolha da plataforma de desenvolvimento e das ferramentas que a acompanham alteram consideravelmente o percurso da dissertação.

O início do desenvolvimento teve como principal adversidade o desconhecimento sobre como produzir programas em RA. A estratégia adotada para colmatar esta falha de conhecimento foi o uso de equipamento e *software* com vasta documentação, de modo a aumentar as fontes de informação. Assim, o *Hardware* e *Software* escolhidos para a dissertação são da mesma fabricante/desenvolvedora, a *Microsoft*, o que facilita a integração do equipamento com o *Software Development Kit* (SDK).

4.1 Arquitetura do Sistema

De modo geral, o sistema está dividido em duas partes fundamentais: uma aplicação de computador (servidor) e outra aplicação nos óculos de RA (cliente). A aplicação de computador, alocada, por exemplo num equipamento situado numa tenda num posto de comando, tem como tarefa principal a ligação bidirecional entre o DSS e o equipamento de RA enquanto que a aplicação nos óculos deverá atender à demonstração das informações ao militar no terreno, bem como permitir ao mesmo que envie informações, tal como alertas, para o DSS, como demonstrado na Figura 4.1(a).

De forma mais particular, demonstrada na Figura 4.1(b), temos a aplicação de computador dividida em 3 componentes, a *Gateway*, o Terminal e o Servidor. A *Gateway* tem como função principal a



(a) Arquitetura de alto nível

(b) Arquitetura detalhada do sistema

Figura 4.1: A arquitetura do sistema segue o modelo servidor-cliente. O servidor está alojado num computador e os clientes são óculos de Realidade Aumentada. A tracejado pode ser observado o trabalho realizado na dissertação: os 4 componentes (*Gateway*, Terminal, Servidor e HUD) e a comunicação entre eles

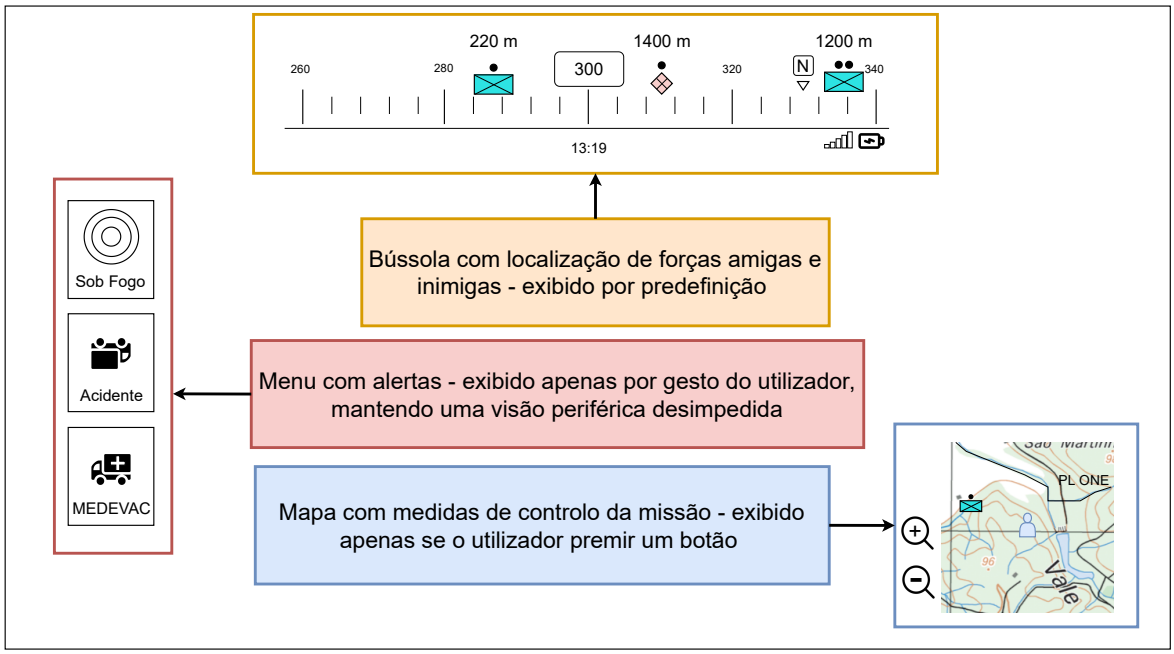
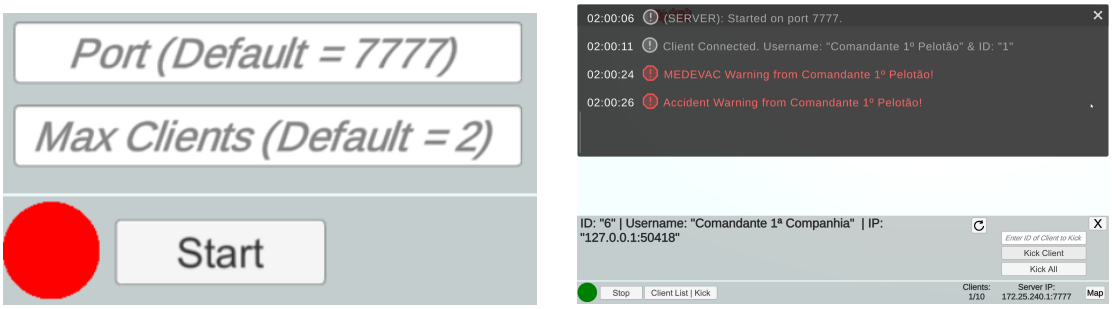


Figura 4.2: Esquema do HUD. Este é baseado nas informações que os militares indicaram como mais importantes no questionário do Capítulo 3 com o objetivo de melhor colmatar as necessidades dos seus utilizadores

receção/envio e conversão de informação entre o DSS e o sistema desenvolvido. O Terminal é empregue com o objetivo de visualizar a informação, permitindo ao utilizador intermédio (por exemplo, um Comandante de Companhia) decidir qual informação segue do DSS para o combatente apeado e vice-versa. O servidor armazena informação sobre unidades no terreno e é responsável por receber/enviar dados entre a aplicação de computador e a aplicação de RA. Os óculos de RA têm apenas um componente principal, o HUD, através do qual, o militar apeado, poderá ver posições de unidades amigas, informações sobre unidades inimigas ou enviar alertas.

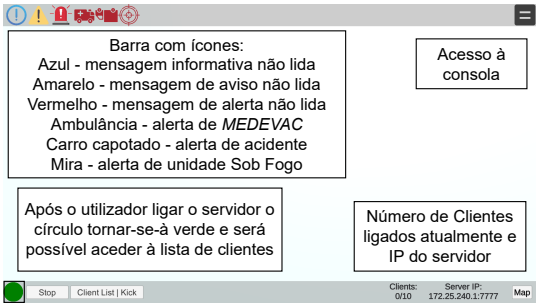
4.2 Desenho da *User Interface*

Das ilações retiradas do questionário do Capítulo 3 é constatável as informações que os participantes mais valorizam. Foi desenhado um esquema inicial com o objetivo de disponibilizar as mesmas da forma menos obstrutiva possível, seguindo os estudos do Capítulo 2, visível na Figura 4.2. Com o objetivo de não sobrecarregar o utilizador com demasiada informação o HUD demonstrará o seu centro vazio a não ser que o mesmo expanda o mapa, onde poderá ter mais informações. Assim, o militar consegue observar informações cruciais, tais como a localização de forças amigas/inimigas sem ter de utilizar as mãos, uma vez que foi o principal caso de uso reportado pelos *stakeholders*. Quando o utilizador pretender aceder a mais informações, podê-lo-á fazer, acedendo ao mapa, que contém as informações. O militar pode enviar os 3 alertas preconizados no DSS, *Sob Fogo* (tropas ativamente em combate com



(a) Menu de início do servidor

(b) Janelas do servidor abertas



(c) Descrição das informações exibidas no servidor

Figura 4.3: Imagens do menu de gestão de rede do servidor

forças inimigas), *Acidente* (incidente com veículos) e *MEDEVAC* (solicitação de evacuação médica, do inglês *medical evacuation*), através de um gesto específico - voltar a palma da mão em direção aos óculos.

A demonstração de informações é baseada em elementos fixos, ou seja, elementos que estão sempre no mesmo local, tendo como ponto de referência os olhos do utilizador. Este tipo de demonstração de informação é mais útil em situações em que se pretende usar RA para aumentar a *situational awareness*, face a informação demonstrada no ambiente real (informação não móvel face aos olhos do utilizador) ou mista (elementos fixos e não fixos) [55].

4.3 Construção do Sistema

Findo o processo de seleção de equipamentos e ferramentas, foi iniciada a construção do sistema de RA em *Unity* para os óculos *Hololens 2*, usando o MRTK e o *Maps* SDK.

(a) Mapa do servidor com várias unidades

(b) Base de dados onde o gestor de rede pode decidir quais unidades são demonstradas nos óculos dos militares

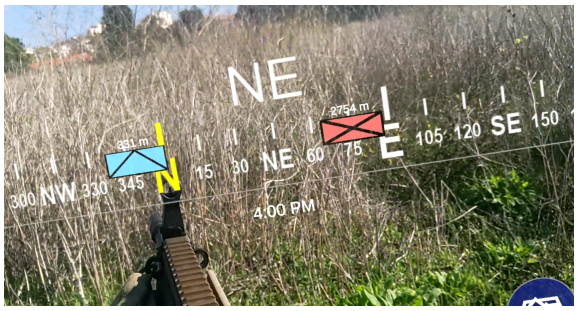
(c) O estilo do mapa pode ser alterado entre visão aérea e visão das estradas. A linhas verdes e laranja representam o trânsito em tempo real, fornecido pelo *Bing Maps*

Figura 4.4: Imagens do mapa do servidor

4.3.1 Servidor

Foi construída uma aplicação de servidor com o objetivo de facilitar a sincronização e disseminação de informações pelo sistema. O servidor, após iniciado, pode enviar/receber alertas e posições de unidades para os clientes, necessitando apenas de ligação à *Internet*.

A *User Interface* (UI) do servidor é simples, tendo apenas uma consola, para leitura de alertas e outras mensagens recebidas, quer dos Clientes, quer da própria aplicação, e 2 menus principais, um para gerir definições de rede e outro para gerir as unidades que são exibidas no mapa. O menu das definições de rede é usado para ligar/desligar o servidor e gerir os clientes que estão conectados ao mesmo. Neste menu, pode ser selecionada a porta e o número máximo de clientes que o servidor aceita e estes dois parâmetros apenas podem ser alterados com o servidor desligado, visível na Figura 4.3(a). Quando o servidor é iniciado é mostrada uma mensagem na consola, a indicar o arranque do mesmo e a porta selecionada para o efeito, como é mostrado no topo da Figura 4.3(b). No menu da gestão



(a) Bússola do HUD demonstrando duas unidades. Uma a 331 metros e outra a 2754 metros

(b) Após o militar rodar a cabeça, a bússola demonstra outras unidades

Figura 4.5: A bússola do HUD demonstra unidades consoante a direção em que o militar está a olhar

de clientes, é mostrada uma janela com a lista dos clientes conectados e a possibilidade de retirar do servidor, exibido na zona inferior da Figura 4.3(b). O menu do mapa apresenta uma UI com um mapa no centro e uma barra de tarefas na zona inferior do ecrã. Nesta barra de tarefas, é possível encontrar um *input field* para procura de localidades/cidades, a alteração do estilo do mapa (satélite ou estradas), a visibilidade de informações de trânsito em tempo real e se o mapa é exibido em 2 ou 3 dimensões. É neste menu que são criadas posições para serem exibidas nos clientes. Para tal, o utilizador apenas tem de indicar a posição no mapa e as informações da unidade. Existe também a possibilidade de apagar estas posições. Após a criação das posições, o utilizador pode enviar as mesma para os clientes. Em caso de alguma unidade conectada ao servidor emitir um alerta, este será automaticamente exibido no servidor através de ícones no topo da UI (Figura 4.3(c)), sendo mais informações exibidas na consola.

4.3.2 Cliente

A aplicação de RA foi desenvolvida com o *Hololens 2* em mente. Para o efeito, foi adquirido um, através de parceria com o Centro de Investigação, Desenvolvimento e Inovação da Academia Militar (CINAMIL).

A aplicação é um HUD, ou seja, é um painel que segue o movimento da cabeça do utilizador e assim, se torna, estático para o utilizador. O utilizador tem acesso a uma bússola 3D que exibe as unidades que estão no sistema, rodando automaticamente conforme a orientação da cabeça do militar, visível na Figura 4.5. O utilizador tem também acesso a um mapa onde pode observar as unidades enviadas pelo Servidor ou armazenadas já no aparelho e pode também enviar posições para o servidor.

Os militares têm disponível um menu de alertas, onde configuram os mesmos alertas do sistema de Comando e Controlo DSS (*MEDEVAC*, Sob Fogo e Acidente). Este menu é apenas ativado quando o militar levanta uma das mãos com a palma voltada para os olhos, visível na Figura 4.6(a). Caso o militar pretenda aceder a um mapa (visível na Figura 4.6(b)), apenas tem de carregar num botão azul, no canto inferior direito do HUD. Este botão, está localizado estrategicamente no canto inferior, de modo a ficar

(a) O painel de alertas apenas é ativado quando o militar vira a palma da mão em direção aos *Hololens 2*

(b) Mapa do HUD

Figura 4.6: Demonstração de alertas e do mapa no *Hololens 2*

quase invisível enquanto o utilizador olha em frente mas permanecendo visível quando o militar olha para o canto inferior direito do HUD.

Em suma, o programa desenvolvido estará nos postos de comando (servidor) e nos militares apeados (clientes), com o objetivo de aumentar a capacidade de Comando e Controlo e a *situational awareness*. O sistema deverá ser utilizado pelos Comandantes de Secção e Pelotão, sendo a versão de Comandante sugerida na Figura 4.7.

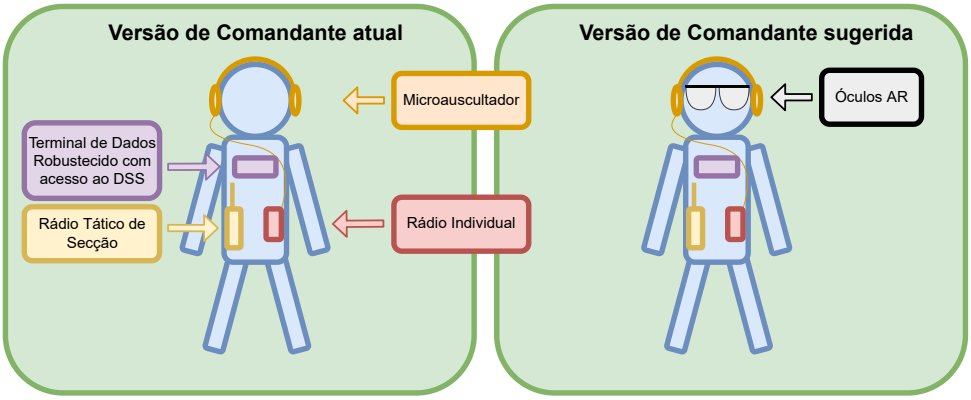


Figura 4.7: Equipamento sugerido

5

Testagem e Avaliação do Sistema

Conteúdo

5.1 Cenário de Estudo 39
5.2 Hipóteses 41
5.3 Resultados 42
5.4 Discussão 46

A testagem do sistema foi realizada no Regimento de Comandos, tendo como participantes 13 militares Comandos. Todos os militares concluíram com sucesso o Curso de Comandos, tendo postos entre Soldado e Tenente. O estudo tem como objetivo principal comparar o sistema de RA desenvolvido com o atual sistema C4I do Exército Português. A comparação é feita através de **3 questionários**: **(1) o *System Usability Scale* (SUS)** (avaliação da usabilidade), **(2) o *National Aeronautics and Space Administration - Task Load Index* (NASA-TLX)** (avaliação da carga mental subjetiva), e **(3) o *Situation Awareness Rating Technique* (SART)** (avaliação da *situational awareness*). Assim, será possível aferir a facilidade de uso de cada um dos sistemas enquanto se comparam as capacidades de informar o combatente. Os resultados dos testes podem ser observados na Tabela 5.1 No final da aplicação dos questionários, foram realizadas entrevistas semiestruturadas a cada um dos 13 militares, para receber *feedback* dos mesmos. Os questionários foram aplicados na seguinte ordem, imediatamente após o estudo: SUS, NASA-TLX e SART. O participante preencheu cada um dos questionários duas vezes (uma para cada sistema) antes de prosseguir para o questionário seguinte.

5.1 Cenário de Estudo

Foi criado um cenário de estudo, com o objetivo de tornar a experiência mais imersiva ao participante e assim, aumentar o realismo do cenário, amplificando a qualidade do estudo. O cenário é uma operação militar, baseada em doutrina e táticas reais [53, 54, 56], sendo a missão do participante resgatar um refém (que neste cenário será chamado de *Very Important Person* (VIP)).

Todos os participantes afirmaram ter conhecimento sobre o atual sistema C4I do Exército Português e estarem familiarizados com o mesmo. Antes do início da missão, o participante recebe formação sobre como operar o sistema de RA durante cerca de 10 a 15 minutos e é informado do objetivo do estudo. O participante não recebe formação adicional sobre o atual sistema do Exército Português, uma vez que tem conhecimento sobre o mesmo, devido à sua experiência profissional como militar, adquirida nos cursos de formação inicial do militar (vulgo, recruta), do curso da tropa especial onde está inserido (curso de Comandos) e da sua especialização.

O estudo está dividido em duas fases: a primeira com o sistema de RA e a segunda com o atual

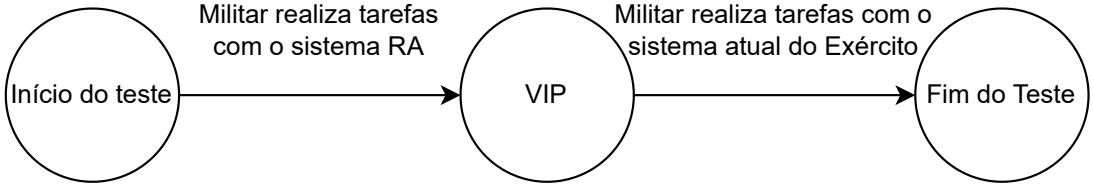


Figura 5.1: Aspeto geral do estudo

sistema do Exército Português, estando os percursos demonstrados na Figura 5.2. Estas fases são realizadas uma após a outra, tendo como ponto de troca de sistema, a chegada do participante ao VIP. Assim, o VIP, para além de se materializar num objetivo real, semelhante a uma operação militar verdadeira [53, 54, 56], também representa o ponto intermédio do teste em que o participante troca os sistemas. O resumo do estudo pode ser observado na Figura 5.1. O militar realiza as mesmas tarefas, com cada um dos sistemas, sendo possível aferir a duração e a taxa de erros/sucesso de cada uma das tarefas. A aferição da duração foi realizada através da gravação de som e imagem durante os testes e posterior análise dos mesmos para aquisição do tempo que cada tarefa demorou a ser realizada. Para a verificação da taxa de erros/sucesso, o autor aferiu o mesmo, através da observação direta *in loco*.

O estudo realizado é do estilo *Within-Subjects* [57] uma vez que não existe o objetivo de minimizar a aprendizagem devido aos militares já saberem os procedimentos e conhecerem o local, mas existe o objetivo de utilizar o mínimo de participantes possível, para minimizar o tempo ocupado a cada um, uma vez que os participantes se encontram em preparação para missão na República Centro-Africana.

Imediatamente antes do início das provas, o participante é informado da localização do VIP e do local onde começará a operação, desconhecendo as tarefas que se realizarão. É informado de que será infiltrado e exfiltrado via helicóptero (isto é, que será colocado e extraído da zona da operação por um helicóptero) com o objetivo de dar mais realismo ao teste, uma vez que na realidade, este se deslocará sempre a pé, e que a sua missão é o resgate do VIP. O militar terá de realizar 6 tarefas com cada um dos 2 sistemas.

1. Descobrir a sua localização;
2. Realizar um pedido de *MEDEVAC*;
3. Realizar um relatório de acidente;
4. Indicar para que lado é Oeste;
5. Receber uma posição;
6. Informar posto de comando da localização duma unidade inimiga.

No início do estudo, o militar estará a deslocar-se dentro do helicóptero (simulado) com o sistema de RA ligado, sendo-lhe indicado que deverá realizar todas as tarefas com o mesmo. É informado de que um carro de combate inimigo dispara contra o helicóptero e o abate, iniciando assim todo o exercício. De seguida, o participante tem de descobrir a sua localização atual e realizar o pedido de evacuação médica e o relatório de acidente. Após estas 3 tarefas, terá de indicar para que lado é Oeste, usando o sistema de RA e receber posições inimigas. A última tarefa é informar o posto de comando da localização de uma unidade inimiga. Após a transmissão da posição inimiga, o militar desloca-se

(a) Percurso com Sistema de RA **(b)** Percurso com Sistema Atual do Exército

Figura 5.2: Percurso dos dois sistemas em estudo

para o VIP, alcançando assim o ponto intermédio do teste, em que é informado de que o seu aparelho de RA ficou sem bateria e deverá utilizar o sistema atual de C4I do Exército Português.

Após o aparelho de RA ser retirado do militar, este é informado de que o VIP foi atingido por um tiro numa perna, tendo o participante de relatar ao escalão superior o pedido de *MEDEVAC* e relatório de acidente. A tarefa seguinte é a indicação do Norte, seguida pela indicação da localização de uma unidade inimiga e pela receção de posições inimigas. O exercício termina quando o militar realiza a última tarefa: a descoberta da sua localização, com o objetivo do helicóptero o ir buscar. Neste estudo, foi dado ênfase à verosimilhança com uma operação real, com objetivo de tornar a experiência o mais real possível, dando ao militar uma experiência que lhe permita avaliar os sistemas de forma autêntica.

5.2 Hipóteses

As hipóteses deste estudo foram criadas com base no estado da arte sobre sistemas de RA para aumento da *situational awareness*. Relativamente à *situational awareness*, a atual literatura [58, 59] é extensa e aparenta ser consensual, afirmando que a tecnologia tem o potencial de incrementar a *situational awareness* com sucesso, sendo possível definir a **Hipótese 1**. É constatável num estudo [60] que avalia a carga mental subjetiva e a *situational awareness* num cenário colaborativo, que o esforço temporal auto-reportado pelos utilizadores com equipamento RA é menor do que o reportado pelos

utilizadores que não têm acesso ao sistema de RA, sendo definida a **Hipótese 2**. Num estudo [61] que avalia a *situational awareness* e o esforço físico auto-reportado em pilotos de helicóptero, foi notável a diminuição do esforço físico nos pilotos que utilizaram um *Head Mounted Display* (HMD) em óculos *Hololens 2*, sendo definida a **Hipótese 3**, conforme os resultados do estudo mencionado [61].

Apesar de ser verificável a existência de estudos sobre sistemas de incremento da *situational awareness* em ambiente militar, estes sugerem sistemas, arquiteturas e/ou realizam uma recolha sistemática do estado da arte, porém são reduzidos os casos em que estes estudos em âmbito militar recolhem diretamente a usabilidade, a carga mental subjetiva ou até mesmo a *situational awareness*. Por este motivo, as hipóteses definidas para este estudo, assentam principalmente em estudos de sistemas civis.

Hipótese 1: Aumento da *situational awareness* dos participantes enquanto usam o sistema de RA em comparação quando não usam o sistema. [58, 59].

Hipótese 2: Redução do esforço temporal auto-reportado pelos participantes quando usam o sistema de RA em comparação quando não usam o sistema [60].

Hipótese 3: Redução do esforço físico auto-reportado pelos participantes quando usam o sistema de RA em comparação quando não usam o sistema [61].

Relativamente à usabilidade em sistemas de RA com o objetivo de aumentar a *situational awareness*, não existem estudos que sustentem a criação de uma hipótese, contudo será explorado se o sistema proposto tem uma maior usabilidade que o atual sistema, de modo a aferir a facilidade de ambos os sistemas, e assim compará-los.

5.3 Resultados

Com os resultados obtidos dos 3 questionários e do tempo de realização medido, foram realizados teste-T para amostras pareadas/emparelhadas (*paired samples T-test*) entre o Sistema de RA e o Sistema atual do Exército Português, para a obtenção de resultados. Os resultados são reportados da seguinte forma [62]: *Houve [ou não] uma diferença significativa na [variável de resposta de interesse] entre [grupo1] (M = [Média], DP = [desvio padrão]) e [grupo2] (M = [Média], DP = [padrão desvio]); t(degrees of freedom) = [valor-t], p = [valor-p].* São primeiro reportados todos os resultados estatisticamente significantes e depois todos os resultados não significantes, sendo ordenados pela ordem em que cada métrica está definida. Os resultados são visíveis na Tabela 5.1.

5.3.1 *System Usability Scale*

Para avaliar a usabilidade do sistema, foi empregue o SUS. Como referido no início do Capítulo 5, foram realizados *paired samples T-test*, tendo sido observada **uma diferença significativa** na **(1) Usabilidade**

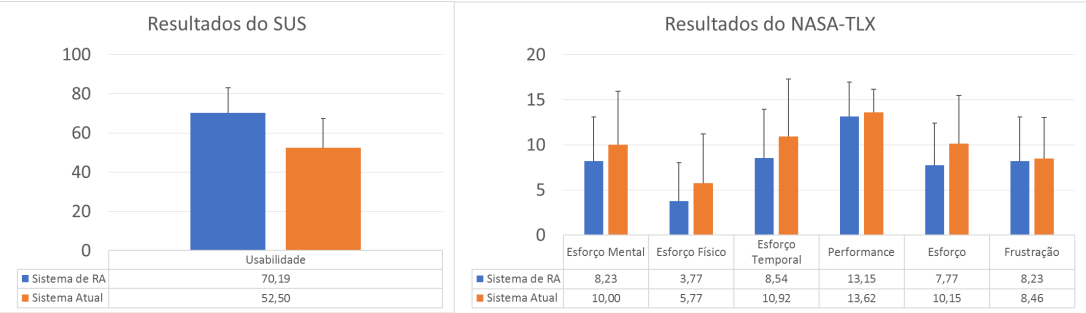


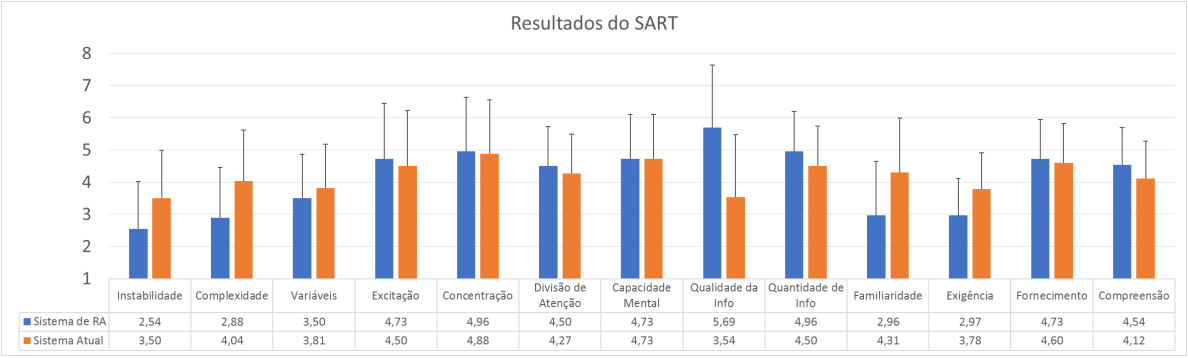
Figura 5.3: Gráficos com os resultados do SUS (lado esquerdo) e do NASA-TLX (lado direito)

entre o Sistema de RA (M = 70.19, DP = 12.97) e o Sistema Atual do Exército Português (M = 52.50, DP = 14.83); t(12) = 4.20, p = 0.001, visível no lado esquerdo da Figura 5.3.

5.3.2 *NASA-Task Load Index*

A carga mental subjetiva foi avaliada através do NASA-TLX, sendo realizados seis *paired samples T-test*, dos quais **três foram estatisticamente significantes** (Exigência Física, Exigência Temporal e Esforço), sendo o sistema proposto melhor avaliado que o sistema atual nas três categorias. Foi observada uma diferença significativa no **(1) Exigência Física** (*Physical Demand*) auto-reportado entre o Sistema de RA (M = 3.77, DP = 4.27) e o Sistema Atual do Exército Português (M = 5.77, DP = 5.46); t(12) = -2.38, p = 0.035. Também o **(2) Exigência Temporal** (*Temporal Demand*) auto-reportado foi menor no Sistema de RA (M = 8.54, DP = 5.41) e o Sistema Atual do Exército Português (M = 10.92, DP = 6.36); t(12) = -2.18, p = 0.05. Relativamente ao **(3) Esforço** (*Effort*) auto-reportado, houve uma diferença significativa entre o Sistema de RA (M = 7.77, DP = 4.66) e o Sistema Atual do Exército Português (M = 10.15, DP = 5.32); t(12) = -2.64, p = 0.02.

Foram realizados **três testes não estatisticamente significantes** (Esforço Mental, Performance e Frustração). Não houve uma diferença significativa no **(1) Esforço Mental** auto-reportado (*Mental Demand*) entre o Sistema de RA (M = 8.23, DP = 4.85) e o Sistema Atual do Exército Português (M = 10.00, DP = 5.92); t(12) = -1.11, p = 0.29. Não houve uma diferença significativa na **(2) Performance** auto-reportada entre o Sistema de RA (M = 13.15, DP = 3.78) e o Sistema Atual do Exército Português (M = 13.62, DP = 2.53); t(12) = -0.52, p = 0.61. Não houve uma diferença significativa na **(3) Frustração** (*Frustration*) auto-reportada entre o Sistema de RA (M = 8.23, DP = 4.85) e o Sistema Atual do Exército Português (M = 8.46, DP = 4.56); t(12) = -0.16, p = 0.88. Os resultados estão visíveis no lado direito da Figura 5.3.



	Instabilidade	Complexidade	Variáveis	Excitação	Concentração	Divisão de Atenção	Capacidade Mental	Qualidade da Info	Quantidade de Info	Familiaridade	Exigência	Fornecimento	Compreensão
Sistema de RA	2,54	2,88	3,50	4,73	4,96	4,50	4,73	5,69	4,96	2,96	2,97	4,73	4,54
Sistema Atual	3,50	4,04	3,81	4,50	4,88	4,27	4,73	3,54	4,50	4,31	3,78	4,60	4,12

Figura 5.4: Gráfico com os resultados do SART

5.3.3 *Situational Awareness Rating Technique*

A avaliação da *situational awareness* foi realizada através do SART, tendo sido realizados catorze testes, dos quais **quatro foram estatisticamente significantes** (Complexidade, Qualidade da Informação, Familiaridade e Exigência), estando os resultados exibidos na Figura 5.4. Foi observado um valor estatisticamente relevante na **(1) Complexidade** tendo o Sistema de RA registado (M = 2.88, DP = 1.21) e o Sistema Atual (M = 4.04, DP = 1.57); t(12) = -1.04, p = 0.05. Na **(2) Qualidade da Informação** foram registados valores significantes entre o Sistema de RA (M = 5.69, DP = 0.95) e o Sistema Atual (M = 3.54, DP = 1.94); t(12) = 3.37, p = 0.01. Também para a **(3) Familiaridade** foi registado um valor estatisticamente significante entre o Sistema de RA (M = 2.96, DP = 1.65) e o Sistema Atual (M = 4.31, DP = 1.69); t(12) = -2.70, p = 0.02. Foi observado um valor estatisticamente significativo na **(4) Exigência** (*Demand*), para manter a *situational awareness* entre o Sistema de RA (M = 2.97, DP = 0.82) face ao Sistema Atual do Exército Português (M = 3.78, DP = 1.00); t(12) = -2.64, p = 0.02.

Foram realizados **dez testes que não obtiveram relevância estatística**. Não foi observado um resultado estatisticamente relevante na **(1) Instabilidade** entre o Sistema de RA (M = 2.54, DP = 1.27) e o Sistema Atual (M = 3.50, DP = 1.49); t(12) = -2.05, p = 0.06. Não foi observado um resultado estatisticamente relevante no número de **(2) Variáveis** entre o Sistema de RA (M = 3.50, DP = 1.24) e o Sistema Atual (M = 3.81, DP = 1.36); t(12) = -0.69, p = 0.57. Não foi observado um resultado estatisticamente relevante na **(3) Excitação** entre o Sistema de RA (M = 4.73, DP = 1.32) e o Sistema Atual (M = 4.50, DP = 1.72); t(12) = 0.45, p = 0.66. Não foi observado um resultado estatisticamente relevante na **(4) Concentração** entre o Sistema de RA (M = 4.96, DP = 1.44) e o Sistema Atual (M = 4.88, DP = 1.67); t(12) = 0.21, p = 0.84. Não foi observado um resultado estatisticamente relevante na **(5) Divisão de Atenção** entre o Sistema de RA (M = 4.50, DP = 1.49) e o Sistema Atual (M = 4.27, DP = 1.22); t(12) = 0.52, p = 0.61. Não foi observado um resultado estatisticamente relevante na **(6) Capacidade Mental** entre o Sistema de RA (M = 4.73, DP = 1.41) e o Sistema Atual (M = 4.73, DP = 1.38); t(12) =8 , p = 1. Não foi observado um resultado estatisticamente relevante na **(7) Quantidade**

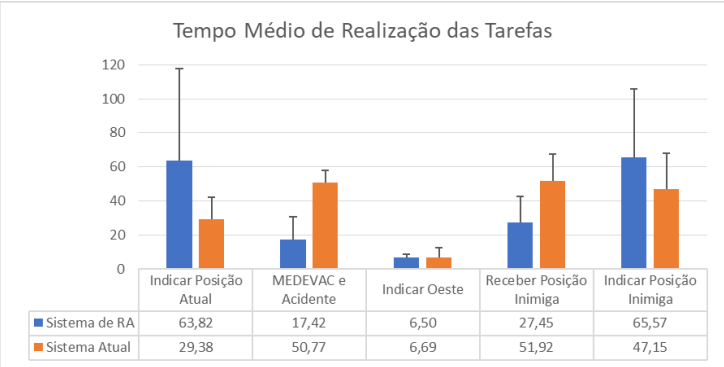


Figura 5.5: Gráfico com o tempo de execução das tarefas

de Informação entre o Sistema de RA (M = 4.96, DP = 1.14) e o Sistema Atual (M = 4.50, DP = 1.24); t(12) = 1.31, p = 0.21.

Não houve uma diferença significativa no domínio do **(8) Fornecimento** (*Supply*) da *situational awareness* entre o Sistema de RA (M = 4.73, DP = 1.11) e o Sistema Atual do Exército Português (M = 4.60, DP = 1.22); t(12) = 0.68, p = 0.68. Não foi observada uma diferença significativa no domínio do **(9) Compreensão** (*Understanding*) da *situational awareness* entre o Sistema de RA (M = 4.54, DP = 0.59) e o Sistema Atual do Exército Português (M = 4.12, DP = 1.16); t(12) = 1.32, p = 0.21. Relativamente à medição final do SART, a **(10) *Situational Awareness***, não foi constatada nenhuma diferença significativa, entre o Sistema de RA (M = 23.62, DP = 6.99) e o Sistema Atual do Exército Português (M = 19.38, DP = 8.03); t(12) = 2.10, p = 0.06.

5.3.4 Métricas Objetivas

Nas métricas objetivas foram medidos os tempos de execução de várias tarefas que os militares devem executar quando estão apeados [53, 54], podendo os resultados ser observados na Figura 5.5. Foram realizados seis *t-tests*, sendo **três estatisticamente significativos**. Houve uma diferença significativa nos **(1) alertas de *MEDEVAC* e Acidente** para o escalão superior entre o Sistema de RA (M = 17.42, DP = 13.17) e o Sistema Atual do Exército Português (M = 50.77, DP = 7.08); t(12) = -7.80, p = 0.01. Foi observada uma diferença significativa relativamente à **(2) Receção de Posições Inimigas** entre o Sistema de RA (M = 27.45, DP = 15.17) e o Sistema Atual do Exército Português (M = 51.92, DP = 15.79); t(12) = 2.34, p = 0.04. Houve também uma diferença significativa no **(3) Número de Erros** realizados pelo utilizador entre o Sistema de RA (M = 0.08, DP = 0.28) e o Sistema Atual do Exército Português (M = 0.77, DP = 0.73); t(12) = -3.32, p = 0.01.

Foram realizados **três t-tests não significativos estatisticamente**. Relativamente à declaração da **(1) Posição Atual**, não foi registada uma diferença estatisticamente significante entre o Sistema de RA (M = 63.82, DP = 53.81) e o Sistema Atual do Exército Português (M = 29.38, DP = 12.84); t(12) = 1.94,

Teste	Variável	Sistema RA		Sistema Atual		Valor		
		M	DP	M	DP	T	DF	P
SUS	Usabilidade	70.19	12.97	52.50	14.83	4.20	12	.001
NASA-TLX	Esforço Mental	8.23	4.85	10.00	5.92	-1.11	12	.287
	Esforço Físico	3.77	4.27	5.77	5.46	-2.38	12	.035
	Esforço Temporal	8.54	5.41	10.92	6.36	-2.18	12	.049
	Performance	13.15	3.78	13.62	2.53	-0.52	12	.613
	Esforço	7.77	4.66	10.15	5.32	-2.64	12	.021
	Frustração	8.23	4.85	8.46	4.56	-0.16	12	.875
SART	Instabilidade	2.54	1.27	3.50	1.49	-2.05	12	.063
	Complexidade	2.88	1.21	4.04	1.57	-1.04	12	.050
	Variáveis	3.50	1.24	3.81	1.36	-0.69	12	.566
	Excitação	4.73	1.32	4.50	1.72	0.45	12	.658
	Concentração	4.96	1.44	4.88	1.67	0.21	12	.837
	Divisão de Atenção	4.50	1.49	4.27	1.22	0.52	12	.610
	Capacidade Mental	4.73	1.41	4.73	1.38	0	12	.999
	Qualidade da Informação	5.69	0.95	3.54	1.94	3.37	12	.006
	Quantidade de Informação	4.96	1.14	4.50	1.24	1.31	12	.213
	Familiaridade	2.96	1.65	4.31	1.69	-2.70	12	.019
	Exigência	2.97	0.82	3.78	1.00	-2.64	12	.022
	Fornecimento	4.73	1.11	4.60	1.22	0.68	12	.675
	Compreensão	4.54	0.59	4.12	1.16	1.32	12	.209
	Situational Awareness	23.62	6.99	19.38	8.03	2.10	12	.057
Tarefas	Indicar Posição Atual	63.82	53.81	29.38	12.84	1.94	12	.076
	MEDEVAC e Acidente	17.42	13.17	50.77	7.08	-7.80	12	.010
	Indicar Oeste	6.50	1.91	6.69	6.09	-0.15	12	.879
	Receber Posição Inimiga	27.45	15.17	51.92	15.79	2.34	12	.039
	Indicar Posição Inimiga	65.57	40.13	47.15	20.92	1.52	12	.170
	Erros realizados	0.08	0.28	0.77	0.73	-3.32	12	.008

Tabela 5.1: Tabela com os resultados dos *paired t-tests* realizados aos valores medidos nos 3 questionários. A verde estão assinalados os 11 resultados estatisticamente significantes ($p < 0.05$). M é a média, DP é o desvio-padrão, T é o resultado do *t-test*, DF são os *degrees of freedom* e o P é o *p-value*

p = 0.08. Não foi constatada nenhuma diferença significativa na indicação de qual direção é **(2) Oeste** (azimutes) entre o Sistema de RA (M = 6.50, DP = 1.91) e o Sistema Atual do Exército Português (M = 6.69, DP = 6.09); t(12) = -0.15, p = 0.88. O **(3) Envio de Posições Inimigas** para o escalão superior também não apresentou diferenças estatisticamente significantes entre o Sistema de RA (M = 65.57, DP = 40.13) e o Sistema Atual do Exército Português (M = 47.15, DP = 20.92; t(12) = 1.52, p = 0.17).

5.4 Discussão

Dos 27 *t-tests* aplicados, foi possível aferir **onze resultados estatisticamente significantes** ($p < 0.05$), estando representados a verde na Tabela 5.1. Começando com o resultado do SUS (lado esquerdo da Figura 5.3), podemos concluir que **(1) a Usabilidade** do sistema de RA (70.19) é ligeiramente acima da média (68) [63, 64], apresentando assim uma usabilidade cerca de 25% maior que o sistema atual do Exército (52.50). Apesar de não existir literatura sobre a usabilidade de sistemas de RA militar em

comparação com sistemas de Exércitos, é possível refletir sobre o cálculo desta métrica. A usabilidade é calculada através do SUS, usando uma fórmula que compara dez questões, todas com o mesmo peso no resultado final da equação. Na Tabela 5.2, é possível observar que todos os resultados tendem a apoiar o sistema de RA, isto é, todo os resultados indicam que o sistema de RA tem maior usabilidade do que o sistema atual do Exército Português. Porém, isto não significa diretamente que o sistema de RA é melhor que o sistema atual, apenas significa que o sistema tem uma usabilidade mais elevada. O sistema de RA não dispõe de várias funcionalidades que o atual sistema do Exército desfruta, tais como salto em frequência e o envio de dados de voz, o que torna o sistema proposto impossível de aplicar num campo de batalha atual. Concluindo, os resultados do SUS indicam uma maior usabilidade do sistema de RA face ao sistema do Exército, contudo esta métrica apenas avalia a facilidade de uso do sistema e não as capacidades do mesmo.

No NASA-TLX, foi aferido um **(2) Esforço Físico** auto-reportado 34% menor. Este resultado vai diretamente de encontro à **Hipótese 2** e pode ser justificado com a diferença de peso dos equipamentos que o militar tem de envergar. No sistema de RA, o militar apenas tem de envergar os óculos, neste caso os *Hololens 2*, que pesam aproximadamente 560 gramas. O militar, ao usar o sistema atual do Exército, deve envergar o rádio, a carta militar/GPS/mapa, escalímetro e bússola. Caso o rádio seja o atual rádio de campanha utilizado a nível de pelotão, o 525, este pesa cerca de 5.9 kg [65]. Assim, é compreensível que o esforço físico auto-reportado dos militares seja muito menor quando utilizado o sistema de RA, contudo é necessário observar que o rádio 525 tem diversas capacidades que o sistema proposto não tem, tais como proteção ao choque e bateria com maior duração [65]. Os valores do **(3) Esforço Temporal** auto-reportado cumprem as expectativas da **Hipótese 3**, uma vez que os valores do sistema proposto são 21% menores que o do sistema atual do Exército. O mesmo é corroborado pelos militares nas entrevistas que afirmam que ao utilizar o sistema de RA se sentem menos apressados e menos pressionados a realizar as tarefas, porque requerem tarefas intermédias para realizar as mesmas (por exemplo abrir o bolso para alcançar o mapa e a bússola), isto é, uma maior facilidade em realizar as tarefas traduz-se numa menor pressão no indivíduo de realizar a mesma. O **(4) Esforço** apresentou também uma diferença estatisticamente significante, tendo sido observada uma redução do esforço de 31% quando os militares envergavam o sistema de RA. Os militares afirmaram que para alcançar o mesmo nível de performance com o atual sistema do Exército, tinham uma maior preocupação com os equipamentos que utilizavam, por exemplo, em que local estava armazenado um determinado equipamento, e que este empenho acrescido leva a uma crença de que se esforçaram mais do que ao usar o sistema de RA.

No SART, foi aferido que a **(5) Complexidade** apresenta um valor estatisticamente relevante. Os militares afirmam que a situação se torna, em média, quase 29% mais complexa quando se usa o sistema do Exército, face ao sistema de RA. O mesmo é justificado pelos militares, que afirmam que a

situação tem diversos componentes interligados quando se usa o sistema do Exército, e que quando se usa o sistema de RA a mesma situação se torna ligeiramente mais fácil de compreender. Foi observado um aumento na **(6) Qualidade da Informação** de aproximadamente 38%, que pode ser explicada pelo método como a informação é transmitida ao militar. No sistema atual, a informação é transmitida via rádio, em que o militar recebe e transmite informações através da voz. Caso a mensagem seja transmitida com interferências, o militar terá apenas porções da mensagem total, tornando a mensagem mais difícil de compreender. No sistema de RA, a informação é recebida de forma textual, permitindo ao militar aceder à mesma várias vezes, facilitando o processo de aquisição da mesma. Assim, é concluído que, apesar da mensagem ser a mesma, o facto do militar ter acesso à mesma informação múltiplas vezes, aumenta significativamente a qualidade da mesma. A **(7) Familiaridade** com a situação apresentou um resultado favorável ao sistema atual do Exército, tendo sido registados resultados 31% mais elevados do que no sistema de RA. Este resultado é explicável pela diferença significativa da quantidade de tempo que os militares despenderam com cada um dos sistemas. O sistema atual está enraizado na experiência dos militares, que treinam com o mesmo há muito mais tempo do que com sistema de RA. A **(8) Exigência** para manter o mesmo nível de *situational awareness* foi 21% menor no sistema de RA o que se apresenta como um resultado favorável ao mesmo. O cálculo da exigência é feito através dos resultados da instabilidade da situação, número de variáveis e complexidade da situação, todos aferidos através dos questionários. É observável que os três resultados suportam o sistema de RA em detrimento do sistema atual, sendo referido nas entrevistas que o sistema de RA facilita aspetos como a aquisição da localização atual, diminuindo a exigência para o militar.

Na realização das tarefas, foi possível constatar que os alertas de **(9) *MEDEVAC* e Acidente** são realizados cerca de 33 segundos mais rápido com o sistema de RA, demorando assim cerca de 17 segundos a realizar os dois alertas. Assim, a realização dos alertas é 190% mais rápida do que com o sistema atual e a justificação para o mesmo prende-se com a redução do número de passos e subsequente diminuição do tempo para realizar os alertas, isto é, para realizar um alerta com o sistema atual o militar demora mais tempo, porque a tarefa em si tem mais passos intermédios. Com o sistema atual, o militar para realizar um alerta apenas tem de levantar a mão e carregar no alerta correspondente com a outra mão, enquanto que no sistema atual, o militar primeiro tem de contactar a base, aguardar que a base o informe de que está à escuta e só depois é que poderá realizar o alerta. A tarefa de **(10) Receber uma Posição Inimiga** é realizada 90% mais rápida com o sistema de RA do que com o sistema atual do Exército, sendo o mesmo justificado com o mesmo racional dos alertas. A diminuição de passos intermédios quando se pretende aceder a uma posição inimiga é o principal fator para a realização desta tarefa de forma mais rápida. O último resultado significativo estatisticamente é o número de **(11) Erros Realizados**, tendo sido observada uma diminuição dos erros de aproximadamente 90%. Nas tarefas realizadas, foram observados 10 erros quando os militares realizaram as

#	Pergunta	Sistema RA	Sistema Atual
1	Considero que gostaria de usar este sistema frequentemente	3.7	3.1
2	Considero o sistema desnecessariamente complexo	2.1	2.7
3	Considero o sistema fácil de usar	3.6	2.8
4	Eu acho que precisaria do apoio de uma pessoa técnica para ser capaz de usar este sistema	2.4	2.6
5	Considero que as várias funções deste sistema foram bem integradas	4.0	3.5
6	Considero que havia demasiada inconsistência neste sistema	2.5	2.8
7	Imagino que a maioria das pessoas iria aprender a usar este sistema muito rapidamente	4.2	3.0
8	Considero o sistema muito pesado para usar	1.6	2.7
9	Senti-me muito confiante enquanto usava o sistema	3.5	3.2
10	Precisei de aprender muitas coisas antes de poder começar a usar este sistema	2.4	3.8

Tabela 5.2: Questões do SUS. Os militares responderam com uma escala *likert* em que 1 significava *Discordo Fortemente* e 5 significava *Concordo Fortemente. A verde estão avaliadas as respostas que mais sobem a Usabilidade. É constatável que todas as respostas favorecem o sistema de RA*

tarefas com o sistema atual e 1 erro quando realizaram as mesmas tarefas com o sistema de RA. Dos 10 erros, metade são diretamente relacionados com coordenadas. Os restantes 6 erros estão divididos pela emissão de alertas (2 erros) e indicação de um azimute (2 erros). O erro realizado com o sistema de RA foi realizado aquando a receção de uma posição inimiga, ou seja, também é relacionado com coordenadas. Através das entrevistas, foi possível concluir que os militares têm uma maior facilidade em utilizar o mapa virtual do que o mapa real, uma vez que no mapa virtual as unidades já estão graficadas, isto é, já estão desenhadas diretamente no mapa, enquanto que no mapa real, o próprio militar é que grafica a unidade no mapa, criando assim espaço para interpretação humana e erro humano. Outro ponto que justifica um maior número de erros no sistema atual do que no sistema de RA é o facto do mapa utilizado no estudo utilizar coordenadas geográficas e não as coordenadas militares que os participantes estão acostumados a utilizar no seu treino operacional. Nas entrevistas, foi declarado por militares que o facto do mapa ter um sistema de coordenadas diferente das cartas militares não era incómodo, uma vez que as coordenadas geográficas são utilizadas frequentemente no mundo civil, por exemplo, nos sistemas de GPS. Contudo, um militar deu especial ênfase a esta diferença de sistema de coordenadas, afirmando que esta mudança tornou o teste mais frustrante e mais exigente mentalmente. Se observarmos apenas os erros que não envolvem diretamente coordenadas, é constatável que no sistema de RA não foi cometido nenhum erro e no sistema atual, foram cometidos quatro erros. Em suma, o sistema de RA reduziu o número de erros cometidos pelos militares, não só em tarefas que envolvem coordenas, mas também na emissão de alertas e na indicação de azimutes. O estudo realizado apresenta uma falha, uma vez que foi utilizada uma carta com coordenadas geográficas ao invés de coordenadas militares, sendo este assunto discutido novamente nas limitações do estudo.

Uma vez discutidos todos os resultados estatisticamente significantes, será discutido o porquê da

Hipótese 1 não ter alcançado o valor expectável. É observável que a relevância estatística esteve próxima de ser alcançada ($p = 0.57$) e que a *situational awareness* com o sistema de RA foi quase 18% mais elevada do que com o sistema atual. É de destacar a Familiaridade (31% mais elevada no sistema atual) como sendo o único valor que suporta o sistema atual em detrimento do sistema de RA com todas as outras variáveis apoiando o sistema proposto, em exceção da Capacidade Mental, onde se observou uma igualdade nos resultados. O mesmo é corroborado pelas entrevistas aos militares, realizadas após os testes e questionários, em que vários participantes afirmaram uma maior capacidade de atenção, devido ao número reduzido de equipamentos e peso, isto é, a centralização de ferramentas nos óculos de RA leva a uma maior facilidade e rapidez de realização das tarefas no terreno, o que permite ao militar estar mais atento ao que o rodeia, sendo o mesmo corroborado com uma redução de aproximadamente 90% do número de erros. Em suma, existem fortes indicações que o sistema de RA aumente a *situational awareness* face ao atual sistema do Exército Português (resultados do SART, diminuição do número de erros e entrevistas) contudo não é possível confirmar a **Hipótese 1**.

6

Conclusões

Conteúdo

6.1 Limitações 53

6.2 Conclusões 53

6.3 Trabalho Futuro 54

Terminada a discussão dos resultados obtidos pela testagem/avaliação do sistema, serão agora abordadas as conclusões da dissertação em si, tal como as limitações e trabalho futuro.

6.1 Limitações

As limitações abordadas são da índole do trabalho diretamente produzido na dissertação, não sendo abordadas eventuais limitações do equipamento de RA utilizado, como, por exemplo, a bateria. Apesar da literatura sobre sistemas de RA para aumento da *situational awareness* ser extensa, esta pouco aborda o contexto de militares diretamente no terreno, sendo por isso a primeira limitação da dissertação. A pouca literatura neste âmbito deve-se ao facto de existirem poucos sistemas desenvolvidos e assim pouca documentação divulgada publicamente, sendo encontrado apenas um estudo neste âmbito [46].

A segunda limitação é a amostra de militares que realizaram o estudo, uma vez que apenas 13 militares utilizaram o sistema e o confrontaram com o sistema atual, sendo todos do mesmo Regimento. A de um único Regimento deve-se ao facto de ser o único Regimento de tropas especiais no distrito de Lisboa, sendo geograficamente mais próximo das instalações da Academia Militar, onde esta dissertação foi realizada.

A terceira limitação é a utilização de coordenadas geográficas no estudo realizado, ao invés de coordenadas militares. Foi escolhido o uso de coordenadas geográficas face a coordenadas militares uma vez que no estudo realizado não importava aferir se o militar sabia adquirir as coordenadas, mas sim, aferir se este as adquiria com sucesso. Assim as coordenadas tanto poderiam ser num formato, como noutro. Apesar do tipo de coordenadas não ser relevante para o estudo em si, este facto foi discutido nas entrevistas, havendo um militar que afirmou uma maior dificuldade em utilizar este sistema de coordenadas.

6.2 Conclusões

Terminada a dissertação, é possível refletir sobre os contributos da mesma, confrontando o trabalho realizado com os Objetivos definidos. O questionário elaborado comprovou-se como uma ferramenta importante, demonstrando as vontades e necessidades dos militares do Exército Português através das quais foram levantados os casos de uso que o sistema deveria colmatar. Este questionário foi também significativo em suprir a inexistência de literatura sobre RA militar em Portugal, no contexto de emprego por militares apeados. Assim, este questionário apresenta-se como um dos principais contributos da dissertação. A *Gateway* foi desenvolvida, estando funcional e capaz de receber informações no formato do STANAG 4677, contudo não foi possível testar oportunamente com o DSS. O objetivo de testar com

o DSS é a demonstração da capacidade do sistema desenvolvido de ser interoperável com sistemas de outros países da OTAN, o que não foi possível aferir, uma vez que este sistema ainda se encontra em fase de implementação no Exército Português, não sendo por isso possível testar a *Gateway* com o mesmo. O desenvolvimento do sistema abrange também o desenho e criação do HUD em RA, tendo este sido testado no Regimento de Comandos por 13 militares. O HUD foi testado e avaliado, tendo sido confrontado com o atual sistema do Exército Português, onde foram obtidos resultados relevantes tais como uma usabilidade 25% maior que o sistema do Exército Português, uma redução do esforço de 31% face ao sistema atual e uma diminuição do número de erros em cerca de 90%.

Através das entrevistas, questionários e avaliações, foi aferido que é possível aumentar a capacidade de Comando e Controlo e de *situational awareness* dos combatentes apeados quando usam o sistema de RA. Foi concluído que a RA é uma tecnologia viável para aplicação militar, no âmbito dos sistemas de C2, com o objetivo de aumento da *situational awareness*. Isto deve-se primariamente à demonstração da informação do sistema C2, sobreposta ao mundo real, acelerando os processos que os militares realizam no terreno, como a receção de posições ou a emissão de alertas. Apesar destas conclusões e resultados encorajadores, é necessário dar ênfase ao facto de que o sistema proposto não pode ser colocado no campo de batalha de modo imediato. Existem melhorias a ser feitas, não só no sistema mas também no *hardware*. Esta dissertação demonstra-se assim como uma prova de conceito da RA aplicada aos Sistemas de Combate do Soldado.

6.3 Trabalho Futuro

Uma vez adquirida uma base de trabalho, isto é, foi aferido que a tecnologia é viável para aplicação militar (através da aquisição dos casos de uso, questionários e entrevistas), o processo de I&D deve passar pela integração da indústria de RA com o Exército, quer ao nível do desenvolvimento de um sistema, compatível com os STANAGs e com os sistemas de Comando e Controlo, atualmente em uso no Exército Português, quer ao nível do fabrico de um equipamento de RA, robusto e com autonomia suficiente para o emprego em operações militares. Deve ser realizado um estudo mais abrangente, sendo integradas mais tropas especiais e eventualmente outros ramos das Forças Armadas. Face à pertinência desta tecnologia e desta investigação, foi submetido um projeto no CINAMIL que visa dar continuidade à investigação desenvolvida, que entre os próximos objetivos, pretende testar a *Gateway* com diretamente com o DSS, assim que este se encontrar implementado no Exército Portugês. É também objetivo desse projeto implementar o STANAG 5527, aumentando assim ainda mais a interoperabilidade do sistema de RA. Uma sugestão para trabalhos futuros no âmbito dos Sistemas de Combate do Soldado, é o estudo dos mesmos em exercícios internacionais, como o CWIX, testando a sua interoperabilidade com outros países.

Bibliografia

[1] Sun-Tzu, *The Art of War*. Harper Collins Publishers, 2008.

[2] North Atlantic Treaty Organization, "What is NATO?" [Online]. Available: https://www.nato.int/nato-welcome/index.html

[3] Exército Português, *PDE 2-00 Informações, Contra-Informação e Segurança*. Estado-Maior do Exército, 2009.

[4] M. Silva, *Plano de Implementação do Sistema de Informação e Comunicações Táctico (SIC-T)*. Divisão de Comunicações e Sistemas de Informação, Estado-Maior do Exército, 2011.

[5] X. You, W. Zhang, M. Ma, C. Deng, and J. Yang, "Survey on urban warfare augmented reality," *International Journal of Geo-Information*, 2018.

[6] C. Webb and K. Hewett, *An Analysis of U.S. Army Fratricide Incidents during the Global War on Terror (11 September 2001 to 31 March 2008)*. United States Army Aeromedical Research Laboratory, 2010. [Online]. Available: https://man.fas.org/eprint/fratricide.pdf

[7] T. Cheng and J. Teizer, "Modeling Tower Crane Operator Visibility to Minimize the Risk of Limited Situational Awareness," *Journal of Computing in Civil Engineering*, no. 3, p. 04014004, May 2014. [Online]. Available: http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29CP.1943-5487.0000282

[8] N. Stanton, P. Chambers, and J. Piggott, "Situational awareness and safety," *Safety Science*, vol. 39, no. 3, pp. 189–204, Dec. 2001. [Online]. Available: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925753501000108

[9] C. Schulz, V. Krautheim, A. Hackemann, M. Kreuzer, E. Kochs, and K. Wagner, "Situation awareness errors in anesthesia and critical care in 200 cases of a critical incident reporting system," *BMC Anesthesiology*, no. 1, p. 4, Dec. 2015. [Online]. Available: http://www.biomedcentral.com/1471-2253/16/4

[10] Exército Português, *Revista Mensagem 2020 - Boletim Informativo do Regimento de Transmissões*. Arma de Transmissões, 2020.

[11] ——, “Plano de investigação, desenvolvimento e inovação do exército (2021-2022),” 2020. [Online]. Available: https://academiamilitar.pt/images/site_images/centro_investigacao/PlanoEXE-IDI_21-22.pdf

[12] North Atlantic Treaty Organization, “Official NATO Terminology Database.” [Online]. Available: https://nso.nato.int/natoterm/Web.mvc

[13] C. Thompson, J. White, B. Dougherty, A. Albright, and D. C. Schmidt, “Using Smartphones to Detect Car Accidents and Provide Situational Awareness to Emergency Responders,” in *Mobile Wireless Middleware, Operating Systems, and Applications*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010. [Online]. Available: http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-17758-3_3

[14] D. Martha, L. Garis, and L. Thomas, “Reframing Situational Awareness within the Fire Service Culture,” 2019. [Online]. Available: http://cjr.ufv.ca/wp-content/uploads/2013/11/UFV-Research-Note-Reframing-Situational-Awareness-within-the-Fire-Serv....pdf

[15] D. Datcu, S. Lukosch, and H. Lukosch, “Handheld Augmented Reality for Distributed Collaborative Crime Scene Investigation,” in *Proceedings of the 19th International Conference on Supporting Group Work*, ser. GROUP ’16. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, Nov. 2016, pp. 267–276. [Online]. Available: https://doi.org/10.1145/2957276.2957302

[16] S. Lukosch, H. Lukosch, D. Datcu, and M. Cidota, “Providing Information on the Spot: Using Augmented Reality for Situational Awareness in the Security Domain,” *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, no. 6, pp. 613–664, Dec. 2015. [Online]. Available: http://link.springer.com/10.1007/s10606-015-9235-4

[17] I. Nunes, R. Lucas, M. Simões-Marques, and N. Correia, “Augmented Reality in Support of Disaster Response,” in *Advances in Human Factors and Systems Interaction*, ser. Advances in Intelligent Systems and Computing, I. L. Nunes, Ed. Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 155–167. [Online]. Available: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-60366-7_15

[18] A. Yew, S. Ong, and A. Nee, “Immersive augmented reality environment for the teleoperation of maintenance robots,” *Procedia CIRP*, pp. 305–310, 2017, the 24th CIRP Conference on Life Cycle Engineering. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116313439

[19] M. Bhattarai, A. Jensen-Curtis, and M. Martínez-Ramón, “An embedded deep learning system for augmented reality in firefighting applications,” in *2020 19th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)*, 2020. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/349567185_An_embedded_deep_learning_system_for_augmented_reality_in_firefighting_applications

[20] A. Abbas, J. Seo, and M. Kim, “Impact of Mobile Augmented Reality System on Cognitive Behavior and Performance during Rebar Inspection Tasks,” *Journal of Computing in Civil Engineering*, no. 6, p. 04020050, Nov. 2020. [Online]. Available: http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29CP.1943-5487.0000931

[21] E. Sabelman and R. Lam, “The real-life dangers of augmented reality,” *IEEE Spectrum*, no. 7, pp. 48–53, Jul. 2015, conference Name: IEEE Spectrum.

[22] R. Rzayev, P. Woźniak, T. Dingler, and N. Henze, “Reading on Smart Glasses: The Effect of Text Position, Presentation Type and Walking,” in *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Montreal QC Canada: ACM, Apr. 2018, pp. 1–9. [Online]. Available: https://dl.acm.org/doi/10.1145/3173574.3173619

[23] Z. McDonald, “Augmented Reality HUDs: Warning Signs and Drivers’ Situation Awareness,” p. 100, 2016.

[24] D. Bach. U.S. Army to use HoloLens technology in high-tech headsets for soldiers. [Online]. Available: https://news.microsoft.com/transform/u-s-army-to-use-hololens-technology-in-high-tech-headsets-for-soldiers/

[25] “ARC4: Advanced Augmented Reality Technology - ARA.” [Online]. Available: https://www.ara.com/arc4/

[26] A. Mitaritonna and M. Abásolo, *Improving situational awareness in military operations using augmented reality*. Václav Skala - UNION Agency, 2015. [Online]. Available: http://dspace5.zcu.cz/handle/11025/29567

[27] Lenovo. ThinkReality A3. [Online]. Available: https://www.lenovo.com/us/en/thinkrealitya3/

[28] D. Hardawar. Oculus Quest 2 review: The $299 VR headset to rule them all. [Online]. Available: https://www.engadget.com/oculus-quest-2-review-vr-facebook-headset-173026291.html?guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAALQ75QMGrsz9WKzGsuGVCAcOvY-u4hMm0MEfzQi4E-9kqLevK2SVOXpS51wHfdLz0g\2m2frL0EqAzxsx62uh8Tud6ldNIHwXu4eUDyP35vEw2wVbCa0Thvli47EWXMcUycY8jBojvzlj5q2T\6Z1_nYFt2UdGYeMGHa8HKVT9YndC&guccounter=2

[29] S. Stein. Magic Leap 2 Hands-On: AR Glasses That Can Dim the Real World. [Online]. Available: https://www.cnet.com/tech/computing/features/magic-leap-2-hands-on-ar-glasses-that-can-dim-the-real-world/

[30] Vuzix Blade. Vuzix Blade Technical Specifications. [Online]. Available: https://www.vuzix.com/products/vuzix-blade-smart-glasses-upgraded

[31] VRcompare. Vuzix Blade Upgraded. [Online]. Available: https://vr-compare.com/headset/vuzixbladeupgraded

[32] ThirdEye Gen, Inc. Thirdeye x2 mr glasses tech specs. [Online]. Available: https://www.thirdeyegen.com/x2-smart-glasses

[33] ——. ThirdEye X2 MR Glasses Brochure. [Online]. Available: https://www.dropbox.com/s/5k4uekgyvpc6qn9/X2_MRGlasses_Brochure.pdf?dl=0

[34] VRcompare. Shadow Creator Action One. [Online]. Available: https://vr-compare.com/headset/shadowcreatoractionone

[35] Microsoft. HoloLens 2 Especificações Técnicas. [Online]. Available: https://www.microsoft.com/pt-pt/hololens/hardware

[36] PennState, College of Earth and Mineral Sciences. The Unity3D Game Engine. [Online]. Available: https://www.e-education.psu.edu/geogvr/node/806

[37] Unity Technologies. Unity and DeepMind to Advance AI Research Using Virtual Worlds. [Online]. Available: https://unity.com/our-company/newsroom/unity-and-deepmind-advance-ai-research-using-virtual-worlds

[38] Circuit Stream. Unity vs Unreal Engine for XR Development: Which One Is Better? [2021 Updated]. [Online]. Available: https://circuitstream.com/blog/unity-vs-unreal/

[39] Microsoft. What is the Mixed Reality Toolkit. [Online]. Available: https://github.com/microsoft/MixedRealityToolkit-Unity

[40] W3Schools. What is Client-Server Architecture? [Online]. Available: https://www.w3schools.in/what-is-client-server-architecture

[41] M. Roomi. 5 Advantages and Disadvantages of Client Server Network — Drawbacks and Benefits of Client Server Network. [Online]. Available: https://www.hitechwhizz.com/2020/11/5-advantages-and-disadvantages-drawbacks-benefits-of-client-server-network.html

[42] LG Networks. Computer Vs Mobile Processors. [Online]. Available: https://www.lgnetworksinc.com/computer-vs-mobile-processors/

[43] W. Pasman and C. Woodward, “Implementation of an augmented reality system on a PDA,” in *The Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2003. Proceedings.*, Oct. 2003, pp. 276–277.

[44] S. Z., S. D., F. A., and G. M., *"Studierstube": An Environment for Collaboration in Augmented Reality*. Springer-Verlag London Ltd, 1998. [Online]. Available: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF01409796.pdf

[45] D. Wagner and D. Schmalstieg, "First steps towards handheld augmented reality," in *Seventh IEEE International Symposium on Wearable Computers, 2003. Proceedings.* White Plains, NY, USA: IEEE, 2003, pp. 127–135. [Online]. Available: http://ieeexplore.ieee.org/document/1241402/

[46] A. Mitaritonna, M. J. Abásolo, and F. Montero, "An Augmented Reality-based Software Architecture to Support Military Situational Awareness," in *2020 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE)*, Jun. 2020, pp. 1–6.

[47] C. Ribeiro, *Plano de Implementação: Redes Táticas de Rádio de Combate ou Combat Net Radio (CNR)*. Direção de Comunicações e Sistemas de Informação,, 2017.

[48] North Atlantic Treaty Organization, "Interoperability for joint operations," 2006. [Online]. Available: https://www.nato.int/nato_static/assets/pdf/pdf_publications/20120116_interoperability-en.pdf

[49] Center For Army Lessons Learned and US Army Combined Arms Center, "Multinational Interoperability Reference Guide," 2016. [Online]. Available: https://usacac.army.mil/sites/default/files/publications/16-18.pdf

[50] North Atlantic Treaty Organization, "Specifications Defining the Joint Dismounted Soldier System Interoperability Network (JDSSIN) - AEP-76, Edition A, Version 2," 2017.

[51] C. Sandom, "A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements," p. 229, 2000.

[52] Department of the Army, *Army Doctrine Publication No. 6-0 Mission Command: Command and Control of Army Forces*. Army Publishing Directorate, 2019.

[53] Exército Português, *PDE 3-01 Tática das Operações de Combate*. Estado-Maior do Exército, 2016.

[54] ——, *PDE 3-00 Operações*. Estado-Maior do Exército, 2012.

[55] J. Woodward, J. Smith, I. Wang, S. Cuenca, and J. Ruiz, "Examining the Presentation of Information in Augmented Reality Headsets for Situational Awareness," in *Proceedings of the International Conference on Advanced Visual Interfaces*, ser. AVI '20. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, Sep. 2020, pp. 1–5. [Online]. Available: https://doi.org/10.1145/3399715.3399846

[56] Exército Português, *PDE5-00 Planeamento Tático e Tomada de Decisão*. Estado-Maior do Exército, 2007.

[57] R. Budiu. Between-Subjects vs. Within-Subjects Study Design. [Online]. Available: https://www.nngroup.com/articles/between-within-subjects/

[58] P. Lindemann, T.-Y. Lee, and G. Rigoll, "Supporting Driver Situation Awareness for Autonomous Urban Driving with an Augmented-Reality Windshield Display," in *2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, Oct. 2018, pp. 358–363.

[59] A. Rowen, M. Grabowski, J.-P. Rancy, and A. Crane, "Impacts of Wearable Augmented Reality Displays on operator performance, Situation Awareness, and communication in safety-critical systems," *Applied Ergonomics*, vol. 80, pp. 17–27, Oct. 2019. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000368701830766X

[60] H. Lukosch, "Comparing presence, workload and situational awareness in a collaborative real world and augmented reality scenario," *CIMER 2013*, Jan. 2013. [Online]. Available: https://www.academia.edu/65741975/Comparing_presence_workload_and_situational_awareness_in_a_collaborative_real_world_and_augmented_reality_scenario

[61] M.-J. Maibach, M. Jones, and C. Walko, "Using augmented reality to reduce workload in offshore environments," *CEAS Aeronautical Journal*, vol. 13, no. 2, pp. 559–573, Apr. 2022. [Online]. Available: https://link.springer.com/10.1007/s13272-022-00578-2

[62] Zach. How to Report T-Test Results (With Examples). [Online]. Available: https://www.statology.org/how-to-report-t-test-results/

[63] J. S. PhD, "Measuring Usability with the System Usability Scale (SUS) – MeasuringU." [Online]. Available: https://measuringu.com/sus/

[64] A. S. f. P. Affairs, "System Usability Scale (SUS)," Sep. 2013, publisher: Department of Health and Human Services. [Online]. Available: https://www.usability.gov/how-to-and-tools/methods/system-usability-scale.html

[65] EID. VEHICULAR RADIO SOLUTIONS - shaping the future in tactical communications. [Online]. Available: https://www.hmmwvinscale.com/documents/Portugal%20Military%20vehicular_radio_solutions%20EID.pdf