

MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
CURSO DE MESTRADO EM SISTEMAS E COMPUTAÇÃO

PROPOSTA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

DIOGO PACHECO SALAZAR ARAUJO

TREINAMENTO DO OBSERVADOR DE ARTILHARIA POR
MEIO DA REALIDADE VIRTUAL: SIMULAÇÃO DE VOO DE
DRONE PARA OBSERVAÇÃO AÉREA DE ALVOS

Rio de Janeiro
2024

1 TÍTULO DA PROPOSTA DE DISSERTAÇÃO

Título da Proposta de Dissertação:

Treinamento do Observador de Artilharia por Meio da Realidade Virtual: Simulação de Voo de Drone para Observação Aérea de Alvos

Título da Capa:

Treinamento do Observador de Artilharia por Meio da Realidade Virtual: Simulação de Voo de Drone para Observação Aérea de Alvos

Área de Concentração:

Ciência da Computação

Linha de Pesquisa:

Sistemas de Computação

2 INTRODUÇÃO

Esta Proposta de Dissertação de Mestrado está atrelada à Necessidade de Conhecimento Específico (NCE) 126M2023 publicada na Portaria no 113-DCT, de 13 de dezembro de 2021, do Departamento de Ciência e Tecnologia do Exército Brasileiro. O tema definido como alvo de estudo no documento supracitado está vinculado à aplicação das tecnologias de Realidade Aumentada (RA) e/ou Realidade Virtual (RV) em atividades de ensino-aprendizagem e/ou de treinamento militar.

Dado que o tópico apresentado na NCE está formulado de maneira abrangente quanto à tecnologia a ser utilizada e à atividade de treinamento a ser abordada, esta proposta de pesquisa delimitou-se à aplicação da tecnologia de Realidade Virtual como recurso computacional no treinamento da observação aérea da Artilharia.

Para uma compreensão mais aprofundada sobre essa definição de tema, é imprescindível esclarecer sua motivação e descrever o problema associado a ele.

2.1 MOTIVAÇÃO

Como mencionado anteriormente, a definição do tema desta proposta de dissertação foi estabelecida com base em dois aspectos abordados no tema original: a atividade de treinamento a ser contemplada e a tecnologia a ser empregada. A justificativa para essa delimitação será abordada nos próximos tópicos.

2.1.1 ATIVIDADE DE TREINAMENTO A SER CONTEMPLADA

A atividade a ser contemplada é o treinamento da observação aérea da Artilharia.

A prática militar da observação aérea emergiu da necessidade intrínseca do comandante em obter uma compreensão abrangente e detalhada do campo de batalha, visando reunir informações sobre o terreno, o inimigo, as condições meteorológicas, as próprias tropas, entre outros aspectos, a fim de embasar as decisões em diferentes níveis. Essa atividade envolve o uso de um meio aéreo operado por um militar das forças terrestres, permitindo a aquisição de conhecimentos específicos de interesse para a sua unidade, segundo Brasil (2019).

No contexto da Artilharia, a prática da observação desempenha um papel fundamental. De acordo com Brasil (1990), "a observação é o principal método utilizado pela

Artilharia para adquirir informações sobre o inimigo e, especialmente, para localizar alvos, ajustar disparos e realizar concentrações". A fim de ressaltar a importância do treinamento associado a essa atividade, Brasil (1997) enfatiza que "a preparação técnica de todos os artilheiros, especialmente dos oficiais responsáveis pela observação e direção do fogo de Artilharia, é indispensável".

Apesar de sua grande importância, o treinamento do observador de Artilharia enfrenta diversos desafios em sua execução, dos quais dois fatores principais se destacam. Primeiramente, há a considerável demanda financeira necessária para a aquisição de uma variedade de munições relacionadas a essa atividade, como munições de morteiros para a Infantaria, Cavalaria e Artilharia; munições de carros de combate para a Cavalaria; munições de obuseiros e foguetes para a Artilharia, entre outras. Em segundo lugar, observa-se que a prática dessa atividade é significativamente limitada a áreas onde ainda é permitido realizar disparos com munição real.

Considerando a importância e os desafios associados ao treinamento do observador aéreo de Artilharia, torna-se imperativo buscar alternativas que possibilitem sua realização.

2.1.2 TECNOLOGIA A SER EMPREGADA

O tema original, ao qual esta proposta está vinculada, limita as opções às tecnologias de Realidade Aumentada (RA) e Realidade Virtual (RV). A Realidade Aumentada e a Realidade Virtual representam ferramentas significativas para a criação de ambientes simulados, permitindo a inserção de elementos virtuais na realidade do usuário (RA) ou sua imersão em um ambiente virtual completo (RV).

No contexto do treinamento da observação aérea de Artilharia, o uso da RA demandaria o deslocamento do instruendo para uma área de instrução real, onde os elementos virtuais relacionados aos alvos e aos tiros seriam sobrepostos à sua realidade. Essa restrição não se aplicaria à RV, pois é possível criar um ambiente de treinamento completamente virtual para a imersão do instruendo.

Devido à flexibilidade proporcionada por essa abordagem, a presente proposta de dissertação optou pela Realidade Virtual como a tecnologia a ser aplicada no treinamento da observação aérea de Artilharia.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Com base na motivação descrita anteriormente, identifica-se que o problema associado a esta proposta de dissertação consiste na utilização da Realidade Virtual como uma ferramenta computacional para o treinamento da observação aérea de Artilharia. O tratamento desse problema deve abranger quatro fases distintas: uma fase teórica, uma fase prática, uma fase de levantamento de dados e uma fase de formalização.

2.2.1 FASE TEÓRICA

A fase teórica compreende a realização de uma pesquisa bibliográfica com o objetivo de:

- Entender o domínio da Realidade Virtual e suas particularidades.
- Explorar casos em que o emprego da Realidade Virtual resultou em avanços notáveis em simulação e treinamento.

2.2.2 FASE PRÁTICA

A etapa prática envolve a definição e construção de um simulador que utilizará a Realidade Virtual para o treinamento da observação aérea da Artilharia.

2.2.3 FASE DE LEVANTAMENTO

A fase de levantamento compreende a condução de uma pesquisa com militares que possuem experiência como observadores de Artilharia. Eles utilizarão o simulador desenvolvido na fase prática do estudo para avaliar se a aplicação da Realidade Virtual proporciona benefícios comparáveis aos observados nas experiências de simulação e treinamento estudadas na fase teórica.

2.2.4 FASE DE FORMALIZAÇÃO

A fase de formalização envolve a elaboração da documentação oficial relacionada ao curso de mestrado.

3 CONCEITOS BÁSICOS E ESTADO DA ARTE

Este capítulo resume a fase teórica do trabalho, a qual engloba a condução de uma pesquisa bibliográfica visando alcançar dois objetivos:

- Explorar o domínio da Realidade Virtual e os atributos que a definem.
- Analisar casos em que a implementação da Realidade Virtual resultou em avanços significativos em atividades de simulação e treinamento.

Com base nesses dois propósitos, a Seção 3.1 aborda a esfera da Realidade Virtual, enquanto a Seção 3.2 discorre sobre o estado da arte das pesquisas relacionadas à Realidade Virtual no contexto da simulação e do treinamento.

3.1 REALIDADE VIRTUAL

Nesta seção, serão abordados dois aspectos fundamentais relacionados ao domínio da Realidade Virtual: definição e elementos-chave.

3.1.1 DEFINIÇÃO

O termo "realidade virtual" foi cunhado por Jaron Lanier em meados da década de 1980. Lanier é um pioneiro em tecnologias de Realidade Virtual e foi um dos principais impulsionadores do desenvolvimento dessa área. Ele popularizou o termo ao fundar a empresa de pesquisa VPL Research, que foi uma das primeiras a desenvolver e comercializar equipamentos de Realidade Virtual, de acordo com Zhou e Deng (2009).

Slater et al. (2002) conceituam a Realidade Virtual dentro do contexto da Computação Gráfica. De acordo com eles, a Computação Gráfica engloba a modelagem, iluminação e dinâmica dos ambientes virtuais, bem como os métodos pelos quais os indivíduos interagem com eles. Os autores se referem à interação com esses ambientes virtuais como "phantom world of projections" (mundo fantasma das projeções) ou Realidade Virtual.

Conforme Sherman e Craig (2003), a Realidade Virtual é um ambiente composto por simulações computacionais interativas que registram as posições e ações dos participantes e as restituem, por meio de um ou mais sentidos, proporcionando a sensação de imersão ou presença no mundo virtual. Essa definição associa a Realidade Virtual a quatro elementos

essenciais: mundo virtual, imersão, retorno sensorial e interatividade. Esses elementos serão abordados em detalhes na Seção 3.1.2.

Até a apresentação desta proposta, o IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) não apresentou uma especificação para a taxonomia e definições relacionadas à Realidade Virtual.

3.1.2 ELEMENTOS-CHAVE

Conforme observado nas definições da Seção 3.1, a Realidade Virtual está intrinsecamente ligada a elementos-chave. Seguindo a concepção de Sherman e Craig (2003), esta seção explorará os seguintes elementos fundamentais associados à Realidade Virtual: mundo virtual, imersão, retorno sensorial e interatividade.

3.1.2.1 MUNDO VIRTUAL

Sherman e Craig (2003) definem mundo virtual como um espaço imaginário materializado por meio de uma plataforma. Eles ressaltam que o conceito de mundo virtual é distinto do conceito de Realidade Virtual. Essa distinção semântica torna-se mais evidente com os seguintes exemplos:

- Se um conto ganha vida através de atores, cenários, música e outros elementos de uma peça teatral, a audiência experimenta esse conto por meio do mundo virtual criado e materializado pelo espetáculo.
- Se a mesmo ato ganha vida por meio da Computação Gráfica, um espectador pode explorar esse mundo virtual criado por meios computacionais.
- Ao adicionar os outros três elementos-chave da Realidade Virtual - imersão, rastreamento sensorial e interatividade - ao mundo virtual mencionado no item anterior, o espectador passará a vivenciar esse mundo virtual por meio da Realidade Virtual.

3.1.2.2 IMERSÃO

Em uma visão geral, Sherman e Craig (2003) definem imersão como a sensação de estar imerso em uma realidade. Essa definição ampla atribui dois aspectos ao conceito de imersão: a sensação de presença e a unicidade da realidade.

Em relação à unicidade da realidade, Bekele et al. (2018) afirmam que a Realidade Virtual deve imergir totalmente o usuário em um ambiente sintético, sem qualquer possibi-

lidade de interação com o ambiente do mundo físico real, a menos que esteja representado de forma computacional na simulação.

No que diz respeito à sensação de presença, quando analisada em termos de causa, a imersão pode ser dividida em duas abordagens: mental, onde a sensação é puramente um estado da mente; e física, onde a sensação é resultado de uma presença física. É crucial ressaltar que a imersão física está associada às experiências de Realidade Virtual, enquanto a imersão mental é o objetivo procurado por autores de obras de ficção Sherman e Craig (2003).

A definição teórica de imersão no contexto da Realidade Virtual inclui o termo imersão física, uma especificação proposta por Sherman e Craig (2003). Outros autores, como Slater et al. (2002), utilizam o termo "presença" como sinônimo de imersão física. Para evitar ambiguidades na interpretação, Sherman e Craig (2003) adotam o termo "sensação de presença" como sinônimo de imersão física.

No que concerne ao efeito da imersão na aprendizagem prática, Checa e Bustillo (2020) destacaram que: as soluções de Jogos Sérios Imersivos apresentam uma relação custo-benefício notável (com aprendizado altamente preciso, tempos de aprendizado reduzidos, alta capacidade de visualização e compreensão, entre outros); há uma boa transferência das habilidades adquiridas virtualmente para o mundo real; e ocorre uma melhoria na aprendizagem em um ambiente seguro.

3.1.2.3 RETORNO SENSORIAL

Conforme destacado por Sherman e Craig (2003), um sistema de Realidade Virtual deve oferecer feedback sensorial para proporcionar ao usuário a sensação física de estar no ambiente virtual. Atualmente, esse feedback está mais associado aos sentidos da visão, audição e tato.

O sensoramento do corpo do usuário está intimamente ligado à técnica de rastreamento de posição, a qual, de acordo com Sherman e Craig (2003), envolve a determinação computacional da posição (localização e/ou orientação) de um objeto no mundo físico.

Com relação ao sentido da visão, Pal et al. (2016) explicam que os sistemas de Realidade Virtual apresentam dois principais tipos de rastreamento de posição: 3-DOF e 6-DOF. O termo DOF (Degrees Of Freedom) representa o número de graus de liberdade fornecidos pelo sistema. Na variação 3-DOF, o sistema de RV monitora os três eixos de rotação da cabeça do usuário, permitindo que o ângulo de visão dentro da experiência virtual seja ajustado conforme o movimento da cabeça no mundo físico. Já na variação

6-DOF, além do monitoramento 3-DOF do movimento da cabeça do usuário, o sistema monitora os três eixos de translação do movimento, possibilitando que a movimentação dentro da experiência virtual seja modificada de acordo com os movimentos do usuário no mundo físico.

No âmbito do sentido da audição, segundo Singh e Singh (2017), o rastreamento de posição está diretamente relacionado ao conceito de spatialization. Na Realidade Virtual, a spatialization é uma técnica que envolve a associação de um som a uma posição ou objeto específico no mundo virtual. Assim, o usuário tem a percepção de ouvir um som vindo de uma posição específica ou de seguir o som de um objeto em movimento.

Em relação ao sentido do tato, Kon et al. (2018) observam que, na evolução dos hardwares relacionados à Realidade Virtual, o sentido tátil ainda não recebeu o mesmo nível de atenção e investimento dedicados às iniciativas que exploram o sentido visual. Devido à predominância da visão como o sentido humano mais utilizado, os HMDs (Head Mounted Display - Dispositivos de Visualização Montados na Cabeça), que são hardwares para visualização de conteúdo em RV, progrediram rapidamente com o crescimento da indústria de RV. O sensoriamento tátil vem recebendo esforços de desenvolvimento recentes.

3.1.3 INTERAÇÃO

Conforme Sherman e Craig (2003), a interatividade requerida no contexto da Realidade Virtual envolve a habilidade do mundo virtual em responder às ações do usuário. Burdea e Coiffet (2003) complementam, ressaltando a importância de que as aplicações apresentem interatividade em tempo real, ou seja, o sistema computacional deve ser capaz de detectar imediatamente as ações do usuário e ajustar o mundo virtual correspondente.

Pelas descrições apresentadas, pode-se observar que os conceitos de retorno sensorial e interatividade compartilham semelhanças. Apesar dessa afinidade, Sherman e Craig (2003) optaram por formalizar esses elementos separadamente na Realidade Virtual, com o propósito de enfatizar a interatividade como a capacidade de interação e o retorno sensorial como o meio que possibilita a incorporação do elemento de imersão a essa capacidade.

3.2 TRABALHOS RELACIONADOS

Após examinar minuciosamente o panorama da Realidade Virtual, incluindo suas definições e componentes essenciais, esta seção abordará o estado atual das pesquisas relacionadas ao uso da RV em simulação e treinamento.

Doneda e de Oliveira (2020) mostram um estudo onde a Realidade Virtual foi utilizada para o treinamento de Sinalizadores de Pouso (LS) na Marinha do Brasil, os quais são responsáveis pela segurança das operações de pouso e decolagem de helicópteros em navios em movimento. O militar demanda autoconfiança, habilidades específicas e intensivo treinamento prático. Para superar as limitações entre a teoria e a prática, foi desenvolvido o Simulador de Sinal Visual de Helicóptero (HVSS), uma ferramenta de realidade virtual (RV) leve, portátil e de baixo custo. O HVSS foi testado com 15 instrutores experientes, que preencheram questionários de cinetose, eficácia subjetiva e de presença. Os resultados demonstraram que o HVSS atendeu aos requisitos de treinamento e ofereceu uma solução confiável para a Marinha do Brasil, proporcionando bons resultados nos testes com os instrutores.

Lovreglio et al. (2021) apresentam um estudo que comparou o treinamento de operação de extintores de incêndio por meio de uma simulação de Realidade Virtual com um vídeo de treinamento não interativo e avaliou o aprendizado dos participantes sobre os procedimentos básicos de operação de extintores de incêndio, em relação à aquisição de conhecimento, retenção de informações e mudança na autoeficácia. Os resultados indicaram que os participantes treinados com RV apresentaram um desempenho superior aos treinados com vídeo, no que diz respeito à aquisição de conhecimento, embora a mesma tendência tenha sido observada para a retenção de informações a longo prazo. Além disso, foi observado que o treinamento com RV resultou em um aumento maior na autoeficácia imediatamente após o treinamento. Os participantes do grupo de RV mantiveram o mesmo nível de autoeficácia mesmo após 3 a 4 semanas do treinamento, enquanto o grupo de vídeo apresentou uma queda significativa na autoeficácia.

Hussain et al. (2009) realizaram um estudo onde a Realidade Virtual foi utilizada no treinamento de 31 recrutas, para avaliar os benefícios do Treinador de Controle de Inundações (FCT), no desempenho individual, dentro de um cenário de teste de controle de inundação no ambiente Battle Stations 21. Os recrutas, que já haviam completado o treinamento inicial, foram divididos em dois grupos: controle e tratamento. O grupo de tratamento utilizou o FCT por uma hora antes de realizar o cenário de teste, enquanto o grupo de controle não recebeu treinamento adicional. No cenário de teste, os recrutas foram avaliados em sua capacidade de realizar tarefas específicas sem a ajuda de facilitadores. Os resultados mostraram diferenças significativas de desempenho entre os grupos. Os erros de tomada de decisão foram reduzidos em 50%, os erros de comunicação em até 80%, e as habilidades de Consciência Situacional e Navegação melhoraram em 50%. Esses resultados destacam os benefícios do uso da RV no treinamento de pessoal para situações

de controle de inundação.

Girardi e de Oliveira (2019) apresentam um estudo onde a Realidade Virtual foi utilizada treinamento de observadores em solo da artilharia do Exército Brasileiro. O artigo detalha o desenvolvimento do simulador de RV utilizado no estudo, incluindo sua compreensão do problema, especificação da solução e tecnologias empregadas. Posteriormente, foram realizados testes com 13 oficiais de artilharia. Os resultados indicaram que o simulador atingiu os valores de referência para os parâmetros de presença e eficácia, demonstrando sua utilidade como ferramenta de treinamento eficaz para os observadores em solo da artilharia do Exército Brasileiro.

Rizzo et al. (2020) investigaram a eficácia do treinamento com pacientes padronizados virtuais (VSPs) na aquisição e manutenção das habilidades de entrevista motivacional (MI), comparando-o com o estudo acadêmico tradicional. Participaram 120 profissionais de saúde voluntários recrutados de instalações médicas do Departamento de Assuntos de Veteranos e do Departamento de Defesa dos Estados Unidos. Após um curso de MI, os participantes foram treinados durante duas sessões de 45 minutos, separadas por 3 meses, com duas condições de treinamento: VSP com enredo ramificado e feedback imediato, e estudo acadêmico. A habilidade de MI foi medida por conversas gravadas com pacientes padronizados humanos, avaliadas antes, após o treinamento e após 3 meses. Os resultados mostraram uma melhora significativa nas habilidades técnicas e relacionais da MI para o grupo treinado com VSP, mantida ao longo do tempo. Este ensaio demonstrou a eficácia do treinamento com VSPs na transferência de habilidades para pacientes padronizados humanos, com potencial para facilitar a disseminação da MI e o treinamento em outras habilidades e tratamentos baseados em evidências.

Dalladaku et al. (2020), mostraram um estudo onde a Realidade Virtual foi empregada como treinamento complementar ao treinamento prático tradicional através do programa Aviator Training Next (ATN). Resultados preliminares indicaram que o treinamento em realidade virtual resultou em pilotos com níveis de qualidade e competência comparáveis aos pilotos treinados em aeronaves reais.

Harrington et al. (2018) conduziram um estudo que empregou a Realidade Virtual para treinar médicos na identificação e avaliação de diversos tipos de trauma. A pesquisa envolveu 30 médicos, compostos por 19 alunos e 11 instrutores de um curso avançado sobre identificação e avaliação de traumas. A análise dos resultados considerou três parâmetros: sensação de presença, sensação de desconforto e eficácia. Em relação à sensação de presença, os participantes relataram uma imersão satisfatória. Quanto ao desconforto, cerca de 30% dos participantes manifestaram algum nível de mal-estar. No que diz respeito à efi-

cácia, o simulador mostrou-se eficaz no treinamento para o diagnóstico de traumas, reduzindo significativamente a probabilidade de diagnósticos incorretos que poderiam resultar em consequências fatais. Ademais, aproximadamente 80% dos participantes consideraram a ferramenta extremamente útil e superior aos métodos de aprendizagem tradicionais.

Reger et al. (2019) apresentaram um estudo que investigou os efeitos colaterais relacionados ao simulador (ECSs) na exposição à Realidade Virtual (VRE) para transtorno de estresse pós-traumático (PTSD). A pesquisa abordou a falta de estudos comparativos entre ECSs auto-relatados em VRE e terapia de exposição sem realidade virtual. 108 soldados ativos com PTSD participaram, com 93 fornecendo dados sobre ECSs antes e após a terapia. Metade usou o sistema Virtual Iraque/Afganistão. Não houve diferenças estatisticamente significativas entre os grupos no início da exposição imaginária ou ao longo do tratamento, controlando para variáveis como idade, sexo e sintomas de ansiedade. Esses resultados sugerem que a interpretação das medições de ECSs durante o uso de VRE para PTSD deve ser cautelosa, pois a VR não aumentou os ECSs auto-relatados. É plausível que a ansiedade contribua significativamente para os ECSs durante a VRE.

Pedram et al. (2020) conduziram um estudo no qual a Realidade Virtual foi utilizada no treinamento de 284 brigadas de resgate de minas, que receberam instruções específicas em operações de resgate. Os resultados indicam que o engajamento dos trainees com o cenário, a percepção de fidelidade, a co-presença, a usabilidade do sistema, a atitude em relação à tecnologia e o envolvimento dos instrutores influenciam significativamente tanto o aprendizado real quanto o percebido. Isso sugere que o treinamento imersivo em VR pode ser uma ferramenta valiosa para o aprendizado, complementando o papel dos instrutores qualificados em transmitir conhecimentos e habilidades.

Wiederhold et al. (2011) mostraram um estudo onde a terapia com base em realidade virtual (VR) aparece como uma ferramenta potencialmente valiosa no tratamento do transtorno de estresse pós-traumático (TEPT), embora estudos randomizados sejam escassos entre membros do serviço do Iraque ou Afeganistão. Este estudo descreveu um pequeno ensaio randomizado controlado de terapia de exposição graduada em realidade virtual (VR-GET) em comparação com o tratamento habitual (TAU) para TEPT em militares em serviço ativo com TEPT relacionado ao combate. O sucesso foi avaliado com base em uma melhoria de 30% ou mais na gravidade dos sintomas de TEPT, conforme medido pela Escala de TEPT Administrada por Clínicos (CAPS) após 10 semanas de tratamento. Sete dos 10 participantes do VR-GET mostraram melhoria de 30% ou mais, enquanto apenas 1 dos 9 participantes do TAU apresentou melhoria semelhante. Este resultado foi clinicamente e estatisticamente significativo. Os participantes do VR-GET

tiveram, em média, uma melhoria de 35 pontos na CAPS, enquanto os do TAU tiveram uma melhoria média de 9 pontos. Embora os resultados sejam limitados pelo tamanho da amostra, falta de cegamento, uso de um único terapeuta e comparação com uma condição de cuidado usual não controlada, eles sugerem que o VR-GET é um tratamento seguro e eficaz para TEPT relacionado ao combate.

Siu et al. (2016) desenvolveram um sistema de treinamento cirúrgico em Realidade Virtual voltado para profissionais de saúde que fazem a transição entre ambientes de operação militar e civil. Esse sistema de treinamento foi projetado para atender às necessidades específicas e habilidades exigidas no contexto militar, adaptando-se de forma dinâmica para gerar tarefas de treinamento otimizadas, visando aprimorar a eficiência dos trabalhadores da saúde na readaptação de suas habilidades. A rápida aquisição de habilidades essenciais durante transições médicas é crucial para evitar erros que levem a mortes e morbidade. O sistema proposto é capaz de reduzir lesões e morbidade, fornecendo aos instruídos a experiência necessária antes de operar em um novo cenário.

Devigne et al. (2017) conduziram uma pesquisa explorando a aplicação da Realidade Virtual para treinar indivíduos com deficiência física na condução de cadeiras de rodas. O estudo envolveu a participação de nove voluntários cadeirantes com experiência limitada na condução. Os resultados foram analisados com base em três métricas: sensação de presença, desconforto percebido e eficácia do treinamento. Em relação à sensação de presença, os dados coletados por meio do questionário IPQ, descrito em IGroup (2016), indicaram um nível satisfatório de imersão (média aproximada de 3.5 em uma escala de 0 a 6). No que diz respeito ao desconforto percebido, cerca de 70% dos participantes relataram algum grau de desconforto durante a simulação, apesar de todos terem completado o treinamento. Por fim, em termos de eficácia do treinamento, todos os participantes demonstraram melhorias em suas habilidades na segunda tentativa de condução, tanto em cenários assistidos quanto não assistidos.

Taupiac et al. (2019) apresentam um estudo onde a Realidade Virtual aprimorou a qualidade e as condições de treinamento em comparação com o método de treinamento tradicional. O sistema auxilia os soldados da infantaria do Exército Francês a aprender o procedimento de calibração das miras infravermelhas em um sistema de combate conhecido como FELIN. Enquanto no sistema tradicional os soldados precisam praticar repetidamente até que não cometam erros, a RV proporciona um ambiente virtual com um modelo de rifle em 3D, permitindo que os soldados pratiquem de maneira mais imersiva e realista. Um estudo comparativo foi realizado com um grupo de soldados franceses para avaliar os benefícios da RV em relação ao método tradicional. Os resultados demons-

traram que a RV melhorou significativamente a eficiência de aprendizado dos soldados e aumentou sua motivação intrínseca para realizar as tarefas de treinamento.

Makransky et al. (2019) conduziram um estudo que investigou a eficácia da Realidade Virtual imersiva como ferramenta de treinamento em segurança laboratorial, comparando-a com uma simulação de RV em um computador e um manual convencional. Participaram 105 estudantes de engenharia do primeiro ano, sendo a maioria mulheres. Foram analisados cinco tipos de resultados de aprendizagem, incluindo satisfação pós-teste, mudanças na motivação intrínseca e autoeficácia, teste de retenção pós-teste e dois testes de transferência comportamental. Os resultados indicaram equivalência entre os três meios na transmissão de conhecimento básico, porém a RV imersiva mostrou vantagens significativas nos testes de transferência e na satisfação, além de aumentos na motivação intrínseca e autoeficácia. O grupo de RV com computador também obteve pontuações superiores em um teste de transferência e na satisfação, comparado ao grupo do manual.

Sharma et al. (2020) mostraram um trabalho onde a Realidade Virtual foi usada para treinar pessoas em situação de emergência com atiradores ativos. Durante eventos de atirador ativo, a habilidade do pessoal de segurança em reagir apropriadamente é influenciada por conhecimentos e habilidades pré-existentes, além do estado mental e familiaridade com cenários semelhantes. Em situações de emergência, o comportamento humano se torna imprevisível, dificultando a tomada de decisões. Contudo, o custo e o risco de compreender tais características são elevados. Este estudo apresentou um ambiente de realidade virtual (RV) colaborativo imersivo para simular evacuações de prédios e treinamento de atiradores ativos usando Oculus Rift. Implementado no Unity 3D, o ambiente baseia-se no modo "correr, esconder e lutar" para resposta emergencial. O ambiente RV colaborativo oferece um método singular de treinamento de emergência para segurança no campus, permitindo que participantes acessem o treinamento na nuvem, gerando vantagens de custo. Um questionário de presença avaliou a eficácia do módulo de treinamento imersivo, revelando que a maioria dos usuários experimentou um aumento no senso de presença.

Shiradkar et al. (2021) apresentaram um estudo que investigava o desenvolvimento de métodos de treinamento online em segurança contra incêndios e evacuação de emergência, focalizando uma comunidade universitária. Dois modos de treinamento foram criados e avaliados: um baseado em slides e outro em Realidade Virtual. O estudo envolveu 143 participantes e comparou a eficácia do Mundo Virtual de Segurança (VSW) com o treinamento baseado em slides. Os resultados indicaram que o VSW proporcionou um aprendizado igualmente eficaz, porém mais envolvente. Após um mês, os participantes

do VSW retiveram conceitos de forma mais eficaz. Além disso, o VSW demonstrou melhorar a atenção sustentada dos participantes, medida por qEEG. O estudo também explorou o potencial adaptativo da plataforma de treinamento virtual, utilizando técnicas de aprendizado profundo e qEEG.

Valentine et al. (2021) conduziram um estudo que comparou o aprendizado de estudantes que interagem com uma simulação de realidade virtual (VR) usando head mounted display (HMD) como operador e como observador, visando avaliar se os benefícios da VR com HMD podem ser alcançados sem que todos os alunos operem o equipamento. Estudantes de pós-graduação em engenharia ($N = 117$) participaram de um exercício de identificação de riscos de segurança em uma oficina. O desempenho dos alunos que operaram e observaram foi analisado, revelando desempenho semelhante no exercício seguinte à simulação, independentemente de terem operado o equipamento VR com HMD ($n = 33$) ou apenas observado ($n = 84$). Esses resultados sugerem que simulações de VR com HMD podem ser utilizadas em turmas grandes, reduzindo a necessidade de investimento e gerenciamento de um grande número de conjuntos de equipamentos de VR com HMD.

Jeelani et al. (2020) propuseram um protocolo de treinamento em segurança personalizado utilizando ambientes virtuais robustos, realistas e imersivos para melhorar o reconhecimento e gerenciamento de riscos na construção. Dois tipos de ambientes virtuais foram desenvolvidos: ambientes estereopanorâmicos usando cenas reais de construção para avaliar o desempenho dos participantes e um canteiro de obras virtual para entrega de treinamento. O protocolo de treinamento foi testado experimentalmente com 53 participantes, resultando em um aumento de 39% no reconhecimento de riscos e 44% no desempenho de gerenciamento de riscos.

Poyade et al. (2021) mostraram um estudo sobre o desenvolvimento e a avaliação de Realidade Virtual aplicada ao treinamento de segurança de processos, no setor químico, onde acidentes notáveis acontecem. O trabalho destacou a equivalência estatística do treinamento com RV em comparação com o treinamento tradicional em vídeo. Através de um estudo de caso específico, evidenciou-se que a aprendizagem de tarefas complexas em RV é comparável ao método tradicional, mas com uma melhoria perceptível na percepção do aprendizado e sensação de presença. Além disso, destaca-se que a retenção de conhecimento pode ser superestimada em vídeos, se não controlada. Os resultados sugerem um potencial tecnológico para aprimorar a segurança em atividades laboratoriais e de planta, com implicações para otimização de recursos físicos.

3.2.1 PARAMETRIZAÇÃO DOS RESULTADOS

Após a exposição de estudos que empregam a Realidade Virtual em simulações e treinamentos, juntamente com seus resultados correspondentes, é crucial proceder com a parametrização dos dados adquiridos para elaborar uma avaliação imparcial do conteúdo abordado. Dentro desse escopo, os parâmetros a serem adotados serão aqueles previamente utilizados durante a análise dos estudos: sensação de presença, desconforto e eficácia.

Inicialmente, em relação à percepção de presença, será adotada como base a estrutura do questionário IPQ (IGroup Presence Questionnaire - Questionário de Presença do IGroup). Conforme descrito por IGroup (2016), o questionário IPQ é uma ferramenta destinada à avaliação objetiva da sensação de presença em uma experiência virtual. Esse método atribui valores em uma escala de 0 a 6 para três elementos distintos: presença espacial, envolvimento e realismo. Entre os estudos que empregaram a avaliação IPQ de forma explícita, Devigne et al. (2017) registraram uma média de 3.5 na escala de 0 a 6 para a sensação de presença. Com o intuito de estabelecer um parâmetro objetivo satisfatório para a sensação de presença em uma simulação de Realidade Virtual, optou-se por adotar a pontuação mais baixa obtida explicitamente na avaliação IPQ entre os estudos examinados - uma média de 3.5 na escala de 0 a 6 - como o limite mínimo aceitável.

No que concerne à sensação de desconforto, será utilizado como indicador a porcentagem de usuários que experimentaram algum desconforto durante ou após a simulação. Devigne et al. (2017) observaram que aproximadamente 70% dos participantes relataram desconforto durante a simulação de condução de cadeira de rodas, enquanto Harrington et al. (2018) constataram que cerca de 30% dos participantes manifestaram algum desconforto durante a simulação de avaliação e identificação de traumas. Essa disparidade nos resultados entre os dois estudos está relacionada à natureza visual das experiências realizadas. Devigne et al. (2017) desenvolveram uma simulação dinâmica, na qual os usuários percebiam o movimento rotacional da cabeça e o movimento translacional da cadeira de rodas, enquanto a simulação de Harrington et al. (2018) era estática, permitindo apenas a percepção do movimento rotacional da cabeça. Portanto, simulações dinâmicas têm uma maior propensão a gerar desconforto nos participantes. Com o intuito de padronizar de maneira objetiva o indicador aceitável de desconforto em simulações de Realidade Virtual, foi decidido que o valor máximo permitido seria a maior porcentagem obtida em cada categoria, dentro do conjunto de estudos analisados. Assim, os indicadores foram definidos da seguinte maneira:

- Simulação estática: A proporção de participantes que manifestaram desconforto durante e/ou após a simulação não deve exceder 30%.
- Simulação dinâmica: A taxa de participantes que experimentarem desconforto durante e/ou após a simulação não deve exceder 70%.

Finalmente, em relação à eficácia, é necessário fazer uma distinção entre dois tipos de métricas: subjetivas e objetivas. As métricas subjetivas são aquelas obtidas a partir da percepção subjetiva do usuário ao responder a um questionário. Na maioria dos estudos analisados, os participantes relataram uma percepção positiva sobre a eficácia das simulações de treinamento em RV. Quanto às métricas objetivas, estas são derivadas dos dados fornecidos pela simulação. Todos os estudos observaram uma redução no tempo necessário para completar a tarefa de treinamento e/ou uma melhoria no desempenho ao longo das simulações. Com base nos resultados dos estudos analisados, e como forma de estabelecer um nível satisfatório de eficácia para uma simulação em Realidade Virtual, propõe-se as seguintes métricas de referência:

- EFICÁCIA SUBJETIVA

- Eficácia absoluta: mais de 50% dos participantes devem julgar a ferramenta de treinamento eficaz.
- Eficiência relativa: caso haja, dentre os participantes, um conjunto que tenha experiência prévia com um simulador que não faça uso de Realidade Virtual para o treinamento em questão, mais de 50% dos membros desse grupo devem considerar a ferramenta de treinamento com RV tão ou mais eficaz do que a ferramenta sem RV.

- EFICÁCIA OBJETIVA

- Mais de 50% dos participantes devem demonstrar, ao longo das simulações, uma redução no tempo necessário para concluir a tarefa de treinamento e/ou uma melhoria na execução da mesma.

4 A PROPOSTA

Para a elaboração detalhada da proposta, é fundamental apresentar os objetivos, as hipóteses e as contribuições previstas.

4.1 OBJETIVOS

A pesquisa apresenta como objetivo principal: treinar a observação aérea de alvos de Artilharia, por meio da realidade virtual, utilizando um simulador de voo de drone.

Para alcançar esse propósito, foram estabelecidos os seguintes objetivos intermediários:

- a) Conduzir uma revisão bibliográfica para explorar o campo da Realidade Virtual e examinar casos em que sua implementação resultou em melhorias significativas em atividades de simulação e treinamento.
- b) Desenvolver um simulador que aplica a Realidade Virtual no treinamento da observação aérea de Artilharia.
- c) Realizar um estudo de levantamento para determinar se a implementação da Realidade Virtual gerou benefícios comparáveis aos observados nas práticas de simulação e treinamento identificadas na revisão bibliográfica.
- d) Aprimorar o framework IME VR.

4.2 HIPÓTESES

O objetivo delineado está em conformidade com a seguinte hipótese de pesquisa:

Hipótese 1. *Se a Realidade Virtual é reconhecida como uma ferramenta computacional de grande destaque em cenários de simulação e treinamento, então é viável empregar essa tecnologia no treinamento da observação aérea de Artilharia.*

A revisão bibliográfica descrita no Capítulo 3 evidenciou que a Realidade Virtual, com base em seus componentes essenciais (como o mundo virtual, imersão, retorno sensorial e interação), é amplamente reconhecida como uma ferramenta computacional de destaque em atividades de simulação e treinamento. Essa constatação suscita uma perspectiva

favorável em relação à utilização da Realidade Virtual como recurso computacional para o treinamento da observação aérea de Artilharia.

4.3 CONTRIBUIÇÕES ESPERADAS

De acordo com os propósitos da pesquisa, as contribuições esperadas para este trabalho são:

- (i) Apresentação de uma revisão bibliográfica abrangente que analise minuciosamente o domínio da Realidade Virtual e exponha exemplos concretos em que a adoção dessa tecnologia resultou em avanços notáveis no campo da simulação e do treinamento.
- (ii) Desenvolvimento de um simulador que aplica a Realidade Virtual no treinamento da observação aérea de Artilharia.
- (iii) Execução de um levantamento para determinar se a implementação da Realidade Virtual gerou benefícios comparáveis aos observados nas práticas de simulação e treinamento identificadas na revisão bibliográfica.
- (iv) Disponibilização de uma ferramenta que pode ser utilizada pelo Exército Brasileiro no treinamento dos militares que exercem a função de observador de Artilharia.
- (v) Aprimoramento do framework IME VR.

5 PLANO DE AÇÃO

Para alcançar o propósito da pesquisa, é essencial delinear um plano de ação que identifique as ações necessárias, a metodologia a ser adotada e o cronograma a ser seguido.

5.1 ATIVIDADES

5.1.1 ATIVIDADES PREVISTAS

Para uma gestão mais eficiente, as tarefas planejadas foram divididas em quatro etapas de trabalho, conforme descrito a seguir.

5.1.1.1 FASE TEÓRICA

A etapa teórica compreende a realização de uma revisão bibliográfica para explorar o campo da Realidade Virtual e examinar casos em que sua aplicação demonstrou benefícios significativos em simulações e treinamentos. As atividades planejadas para esta fase do projeto são:

- a) Estabelecimento dos critérios quantitativos e qualitativos para as fontes de pesquisa.
- b) Pesquisa por materiais teóricos que atendam aos critérios estabelecidos.
- c) Redação da seção teórica sobre Realidade Virtual com base na síntese dos materiais encontrados na pesquisa bibliográfica.

5.1.1.2 FASE PRÁTICA

A etapa prática engloba o desenvolvimento de um simulador destinado ao treinamento da observação aérea de Artilharia utilizando Realidade Virtual. As tarefas planejadas para esta fase do estudo incluem:

- a) Especificação do simulador de treinamento da observação aérea de Artilharia.
- b) Determinação das tecnologias a serem utilizadas no desenvolvimento do simulador.
- c) Desenvolvimento do simulador de treinamento da observação aérea de Artilharia.

5.1.1.3 FASE DE LEVANTAMENTO

A etapa de levantamento envolve a realização de uma pesquisa, na qual militares com experiência como observadores de artilharia utilizarão o simulador desenvolvido na fase prática do estudo. O objetivo é verificar se a aplicação da Realidade Virtual resultou em ganhos comparáveis aos observados nas experiências de simulação e treinamento investigadas na fase teórica. As atividades planejadas para esta etapa do trabalho são:

- a) Estabelecimento dos critérios, tanto quantitativos quanto qualitativos, para a seleção da amostra a ser empregada na etapa de levantamento.
- b) Especificação do levantamento para a condução da pesquisa junto à amostra selecionada.
- c) Realização da coleta de dados junto à amostra selecionada.

5.1.1.4 FASE DE FORMALIZAÇÃO

A etapa de formalização abrange a elaboração dos documentos formais vinculados ao curso de mestrado. As tarefas planejadas para alcançar esta fase do projeto são:

- a) Redação da dissertação de mestrado.
- b) Elaboração de um artigo científico vinculado ao estudo conduzido.
- c) Submissão/Aceitação do artigo científico por uma instituição que atenda aos critérios mínimos estabelecidos.
- d) Defesa da dissertação de mestrado.

5.1.2 ATIVIDADES REALIZADAS

Até o momento da elaboração da proposta de dissertação, as etapas e atividades a seguir foram concluídas:

5.1.2.1 FASE TEÓRICA

- a) Estabelecimento dos critérios quantitativos e qualitativos para as fontes de pesquisa: no aspecto quantitativo, foi determinado que pelo menos cinquenta por cento das fontes devem ter sido publicadas nos últimos cinco anos. Quanto aos critérios qualitativos, as principais fontes para o estudo foram identificadas como as seguintes

bibliotecas digitais: CDoutEx (Portal de Doutrina do Exército Brasileiro), IEEE Xplore, ACM, Elsevier e MITPress.

- b) Busca por materiais teóricos dentro dos critérios estabelecidos: como desfecho da busca bibliográfica, foram identificados 32 estudos, dos quais 16 foram publicados nos últimos cinco anos.
- c) Redação da parte teórica sobre Realidade Virtual a partir da síntese dos materiais encontrados na revisão bibliográfica: esta seção teórica está contemplada no capítulo 3 deste documento.

5.1.2.2 FASE PRÁTICA

- a) Especificação do simulador de treinamento da observação aérea de Artilharia: a especificação do simulador foi realizada durante a disciplina Problemas Especiais em Realidade Virtual.
- b) Especificação das tecnologias a serem utilizadas no desenvolvimento do simulador: as escolhas das tecnologias foram determinadas durante a disciplina Problemas Especiais em Realidade Virtual. A formalização dessas definições é detalhada no Capítulo 6 deste documento.
- c) Desenvolvimento do simulador de treinamento da observação aérea de Artilharia: o desenvolvimento parcial do simulador foi realizado na disciplina Problemas Especiais em Realidade Virtual. Os detalhes desse progresso são apresentados no Capítulo 6 deste documento.

5.2 METODOLOGIA

No que tange à metodologia, é fundamental ressaltar os processos técnicos adotados e o método científico empregado. No âmbito dos processos técnicos, este estudo utilizará duas abordagens:

- Levantamento bibliográfico: conduzido durante a etapa inicial do estudo, a fase teórica, com o propósito de explorar o campo da Realidade Virtual e examinar casos em que essa tecnologia proporcionou avanços significativos em atividades de simulação e treinamento.

- Pesquisa de levantamento: conduzida durante a terceira etapa do estudo, a fase de levantamento, com o objetivo de investigar se a utilização da Realidade Virtual proporcionou benefícios comparáveis aos observados nos casos de simulação e treinamento analisados na fase teórica.

No aspecto do método científico, é possível afirmar que a pesquisa adota uma abordagem indutiva, uma vez que utilizará os dados coletados na pesquisa de levantamento para extrair conclusões sobre a eficácia da aplicação da Realidade Virtual no treinamento da observação aérea de Artilharia.

5.3 CRONOGRAMA

O planejamento das atividades relacionadas a esta proposta pode ser visualizado no Cronograma apresentado na Figura. 5.1.

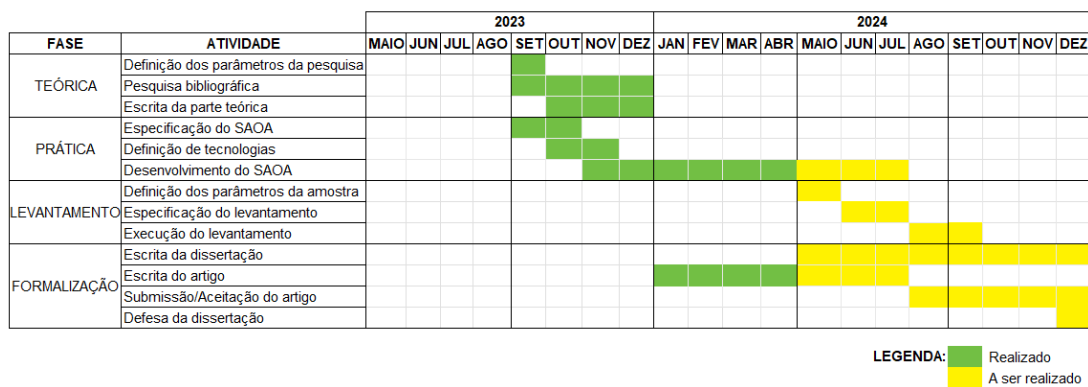


FIG. 5.1: Cronograma da Proposta de Dissertação.

6 ESPECIFICAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO SIMULADOR

6.1 ESPECIFICAÇÃO DO SIMULADOR

A descrição do simulador será delineada em três seções: a estrutura geral, a interação entre os terminais e o desenvolvimento do simulador. Antes de abordar cada uma dessas seções, é fundamental ressaltar que a identificação dos requisitos para essa descrição foi fundamentada em duas fontes principais.

- Requisitos Operacionais do Subistema Direção de Tiro e Coordenação de Fogos do Sistema de Artilharia de Campanha (EB20-RO-04.046), publicados na Portaria No 127-EME (Estado-Maior do Exército), em 31 de julho de 2018.
- Estrutura do sistema digitalizado de artilharia de campanha (SISDAC), sistema de Comando e Controle desenvolvido pela IMBEL (Indústria de Material Bélico do Brasil) e empregado pela Artilharia de Campanha do Exército Brasileiro.

6.1.1 ESTRUTURA GERAL DO SIMULADOR

O simulador é constituído por dois dispositivos: o terminal do instrutor e o terminal do observador. Esses dispositivos estão interligados por meio de uma rede Wi-Fi, como ilustrado na Figura 6.1.



FIG. 6.1: Estrutura geral do simulador

6.1.2 INTERAÇÃO ENTRE OS TERMINAIS DO SIMULADOR

A relação entre os terminais do instrutor e do observador está detalhada no diagrama de interação exposto na Figura 6.2.

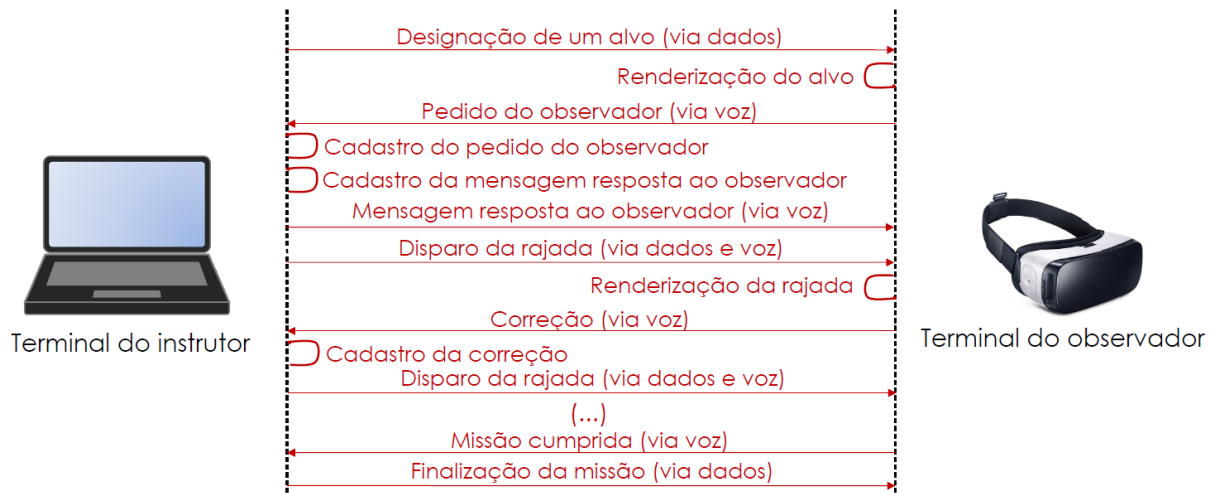


FIG. 6.2: Diagrama de interação entre os terminais do simulador

6.1.3 DESENVOLVIMENTO DO SIMULADOR

6.1.3.1 TERMINAL DO INSTRUTOR

A Figura 6.3 apresenta a tela principal do terminal do instrutor. Por meio deste terminal, o instrutor tem a capacidade de elaborar novas simulações de avaliação, carregar simulações anteriores, configurar dados de rede, administrar diversas missões de treinamento de tiro e monitorar os resultados e relatórios de avaliação do observador em cada uma dessas missões de tiro.

Adicionalmente, o terminal do instrutor inclui uma réplica do terminal do observador, denominada terminal de acompanhamento do observador, conforme mostra a Figura 6.4. Essa funcionalidade é altamente benéfica, pois possibilita que o instrutor acompanhe em tempo real o que está sendo visualizado no terminal do observador.

6.1.3.2 TERMINAL DO OBSERVADOR

A Figura 6.5 exibe uma imagem da interface do terminal do observador, em solo. Por meio desse terminal, o observador tem acesso à visualização de todos os elementos referentes ao terreno, aos alvos e aos disparos presentes na simulação coordenada pelo instrutor.



FIG. 6.3: Terminal do instrutor

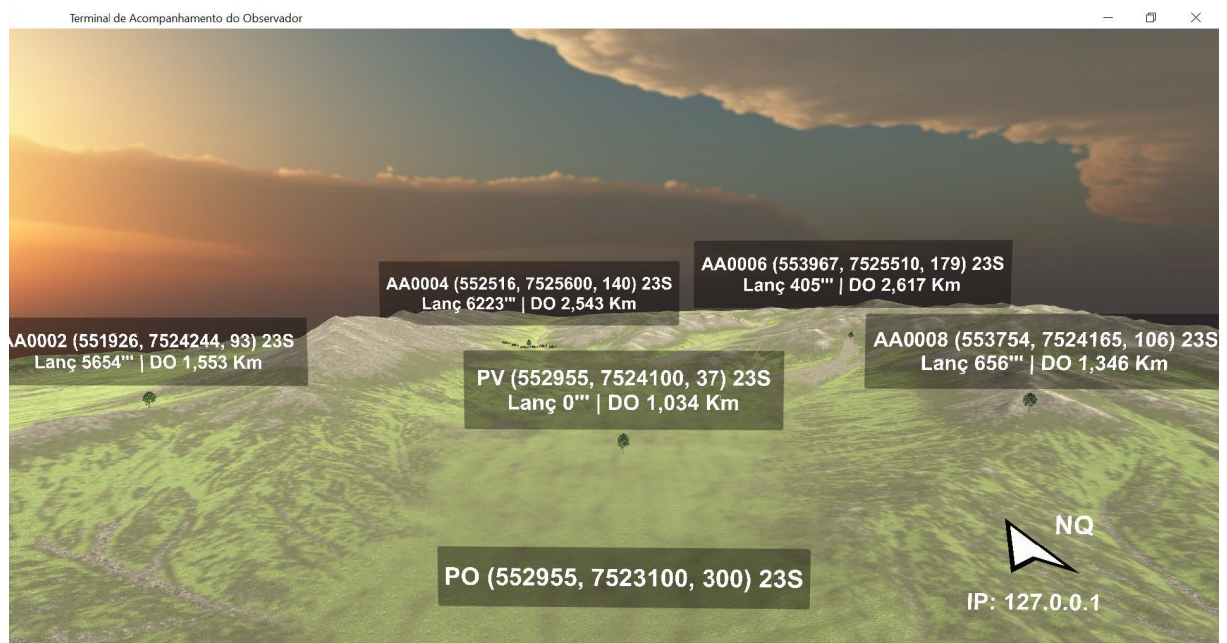


FIG. 6.4: Terminal de acompanhamento do observador (visão geral)

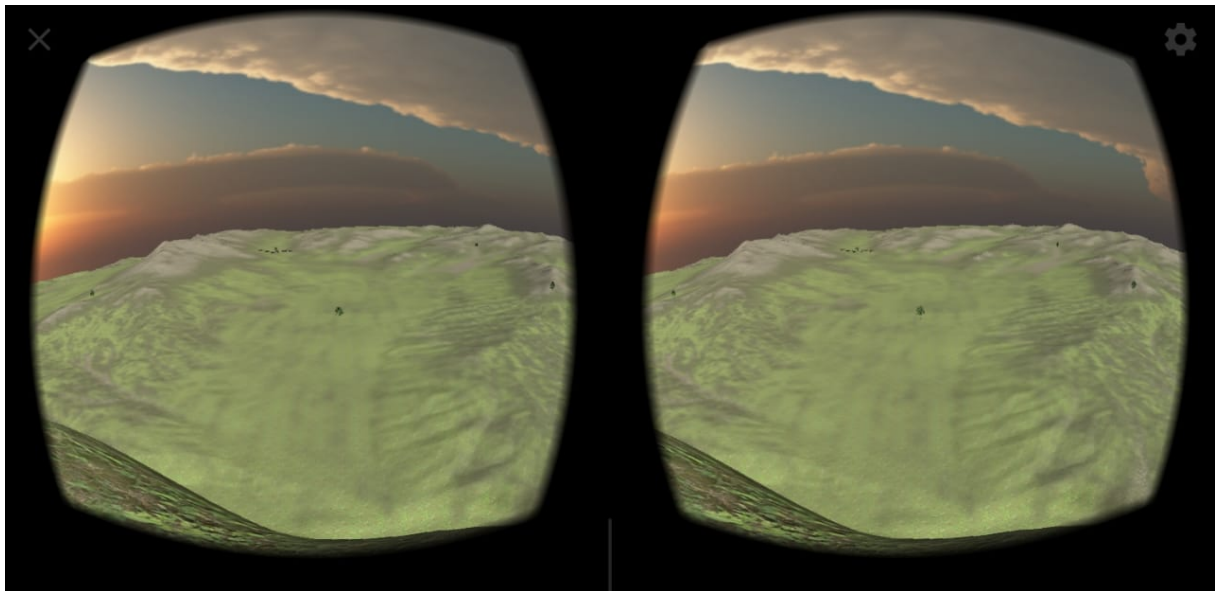


FIG. 6.5: Terminal do observador

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEKELE, M. K.; PIERDICCA, R.; FRONTONI, E.; MALINVERNI, E. S. ; GAIN, J. A survey of augmented, virtual, and mixed reality for cultural heritage. **Journal on Computing and Cultural Heritage**, v. 11, n. 2, p. 1–36, 2018. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/3145534>>. Acesso em: 01 maio de 2019.
- BRASIL. **C 6-130 - Técnica de Observação do Tiro de Artilharia de Campanha**. Brasília: Exército Brasileiro, 1990. 186 p.
- BRASIL. **C 6-1 - Emprego da Artilharia de Campanha**. Brasília: Exército Brasileiro, 1997. 161 p.
- BRASIL. **Nota de aula do Curso de Observador**. Brasília: Exército Brasileiro, 2019. 126 p.
- BURDEA, G. C.; COIFFET, P. **Virtual Reality Technology**. 2. ed. New Jersey, USA: Wiley-IEEE Press, 2003. 464 p.
- CHECA, D.; BUSTILLO, A. A review of immersive virtual reality serious games to enhance learning and training. **Multimedia Tools and Applications**, v. 79, n. 9, p. 5501–5527, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11042-019-08348-9>>. Acesso em: 15 abril de 2024.
- DALLADAKU, Y.; KELLEY, J.; LACEY, B.; MITCHINER, J.; WELSH, B. ; BEIGH, M. Assessing the effectiveness of virtual reality in the training of army aviators. **Proceedings of the 2020 Annual General Donald R. Keith Memorial Capstone Conference**, v. 2, 2020. Disponível em: <<https://ieworldconference.org/content/WP2020/Papers/GDRKMCC2015.pdf>> .*Acesso em : 16abrilde2024.*
- DEVIGNE, L.; BABEL, M.; NOUVIALE, F.; NARAYANAN, V. K.; PASTEAU, F. ; GALLIEN, P. Design of an immersive simulator for assisted power wheelchair driving. In: 2017 INTERNATIONAL CONFERENCE ON REHABILITATION ROBOTICS (ICORR), 1., 2017. **Electronic proceedings...** London, UK: IEEE, 2017, p. 995–1000. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8009379>>. Acesso em: 09 maio de 2023.

- DONEDA, A. L. C.; DE OLIVEIRA, J. C. Helicopter visual signaling simulation: Integrating vr and ml into a low-cost solution to optimize brazilian navy training. In: 2020 22ND SYMPOSIUM ON VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY (SVR), 1., 2020. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2020, p. 434–442. Acesso em: 17 abril de 2024.
- GIRARDI, R.; DE OLIVEIRA, J. C. Virtual reality in army artillery observer training. In: 2019 21ST SYMPOSIUM ON VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY (SVR), 1., 2019. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2019, p. 25–33.
- HARRINGTON, C. M.; KAVANAGH, D. O.; QUINLAN, J. F.; RYAN, D.; DICKER, P.; O'KEEFFE, D.; TRAYNOR, O. ; TIERNEY, S. Development and evaluation of a trauma decision-making simulator in oculus virtual reality. **The American Journal of Surgery**, v. 215, n. 1, p. 42 – 47, 2018. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0002961017300405>>. Acesso em: 04 maio de 2023.
- HUSSAIN, T. S.; BOWERS, B. C.; CANNON-BOWERS, J. A.; MENAKER, E. S.; COLEMAN, S. L.; MURPHY, C.; POUNDS, K.; KOENIG, A.; WAINESS, R. ; LEE, J. J. Designing and developing effective training games for the us navy. In: ., .., 2009. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2009. Disponível em: <<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:107457268>>. Acesso em: 16 abril de 2024.
- IGROUP. IGroup Presence Questionnaire (IPQ) Scale Construction. Disponível em: <<http://www.igroup.org/pq/ipq/construction.php>>. Acesso em: 13 maio de 2023.
- JEELANI, I.; HAN, K. ; ALBERT, A. Development of virtual reality and stereopanoramic environments for construction safety training. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 27, n. 8, p. 1853–1876, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1108/ECAM-07-2019-0391>>. Acesso em: 17 abril de 2024.
- KON, Y.; NAKAMURA, T.; SAKURAQI, R.; SHLONOLRL, H.; YEM, V. ; KAJIRNOTO, H. Hangerover: Development of hmo-embedded haptic display using the hanger reflex and vr application. In: 2018 IEEE CONFERENCE ON VIRTUAL REALITY AND 3D USER INTERFACES (VR), 1., 2018. **Electronic proceedings...** Reutlingen, Germany: IEEE, 2018, p. 765–766. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8446524>>. Acesso em: 06 maio de 2023.
- LOVREGGIO, R.; DUAN, X.; RAHOUTI, A.; PHIPPS, R. ; NILSSON, D. Comparing the effectiveness of fire extinguisher virtual reality and video training. **Virtual Reality**, v. 25,

n. 1, p. 133–145, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10055-020-00447-5>>. Acesso em: 15 abril de 2024.

MAKRANSKY, G.; BORRE-GUDE, S. ; MAYER, R. Motivational and cognitive benefits of training in immersive virtual reality based on multiple assessments. **Journal of Computer Assisted Learning**, v. ., p. ., 2019.

PAL, S. K.; KHAN, M. ; MCMAHAN, R. P. The benefits of rotational head tracking. In: 2016 IEEE SYMPOSIUM ON 3D USER INTERFACES (3DUI), 1., 2016. **Electronic proceedings...** Greenville, SC, USA: IEEE, 2016, p. 31–38. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7460028>>. Acesso em: 06 maio de 2023.

PEDRAM, S.; PALMISANO, S.; SKARBEZ, R.; PEREZ, P. ; FARRELLY, M. Investigating the process of mine rescuers’ safety training with immersive virtual reality: A structural equation modelling approach. **Computers Education**, v. 153, p. 103891, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131520300907>>. Acesso em: 16 abril de 2024.

POYADE, M.; EAGLESHAM, C.; TRENCH, J. ; REID, M. A transferable psychological evaluation of virtual reality applied to safety training in chemical manufacturing. **ACS Chemical Health & Safety**, v. 28, n. 1, p. 55–65, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1021/acs.chas.0c00105>>. Acesso em: 17 abril de 2024.

REGER, G. M.; SMOLENSKI, D.; EDWARDS-STEWART, A.; SKOPP, N. A.; RIZZO, A. S. ; NORR, A. Does virtual reality increase simulator sickness during exposure therapy for post-traumatic stress disorder?. **Telemedicine and e-Health**, v. 25, n. 9, p. 859–861, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1089/tmj.2018.0175>>. Acesso em: PMID: 30379634.

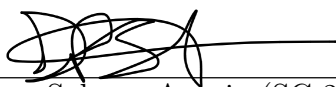
RIZZO, A. S.; NORR, A. M.; REGER, G. M.; SYLVERS, P.; PELTAN, J.; FISCHER, D.; TRIMMER, M.; PORTER, S.; GANT, P. ; BAER, J. S. Virtual standardized patients vs academic training for learning motivational interviewing skills in the us department of veterans affairs and the us military: A randomized trial. **JAMA Network Open**, v. 3, n. 10, p. e2017348–e2017348, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.17348>>. Acesso em: 16 abril de 2024.

SHARMA, S.; BODEMPUDI, S. T.; SCRIBNER, D. ; GRAZAITIS, P. Active shooter response training environment for a building evacuation in a collaborative virtual en-

- vironment. **Electronic Imaging**, v. 32, n. 13, p. 223–1–223–1, 2020. Disponível em: <<https://library.imaging.org/ei/articles/32/13/art00002>>. Acesso em: 15 abril de 2024.
- SHERMAN, W.; CRAIG, A. **Understanding Virtual Reality: Interface, Application and Design**. San Francisco, USA: Morgan Kaufmann, 2003. 582 p.
- SHIRADKAR, S.; RABELO, L.; ALASIM, F. ; NAGADI, K. Virtual world as an interactive safety training platform. **Information**, v. 12, n. 6, p. 219, 2021. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2078-2489/12/6/219>>. Acesso em: 17 abril de 2024.
- SINGH, N.; SINGH, S. Virtual reality: A brief survey. In: 2017 INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION COMMUNICATION AND EMBEDDED SYSTEMS (ICICES), 1., 2017. **Electronic proceedings...** Chennai, India: IEEE, 2017, p. 1–6. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8070720>>. Acesso em: 28 abr. de 2023.
- SIU, K.-C.; BEST, B. J.; KIM, J. W.; OLEYNIKOV, D. ; RITTER, F. E. Adaptive virtual reality training to optimize military medical skills acquisition and retention. **Military Medicine**, v. 181, n. suppl₅, p.214 – –220, 2016. *Disponvelem* :< *https* : *//doi.org/10.7205/MILMED – D – 15 – 00164* > .*Acessoem* : 15abrilde2024.
- SLATER, M.; STEED, A. ; CHRYSANTHOU, Y. **Computer Graphics and Virtual Environments: From Realism to Real-Time**. Harlow, UK: Addison-Wesley, 2002. 571 p.
- TAUPIAC, J.-D.; RODRIGUEZ, N.; STRAUSS, O. ; RABIER, M. Ad-hoc study on soldiers calibration procedure in virtual reality. In: 2019 IEEE CONFERENCE ON VIRTUAL REALITY AND 3D USER INTERFACES (VR), .., 2019. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2019, p. 190–199.
- VALENTINE, A.; VAN DER VEEN, T.; KENWORTHY, P.; HASSAN, G. M.; GUZZOMI, A. L.; KHAN, R. N. ; MALE, S. A. Using head mounted display virtual reality simulations in large engineering classes: Operating vs observing. **Australasian Journal of Educational Technology**, v. 37, n. 3, p. 119–136, 2021. Disponível em: <<https://ajet.org.au/index.php/AJET/article/view/5487>>. Acesso em: 16 abril de 2024.
- WIEDERHOLD, B. K.; MCLAY, R. N.; WOOD, D. P.; WEBB-MURPHY, J. A.; SPIRA, J. L.; WIEDERHOLD, M. D. ; PYNE, J. M. A randomized, controlled trial of virtual reality-graded exposure therapy for post-traumatic stress disorder in active duty

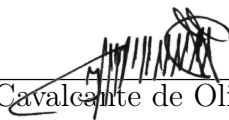
service members with combat-related post-traumatic stress disorder. **Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking**, v. 14, n. 4, p. 223–229, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1089/cyber.2011.0003>>. Acesso em: PMID: 21332375.

ZHOU, N.-N.; DENG, Y.-L. Virtual reality: A state-of-the-art survey. **International Journal of Automation and Computing**, v. 6, n. 4, p. 319–325, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11633-009-0319-9>>. Acesso em: 27 abr. de 2023.



Diogo Pacheco Salazar Araujo (SC 23102)

Aluno



Jauvane Cavalcante de Oliveira, Ph.D.

Orientador



Paulo Fernando Ferreira Rosa, Ph.D.

Orientador



Maj Gabriela Mourinho de Souza Dias, D.Sc.

Coordenador de Pós-graduação

Concordo com a presente Proposta de Dissertação e declaro que as necessidades para sua execução serão garantidas pela Seção.

IME, em 07 de Junho de 2024.



Cel Julio Cesar Duarte, D.Sc.

CHEFE da SE/9