

**MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS E COMPUTAÇÃO**

ANTÔNIO LUIZ CARLUCIO DONEDA

**SIMULAÇÃO DE ORIENTAÇÃO DE AERONAVE: INTEGRANDO
REALIDADE VIRTUAL E APRENDIZADO DE MÁQUINA EM UMA
SOLUÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA OTIMIZAÇÃO DO TREINAMENTO
DA MARINHA DO BRASIL**

**RIO DE JANEIRO
2020**

ANTÔNIO LUIZ CARLUCIO DONEDA

SIMULAÇÃO DE ORIENTAÇÃO DE AERONAVE: INTEGRANDO
REALIDADE VIRTUAL E APRENDIZADO DE MÁQUINA EM UMA
SOLUÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA OTIMIZAÇÃO DO TREINAMENTO
DA MARINHA DO BRASIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em
Sistemas e Computação do Instituto Militar de Engenharia,
como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre
em Ciências em Sistemas e Computação.

Orientador: Jauvane Cavalcante de Oliveira, Ph.D.

Rio de Janeiro

2020

©2020

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha

Rio de Janeiro – RJ CEP: 22290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmар ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do autor e do orientador.

Doneda, Antônio Luiz Carlucio.

Simulação de Orientação de Aeronave: Integrando Realidade Virtual e Aprendizado de Máquina em uma solução de baixo custo para otimização do treinamento da Marinha do Brasil / Antônio Luiz Carlucio Doneda. – Rio de Janeiro, 2020.

74 f.

Orientador: Jauvane Cavalcante de Oliveira.

Dissertação (mestrado) – Instituto Militar de Engenharia, Sistemas e Computação, 2020.

1. realidade virtual. 2. aprendizado de máquina. 3. reconhecimento de gestos. 4. simulação. i. Oliveira, Jauvane Cavalcante de (orient.) ii. Título

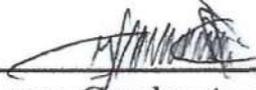
ANTÔNIO LUIZ CARLUCIO DONEDA

**Simulação de Orientação de Aeronave: Integrando
Realidade Virtual e Aprendizado de Máquina em uma
solução de baixo custo para otimização do treinamento
da Marinha do Brasil**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Sistemas e Computação do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Sistemas e Computação.

Orientador: Jauvane Cavalcante de Oliveira.

Aprovado em Rio de Janeiro, 16 de dezembro de 2020, pela seguinte banca examinadora:



Prof. Jauvane Cavalcante de Oliveira - Ph.D. do LNCC - Presidente



Prof. Julio Cesar Duarte - D.Sc. do IME



Prof. Alberto Barbosa Raposo - D.Sc. da PUC

Rio de Janeiro

2020

Dedico este trabalho aos meus pais, pela educação que me deram, por todo o amor e por sempre mostrarem a importância do estudo para a vida. Que Deus sempre lhes dê saúde. À minha esposa Aline, companheira e parceira na vida, a quem eu amo de coração e que sempre está ao meu lado em todos os momentos.

À minha filha Sofia, que eu possa, com carinho e amor, inspirá-la a ser uma pessoa boa e feliz.

A Deus, a quem agradeço sempre pela minha vida e pela minha família.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Jauvane pela apoio, orientação e confiança.

Ao Capitão de Fragata Coreixas, Capitão de Corveta Vieira e Capitão de Corveta Danilo Cunha, pelos conselhos profissionais.

Aos voluntários da Marinha do Brasil que participaram dos testes, por permitir o aprimoramento deste trabalho.

Ao professores do IME, pelo profissionalismo e pelo conhecimento que me foi passado.

À Marinha do Brasil pela oportunidade de realizar esse mestrado.

*“Tudo aquilo que o homem ignora, não existe para ele.
Por isso o universo de cada um se resume no tamanho de seu saber.”
(Albert Einstein)*

RESUMO

O militar que fica no heliponto de um navio em movimento, encarregado de auxiliar o piloto da aeronave por meio de sinais visuais durante o pouso e a decolagem, garantindo as condições gerais de segurança, é o orientador. Esta função requer autoconfiança, conhecimento, habilidades, coordenação de equipe e capacidade de reação adequada, que somente são alcançados com treinamento intensivo. Depois de serem apresentados aos conceitos teóricos, os orientadores em formação da Marinha do Brasil vão direto para o estágio prático. Esta fase de treinamento com a aeronave logo após a sala de aula revela uma série de limitações no desempenho desses alunos. Para melhor preparar o orientador em sua formação, reduzir custos de treinamento e proporcionar um ambiente seguro para simular diversos cenários, faz parte do escopo deste trabalho o desenvolvimento de um simulador de Realidade Virtual leve, de fácil transporte pelas Organizações Militares do Brasil, e de baixo custo, com tecnologias de prateleira disponíveis comercialmente, com o objetivo de incrementar o treinamento, denominado Simulador de Orientação de Aeronave (SOA). Devido às suas especificidades, um método de reconhecimento de gestos de Aprendizado de Máquina foi integrado ao ambiente virtual e dois conjuntos de dados foram criados. Esta dissertação detalha o processo para atingir os objetivos propostos e o desenvolvimento do protótipo do simulador, além de apresentar a análise dos testes realizados com 15 instrutores experientes. Os resultados indicam que o SOA atende a todos os requisitos para fornecer uma solução de treinamento confiável e de baixo custo para a Marinha do Brasil.

Palavras-chave: realidade virtual. aprendizado de máquina. reconhecimento de gestos. simulação.

ABSTRACT

Landing Signalman (LS) is the military on the helipad of a moving ship in charge of assisting the pilot, employing visual signs during landing and takeoff and ensuring general safety conditions of the flight deck area. This task requires self-confidence, knowledge, skills, team coordination, and the ability to react appropriately, which can be only achieved with intensive training. After being introduced to theoretical concepts, the Brazilian Navy LS trainees go directly to the practical stage. This hands-on training phase straight after the classroom reveals a series of limitations in LS trainee's performance. In order to better prepare the LS trainee, reduce training costs and provide a safe environment to perform several training situations, a low-cost and easy to transport Virtual Reality (VR) simulator was developed to increase training, denominated Helicopter Visual Signal Simulator. Due to its specificities, a Machine Learning gesture recognition method was integrated into the virtual environment, and two data sets were created. This dissertation details the process to achieve the proposed objectives and the development of the simulator prototype, in addition to presenting the analysis of the tests carried out with 15 experienced instructors. The results indicate that this simulator meets all requirements to provide a reliable and low-cost training solution for the Brazilian Navy.

Keywords: virtual reality. machine learning. gesture recognition. simulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Orientador em convoo do navio <i>Monitor Parnaíba</i> . [1]	17
Figura 2.1 – Sinais visuais disseminados em publicação da OTAN. [2]	23
Figura 2.2 – Operação aérea de transferência de carga. [1]	24
Figura 3.1 – Disposição da EQMAN em convoo de navio no SOA.	35
Figura 3.2 – Manobra de VERTREP no navio americano <i>USNS Supply</i> . [3]	36
Figura 3.3 – Manobra de <i>Pick-Up</i> em simulação de salvamento na <i>Fragata "União"</i> . [4]	37
Figura 3.4 – Sinais comuns utilizados pelo orientador. [5]	37
Figura 3.5 – Orientador com lanternas em manobra noturna. [6]	37
Figura 3.6 – Mapa de possíveis cenários.	38
Figura 3.7 – Questionário aplicado em 15 instrutores e 2 pilotos da MB.	39
Figura 4.1 – Uso do controle HTC VIVE™ simulando a lanterna.	43
Figura 4.2 – Uso do dispositivo VIVE™ Tracker.	43
Figura 4.3 – Componentes do HTC VIVE™ Pro. [7]	44
Figura 4.4 – Envio de dados pelo VIVE Tracker [7].	45
Figura 4.5 – Luva adaptada e sua conexão <i>POGO Pin</i> ao VIVE™ Tracker simulando os botões dos controles VIVE™. A imagem <i>A</i> representa a postura de mão aberta; a imagem <i>B</i> representa a mão fechada; e a imagem <i>C</i> representa a mão fechada com o polegar estendido.	45
Figura 4.6 – Três modelos de aeronaves da MB no ambiente do SOA.	47
Figura 4.7 – Forças atuantes no helicóptero em voo.	47
Figura 4.8 – Movimentos em torno dos eixos longitudinal, transversal e vertical do helicóptero.	48
Figura 4.9 – <i>Script</i> referente à função da força de Sustentação.	49
Figura 4.10 – <i>Script</i> referente à função do movimento de Guinada.	49
Figura 4.11 – <i>Script</i> referente ao cálculo da inclinação do helicóptero.	50
Figura 4.12 – <i>Script</i> referente aos movimentos de arfagem e rolamento do helicóptero.	50
Figura 4.13 – <i>Script</i> referente ao nivelamento do helicóptero.	51
Figura 4.14 – Arfagem e Rolamento, respectivamente, no ambiente do SOA.	51
Figura 4.15 – Avatar do orientador no SOA reproduzindo os movimentos do usuário por meio de solução de IK.	51
Figura 4.16 – Ilustração adaptada da rede neural do <i>MiVRy</i> contendo 18 neurônios na primeira camada e 2 camadas escondidas com 9 neurônios cada uma, onde o gesto 2 obteve a maior probabilidade de semelhança. [8]	53
Figura 4.17 – Cenário de criação de sinais.	53

Figura 4.18–Sinais visuais e as missões nas quais são utilizados: Decolagem (1), Pouso (2), PickUp(3), VERTREP com carga (4), VERTREP sem carga (5).	54
Figura 5.1 – Instrutor realizando testes no cenário noturno do SOA.	56
Figura 5.2 – Sintomas de mal-estar relatados pelos instrutores durante os testes com o SOA.	58
Figura 5.3 – Frequência cardíaca de 4 instrutores medida a cada 1 minuto. A seta indica o momento em que o erro proposital foi inserido no helicóptero, criando uma situação de perigo no ambiente virtual.	59
Figura A.1–Diagrama da manobra de Decolagem.	68
Figura A.2–Diagrama da manobra de Pouso.	68
Figura A.3–Diagrama da manobra de Transferência de Carga.	69
Figura B.1 –Exemplos de cenários de treinamento.	70
Figura B.2–Menu do Instrutor.	71
Figura B.3–Cenário de Adaptação	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Comparação entre os trabalhos relacionados.	32
Quadro 4.1 – Especificações do HTC VIVE™Pro Headset.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Performace de treinamento por missão.	55
Tabela 5.1 – Valores do banco de dados do IPQ e resultados do SOA.	57
Tabela 5.2 – Questionário de Eficácia Subjetiva utilizando escala <i>Likert</i> de cinco pontos.	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP	Análise de Componentes Principais
ACT	Análise Cognitiva de Tarefas
AM	Aprendizado de Máquina
BIP	<i>Break-in-presence</i> (Quebra de Presença)
CASNAV	Centro de Análise de Sistemas Navais
CAVE	<i>Cave Automatic Virtual Environment</i> (Ambiente Virtual de Caverna Automática)
CIAAN	Centro de Instrução e Adestramento Aeronaval Almirante José Maria do Amaral Oliveira
CNN	<i>Convolutional Neural Network</i> (Rede Neural Convolutacional)
DTW	<i>Discrete wavelet transform</i> (Transformada Wavelet Discreta)
EQMAN	Equipe de Manobra
EUA	Estados Unidos da América
G1	<i>General Presence</i> (Percepção de Presença Geral)
HMD	<i>Head Mounted Display</i> (Dispositivo Montado na Cabeça)
HMM	<i>Hidden Markov Model</i> (Cadeia Escondida de Markov)
IA	Inteligência Artificial
IK	<i>Inverse Kinematic</i> (Cinemática Inversa)
INV	<i>Involvement</i> (Envolvimento)
IPQ	<i>Igroup Presence Questionnaire</i> (Questionário de Presença do Igroup)
kNN	<i>k-Nearest Neighbors</i> (K-ésimo Vizinho mais Próximo)
MB	Marinha do Brasil
N/A	Não Aplicável
NFS	<i>Neuro-Fuzzy System</i>

OM	Organização Militar
OTAN	Organização do Tratado do Atlântico Norte
REAL	<i>Realism</i> (Realismo)
RNA	Rede Neural Artificial
RPM	Rotações por minuto
RV	Realidade Virtual
SOA	Simulador de Orientação de Aeronave
SP	<i>Spacial Presence</i> (Presença Espacial)
SSQ	<i>Simulator Sickness Questionnaire</i> (Questionário de Desconforto em Simulador)
SVM	<i>Support Vector Machine</i> (Máquina de Suporte de Vetor)
TR	Taxa de Reconhecimento
VERTREP	<i>Vertical Replenishment</i> (Reabastecimento Vertical)
VRSQ	<i>Virtual Reality Sickness Questionnaire</i> (Questionário de Mal-Estar em Realidade Virtual)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	MOTIVAÇÃO	18
1.2	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	19
1.3	OBJETIVO	19
1.4	JUSTIFICATIVA	20
1.5	CONTRIBUIÇÕES ESPERADAS	21
1.6	METODOLOGIA	21
1.7	ORGANIZAÇÃO	21
2	CONCEITOS E TRABALHOS RELACIONADOS	23
2.1	ATIVIDADE E FORMAÇÃO DO ORIENTADOR	23
2.2	SIMULAÇÃO	24
2.3	REALIDADE VIRTUAL	25
2.4	RECONHECIMENTO DE GESTOS E APRENDIZADO DE MÁQUINA	27
2.5	PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO	28
2.5.1	SENSAÇÃO DE PRESENÇA	28
2.5.2	SINTOMAS DE MAL-ESTAR	28
2.5.3	EFICÁCIA	29
2.6	TRABALHOS RELACIONADOS	29
2.6.1	SIMULAÇÃO EM TREINAMENTO E RECONHECIMENTO DE GESTOS	29
2.6.2	AVALIAÇÃO	33
3	PRÉ-ESTUDO DA ATIVIDADE A SER SIMULADA	34
3.1	DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES AÉREAS	34
3.1.1	COMPOSIÇÃO DA EQUIPE	34
3.1.2	MANOBRAS COM AERONAVE	35
3.1.2.1	LANÇAMENTO	35
3.1.2.2	POUSO	36
3.1.2.3	VERTREP	36
3.1.2.4	PICK-UP	36
3.1.3	SINALIZAÇÃO	37
3.2	ANÁLISE COGNITIVA DE TAREFAS	38
3.3	QUESTIONÁRIO DE PESQUISA	38
3.4	OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM	40
3.5	PREMISSAS	40

4	ESPECIFICAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO SOA	41
4.1	ESPECIFICAÇÃO DO SOA	41
4.1.1	PROPÓSITO	41
4.1.2	PÚBLICO-ALVO	41
4.1.3	SISTEMAS	41
4.1.4	LIMITAÇÕES	41
4.1.5	SIMULAÇÕES ABRANGIDAS	42
4.1.6	RECURSOS INSTRUCIONAIS	42
4.2	DESENVOLVIMENTO DO SOA	42
4.2.1	<i>HARDWARE</i>	42
4.2.2	<i>SOFTWARE</i>	45
4.2.2.1	MODELOS SECUNDÁRIOS	46
4.2.2.2	MODELOS PRIMÁRIOS	46
4.2.2.2.1	HELICÓPTERO	46
4.2.2.2.2	ORIENTADOR	51
4.2.2.2.3	RECONHECIMENTO DE GESTOS	52
4.2.3	CENÁRIOS	55
5	TESTES E RESULTADOS	56
5.1	SENSAÇÃO DE PRESENÇA	57
5.2	SINTOMAS DE MAL-ESTAR	58
5.3	EFICÁCIA SUBJETIVA	59
6	CONCLUSÃO	61
	REFERÊNCIAS	63
	APÊNDICE A – DIAGRAMAS DE PROCESSOS	68
	APÊNDICE B – CENÁRIOS DO SOA	70
	APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DE SENSACÃO DE PRESENÇA	73

1 INTRODUÇÃO

A Marinha do Brasil (MB) prima por excelência em manter a segurança do seu pessoal e material durante as inúmeras atividades que realiza. Muitas dessas atividades possuem riscos intrínsecos, tais como as que envolvem operações aéreas, sendo necessário contínuo adestramento da equipe.

Uma das operações de alto risco que seus militares realizam envolve o pouso e decolagem de uma aeronave de asa rotativa (helicóptero) em um convoo de um navio em movimento. O orientador é responsável por orientar os pilotos por meio dos movimentos de seus braços, objetivando sinalizar informações de emergência, de posicionamento da aeronave e de tarefas a serem realizadas tanto pelo piloto como pela equipe situada no heliponto (Figura 1.1).



Figura 1.1 – Orientador em convoo do navio *Monitor Parnaíba*. [1]

Essa função demanda do militar conhecimento, familiarização, qualificação técnica, experiência e confiança em suas atitudes. Sua formação e seu nível de treinamento são primordiais para o sucesso da atividade. A formação atual do orientador engloba aulas teóricas e uma etapa prática iniciada em um heliponto em terra, sendo finalizada em um convoo de um navio em movimento. Em média, cada aluno fica 20 minutos orientando a aeronave. Não há, portanto, como realizar o treinamento de todas as situações possíveis, nem como realizar a repetição de determinadas manobras. A experiência será adquirida somente após a sua formação.

Uma solução em que o orientador possa treinar seus movimentos após as aulas teóricas e antes da prática no heliponto é a imersão em uma Realidade Virtual (RV). Nesse ambiente virtual, os instrutores poderiam individualizar o aprendizado, focando nas características de cada aluno, simulando as diversas situações, normais ou emergenciais, que poderiam ocorrer na prática. Aliado ao alto grau de realismo produzido pela RV, a técnica de Aprendizado de Máquina (AM) para reconhecer padrões de gestos pode

ser integrada a este ambiente virtual. Esse reconhecimento automático dos sinais visuais permitiria uma condução mais natural do treinamento, permitindo mais autonomia ao instrutor e condições de treinamentos mais fidedignas ao aluno.

1.1 Motivação

Em virtude da essência da atividade militar presente na MB, seu pessoal está ciente dos riscos inerentes à profissão. Por isso, a formação, a capacitação e a manutenção das habilidades adquiridas por seus militares possuem níveis de exigência elevados.

A fim de incrementar os adestramentos e de torná-los mais próximos da realidade, a MB utiliza simuladores em algumas atividades específicas. Por contar com uma Força Aeronaval, a MB faz uso de simuladores de voo para treinamento de procedimentos, sendo considerados cruciais no preparo do piloto para missões em terra e embarcadas.

Entretanto, o orientador não dispõe de simuladores para realizar o treinamento durante sua formação ou mesmo para manter sua qualificação, depois de formado. Sendo assim, o orientador tem seu primeiro contato com a aeronave logo após as aulas teóricas. Apesar de haver um padrão nos procedimentos de pouso e decolagem, que deve ser bem memorizado, os pilotos também exploram situações inesperadas, exigindo do orientador em formação uma resposta rápida e correta que reoriente a aeronave com segurança. Aliado a este fator surpresa, muitos alunos são expostos pela primeira vez a um contato tão próximo com a aeronave cujas pás do rotor principal giram cerca de 390 rotações por minuto (RPM) a aproximadamente 3 metros de distância. Há ainda sensações que incluem o vento forte ocasionado pela aeronave e o barulho que é abafado pelos equipamentos de proteção de ruído. É comum observar que muitos alunos sentem-se desconfortáveis e não conseguem aplicar movimentos corretos quando em situações inopinadas.

Dessa forma, a imersão em um simulador de RV, que possuísse um algoritmo de AM que pudesse reconhecer automaticamente os gestos do orientador, cobriria diversos pontos, tais como:

- a) o treinamento das ocorrências normais, inopinadas e emergenciais que podem ocorrer em operações reais;
- b) a simulação em ambiente noturno, onde o risco é incrementado pela redução da visibilidade;
- c) a simulação do ruído e do ambiente de operação;
- d) o reconhecimento automático do sinal e consequente reação imediata da aeronave no ambiente virtual.

Outros simuladores que tentaram abranger o reconhecimento de gestos para o treinamento de orientação de aeronave limitaram-se em até 8 sinais. Este trabalho propõe até 22 sinais visuais, o que aumenta o número de cenários a serem treinados no ambiente virtual.

1.2 Caracterização do Problema

A equipe em solo, composta pelo orientador e demais militares, trabalha em sinergia com os pilotos, garantindo a segurança de todos os envolvidos nas operações aéreas. Durante a formação do orientador, há a necessidade de realizar o treinamento com o helicóptero em voo, o que depende da disponibilidade de aeronave, de recursos financeiros, e de condições atmosféricas apropriadas. Esses fatores limitam a prática individual dos alunos.

Além disso, há uma lacuna entre a etapa teórica e prática, na qual o aluno realiza suas primeiras atividades com a aeronave sem ter nenhuma experiência, traduzindo-se na baixa capacidade de reação a movimentos inesperados, observada pelos intrutores.

Visando solucionar esses problemas, surgem as seguintes questões de pesquisa:

- a) um simulador de RV de baixo custo poderia complementar a formação do orientador, preparando-o para a etapa prática?
- b) um simulador de RV de baixo custo poderia acrescentar de forma fidedigna situações que ocorrem em operações reais, mas que não são abordadas na etapa prática?
- c) um simulador de RV de baixo custo poderia treinar a capacidade de reação do orientador?
- d) um simulador de RV de baixo custo poderia ter uma aeronave virtual controlada sem a interferência do instrutor e poderia conter um algoritmo de AM que identifique o sinal visual do usuário de forma automática?
- e) um simulador de RV de baixo custo atenderia aos objetivos de aprendizado da MB e poderia ser considerado um recurso de treinamento?

1.3 Objetivo

Esta dissertação de mestrado possui como objetivo apresentar os estudos realizados para compreender a atividade de orientação de aeronave, bem como desenvolver um simulador de RV de baixo custo para a formação do orientador, denominado Simulador de Orientação de Aeronave (SOA), propondo técnicas para avaliar e validar sua aplicação na MB.

Para atingir esse objetivo, o trabalho iniciou-se com a realização de uma pesquisa bibliográfica para estudar os benefícios e desvantagens da tecnologia de RV, avaliar as experiências onde a simulação em RV trouxe ganhos expressivos para o treinamento e verificar os métodos mais adequados para a validação dos resultados a serem obtidos. Seguiu-se com a especificação e desenvolvimento do SOA com base na tecnologia disponível, nas normas da MB e nas experiências de militares com conhecimento em operações aéreas, aplicando-se a Análise de Cognitiva de Tarefas (ACT) [9]. As tecnologias de baixo custo referem-se a produtos de código gratuito e aos de prateleira, disponíveis comercialmente a qualquer comprador, que reduzem o custo financeiro quando comparados a grandes contratos realizados entre entes governamentais e grandes empresas, sujeitos a cláusulas de confidencialidade e aportes robustos. A otimização do treinamento, conforme explicitada no título desta dissertação, tem por objetivo produzir um treinamento mais proveitoso, que aprimore as habilidades dos alunos em formação, a fim de que prosseguiram com a etapa prática em melhores condições. Por fim, foram realizados testes com os instrutores do curso de formação de orientador da MB, avaliando e analisando os resultados obtidos.

1.4 Justificativa

A formação e o treinamento nas Organizações Militares (OM) têm por objetivo preparar indivíduos e equipes para o desempenho de tarefas complexas, com alto nível de precisão e sob condições de estresse. Enquanto o treinamento fornece o conhecimento e as habilidades necessárias para realizar uma tarefa, a formação contribui para que o militar possa decidir quando e como utilizar o que foi adquirido no treinamento [10].

Os simuladores promovem diversas vantagens no âmbito das operações aéreas, incluindo a promoção de um ambiente seguro para a prática de procedimentos de emergência que não poderiam ser realizados com a aeronave, a redução de custos de treinamento, a conservação do meio ambiente pela redução do uso de combustível e a possibilidade de múltiplas repetições de determinados eventos [11].

Aliada ao uso de simuladores para treinamento, a tecnologia de RV apresenta uma evolução contínua. Softwares complexos de código livre são compartilhados gratuitamente na internet e mantidos por milhares de colaboradores, tais como o software de criação e modelagem 3D *Blender* que possui melhor qualidade quando comparado ao *3D Studio Max*, concorrente pago mais popular do mercado [12]. Grandes empresas também disponibilizam seus softwares de código fechado de forma gratuita para a criação de aplicações, fidelizando seus usuários, como o software de desenvolvimento 3D em tempo real *Unity*. Isso faz com que a tecnologia se dissemine de forma rápida e barata, permitindo resultados profissionais. Por consequência, o domínio dessa tecnologia permite reduzir custos de aquisição e de manutenção de sistemas.

Os algoritmos de AM, aliados ao reconhecimento de gestos, são cada vez mais robustos e permitem uma classificação eficiente que dinamiza o treinamento. O próprio desenvolvimento da aplicação militar sendo realizado por Oficiais da MB, conhecedores das atividades a serem realizadas, simplifica o processo, reduz custos, permite uma adequação à realidade da instituição e uma difusão maior do conhecimento.

1.5 Contribuições Esperadas

Este trabalho tem como contribuição esperada a apresentação e discussão da especificação e desenvolvimento de um simulador de RV de baixo custo, implementado com tecnologias existentes e técnicas estabelecidas, visando solucionar a lacuna existente nas etapas de formação do orientador de aeronave.

Além disso há a demonstração da integração da técnica de AM em um ambiente de RV para a classificação e o reconhecimento de gestos, e a apresentação da análise dos parâmetros de avaliação do SOA.

Em relação à comunidade científica, as contribuições ocorreram com a criação de *datasets* de gestos de orientação de aeronave [13] e com a publicação de artigo em anais de simpósio especializado [14].

1.6 Metodologia

O trabalho segue a abordagem indutiva. A metodologia utilizada, com o propósito de cumprir o objetivo principal e os intermediários, empregou uma divisão em três etapas: teórica, prática e de validação.

A etapa teórica iniciou-se com a pesquisa bibliográfica em periódicos científicos, artigos em anais de congressos e em publicações normativas da MB.

A etapa prática iniciou-se no pré-estudo para especificar o simulador, encerrando-se com o término do desenvolvimento do SOA.

A etapa de validação consiste na execução de uma pesquisa de levantamento onde os instrutores testam o simulador já desenvolvido, a fim de avaliá-lo, e os resultados são analisados.

1.7 Organização

Esta dissertação está dividida em seis capítulos, sendo esse de caráter introdutório.

O Capítulo 2 apresenta os conceitos fundamentais e contextualiza os principais trabalhos relacionados à atividade de orientação de aeronaves, no escopo das operações aéreas,

aos simuladores de treinamento, à tecnologia de RV, ao AM aplicado ao reconhecimento de gestos, e aos métodos de avaliação.

O Capítulo 3 descreve o pré-estudo realizado para compreender a atividade de treinamento do orientador, os anseios dos instrutores e os objetivos de aprendizagem.

O Capítulo 4 explica o processo de especificação e desenvolvimento do SOA, e como as tecnologias foram utilizadas para este fim.

O Capítulo 5 detalha os procedimentos de testes e de aplicação dos questionários de avaliação, bem como a análise dos resultados obtidos.

O Capítulo 6 apresenta as conclusões e as propostas de trabalho futuro.

2 CONCEITOS E TRABALHOS RELACIONADOS

Este capítulo apresenta os principais conceitos e contextualiza os trabalhos relacionados que serviram de embasamento para esta dissertação.

2.1 Atividade e formação do orientador

Após a 2ª Guerra Mundial, o desenvolvimento do helicóptero ocorreu de forma acelerada. A sua versatilidade de emprego e o fato de operar em pequenos espaços, fizeram dele um equipamento essencial em várias Marinhas do mundo [15]. Em 1961, a MB ativou sua primeira unidade de Esquadrão de Helicópteros.

Desde então, os pilotos são formados para operar em ambiente embarcado, expostos aos riscos e intempéries do ambiente marítimo. Os procedimentos operacionais entre aeronave e navio foram, a partir da década de 1960, intensamente estudados e padronizados, de forma a mitigar riscos e acidentes, principalmente entre as nações membros da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN) e seus aliados. Esses procedimentos incluem a comunicação visual entre orientador e pilotos, uma vez que há situações em que a comunicação verbal e a recepção sonora são impraticáveis, pois poderiam ocorrer desentendimentos que aumentariam o risco da operação [2]. Sendo assim, foram criados sinais visuais que permitissem uma comunicação clara e objetiva, exigindo-se um intenso treinamento dos atores principais (Figura 2.1.).

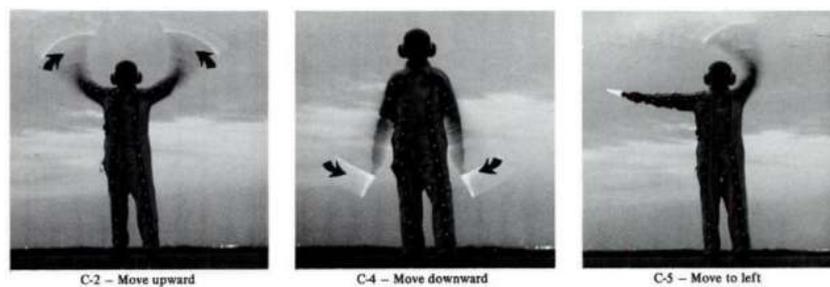


Figura 2.1 – Sinais visuais disseminados em publicação da OTAN. [2]

No âmbito da MB, o Centro de Instrução e Adestramento Aeronaval Almirante José Maria do Amaral Oliveira (CIAAN) é responsável por ministrar o Curso Expedito de Equipe de Manobra de Helicópteros e Crache a Bordo. Seu objetivo é suplementar a habilitação técnico-profissional de Oficiais e Praças de navios com plataforma de voo para o exercício das funções relacionadas com manobra de helicópteros e segurança de aviação.

O curso conta com aulas teóricas, seguida de uma parte prática, em terra, na qual o orientador treina seus comandos com a aeronave em voo, e uma segunda etapa prática

embarcado em um navio. Dentre as manobras que a aeronave faz, podem-se destacar pouso, decolagem, reabastecimento em voo, evacuação aeromédica e transporte de carga. A equipe é composta pelo orientador responsável pela comunicação visual com o piloto da aeronave, e por militares que o auxiliam com a movimentação de carga, com a colocação de correntes de aço para fixar a aeronave no convoo e com o combate a um possível incêndio, em caso de sinistro (Figura 2.2.).



Figura 2.2 – Operação aérea de transferência de carga. [1]

2.2 Simulação

A simulação fornece uma imitação realista de situação do mundo real [16]. Há muitos anos os militares desenvolvem a simulação como uma técnica instrucional para representar as sensações visuais, auditivas e hápticas do mundo operacional. Desde a década de 1980, os militares dos Estados Unidos da América (EUA) categorizaram a simulação em três categorias que se complementam, cada uma fornecendo recursos exclusivos para o desenvolvimento do desempenho humano, além dos conhecimentos e habilidades básicos fornecidos pelo treinamento individual [10]. São as simulações vivas, construtivas e virtuais:

- a) **simulação viva:** seus participantes empregam equipamentos e instrumentos reais para registrar os eventos relevantes. Tecnologias como transmissores e receptores a laser acopladas no armamento oferecem oportunidades para treinamento tático e motivam os participantes. Os eventos são registrados em detalhes para análises posteriores por especialistas;
- b) **simulação construtiva:** é mais acadêmica, sendo melhor exemplificada por jogos de guerra computadorizados. Os participantes estabelecem cenários, parâmetros e decisões de comando. Eles então usam computadores para executar as missões e as consequências de suas decisões apoiam o desenvolvimento de táticas, técnicas e procedimentos;

- c) **simulação virtual:** ocupa o meio termo entre simulação viva e a construtiva. Emprega simuladores controlados por seres humanos e conectados em rede para realizar operações em terrenos gerados eletronicamente. Os simuladores podem estar localizados fisicamente em qualquer lugar porque são modulares e compartilham um modelo comum da situação e de seu terreno virtual. A simulação virtual fornece experiência e *feedback* mais realistas do que a simulação construtiva, mas com menos custo e tempo do que a simulação ao vivo.

Alguns dos benefícios das simulações, citados na literatura e que podem ser diretamente aplicáveis ao SOA, são [17]:

- a) redução de custos, uma vez que os recursos financeiros utilizados para operar uma aeronave são altos, considerando a manutenção de equipamentos, combustível e pessoal;
- b) replicação de uma grande coleção de cenários em uma situação controlada, não só no que diz respeito às manobras realizadas, mas também na escolha das condições atmosféricas e tipo de aeronave;
- c) criação de um ambiente onde erros não trazem graves consequências. Erros cometidos pelo aluno, quando em um ambiente seguro e sem culpa, podem ser um poderoso mecanismo de aprendizado. Nos exercícios realizados no mar com o equipamento real, os alunos tendem a ser mais limitados em suas ações devido ao medo de erros reais e suas consequências.

2.3 Realidade Virtual

A RV remonta à década de 1960, quando o ambiente virtual começou com a simulação dinâmica de sons. Ao longo de cinquenta anos de desenvolvimento, tornou-se a corrente principal da tecnologia de simulação por computador no mundo devido à sua propriedade de percepção em vários graus, ao senso real de existência, à interatividade extensa e ao alto grau de autonomia. Ademais, a indústria tradicional dos campos da medicina, aeroespacial e mecânica foram cruciais para o desenvolvimento da RV, pois utilizavam-se dessa ferramenta para desenvolver e incrementar seu ciclo de produtividade [18]. Os domínios de aplicação como medicina, psicologia, esporte, arquitetura, militar e combate a incêndios também representam apenas alguns exemplos em que essa prática está se tornando a norma, sendo que o domínio militar, sozinho, tem investido recursos consideráveis para conduzir pesquisas, colaborando com toda a comunidade científica [19].

Essa tecnologia tem demonstrado seu potencial para desbloquear a compreensão humana de conjuntos de dados complexos por meio da imersão e interação espacial [20].

Níveis mais elevados de imersão apresentaram efeitos positivos nos julgamentos espaciais em pequena escala e na memorização de procedimentos complexos [21].

Com relação aos dispositivos de RV, as principais empresas do ramo dos jogos eletrônicos lançaram, na década de 1990, seus *Head Mounted Displays* (HMD), como ficaram conhecidos os visores de RV, que têm como propósito possibilitar ao usuário interagir gestualmente com imagens tridimensionais e situá-lo em ambientes virtuais esféricos (o olhar pode ser direcionado para qualquer ângulo, não existindo mais a parte de trás da cena) [22]. Entretanto houve fracasso nas vendas desses dispositivos à época, e o reaquecimento do mercado somente ocorreu a partir de 2013. Os seguintes motivos pelo fracasso de vendas no passado são elencados [22], superados pela evolução da tecnologia:

- a) alto preço dos dispositivos;
- b) ausência de tecnologia apropriada à sensação imersiva por conta da resolução muito baixa e componentes volumosos, causando sintomas de desconforto ao usuário, sendo os mais comuns dor de cabeça, vertigem e vista cansada;
- c) incompatibilidade entre sistemas operacionais.

Os HMDs fornecem um ambiente de visualização imersivo apropriado para RV e podem ser classificados em três categorias: estereoscópico, onde a ilusão de profundidade é criada ao fornecer imagens renderizadas de ângulos diferentes para cada olho; monoscópico, onde é fornecido conteúdo idêntico para cada olho; e bióptico, onde apenas uma única tela está presente, vista pelos dois olhos [23].

Em relação ao treinamento, o uso da tecnologia de RV abrange duas categorias gerais [19]:

- a) **soluções de RV que fornecem treinamento mais eficaz.** As pessoas adquirem conhecimento e habilidades mais rapidamente do que as abordagens tradicionais de treinamento, mantendo essas habilidades por mais tempo. O uso dessas soluções economiza recursos humanos e materiais;
- b) **soluções de RV que representam a única maneira eficaz possível de adquirir algumas habilidades** (ex.: pilotos praticando procedimentos de emergência). O objetivo final do treinamento realizado com soluções de RV é uma transferência positiva de habilidades e conhecimentos adquiridos nessa prática para situações semelhantes no mundo real.

Alguns atributos que influenciam na aquisição de habilidades e de conhecimento em um treinamento utilizando RV são as características técnicas (taxa de quadros, atraso, resolução), a adequação e qualidade da abordagem de treinamento (riqueza de cenários, recursos virtuais e duração da exposição) e *cybersickness* (sintomas de desconforto relacionados à interação em ambientes virtuais) [19].

2.4 Reconhecimento de Gestos e Aprendizado de Máquina

Gestos podem ser definidos como uma forma de comunicação não verbal em que a intenção é expressa por meio do movimento de partes do corpo [24]. Podem ser executados naturalmente por humanos, sendo o movimento dos braços e das mãos geralmente o foco dos estudos. Dada a indubitável importância dos gestos nas atividades humanas, tem havido grande interesse das comunidades de Visão Computacional e de AM em analisar gestos humanos para oferecer novas soluções tecnológicas [25].

AM refere-se a um programa de computador que pode aprender a produzir um comportamento que não é explicitamente programado pelo seu autor [26]. O objetivo de um algoritmo de AM é aprender, a partir de um subconjunto dos dados, denominado conjunto de treinamento, um modelo ou hipótese capaz de relacionar os valores dos atributos de entrada de um objeto do conjunto de treinamento ao valor de seu atributo de saída [27].

Os algoritmos ou métodos de AM que induzem modelos preditivos seguem o aprendizado supervisionado e, no caso de classificação, possui um rótulo discreto dos seus dados. Algumas técnicas de AM realizam a busca pela hipótese que descreve os dados recorrendo à otimização de alguma função, como as redes neurais artificiais (RNAs). As RNAs são sistemas computacionais distribuídos compostos de unidades de processamento simples (neurônios artificiais), que computam funções matemáticas e são densamente interconectadas. As unidades são dispostas em uma ou mais camadas e interligadas por um grande número de conexões que simulam as sinapses biológicas, possuindo pesos associados que ponderam a entrada recebida por cada neurônio da rede. A RNA é caracterizada por dois aspectos básicos: arquitetura, relacionada ao tipo e número de unidades de processamento e a forma como os neurônios estão relacionados, e aprendizado, referente às regras utilizadas para o ajuste dos pesos da rede e das informações utilizadas [27].

Para o treinamento dessa rede, há a possibilidade do uso de um algoritmo de treinamento baseado em gradiente descendente denominado *back-propagation*. É constituído por duas fases, uma fase para a frente (*forward*) e uma fase para trás (*backward*). Na fase *forward*, cada objeto de entrada é recebido pelos neurônios da primeira camada intermediária da rede, que pondera o peso associado a suas conexões de entrada e produz um valor de saída que é utilizado como valor de entrada pelos neurônios da camada seguinte. Esse processo continua até que os neurônios da camada de saída produzam cada um seu valor de saída, comparando ao valor desejado. A diferença entre os valores de saída produzidos e desejados indica o erro cometido pela rede para o objeto apresentado. Esse erro é então utilizado na fase *backward* para ajustar seus pesos de entrada, prosseguindo da camada de saída até a primeira camada intermediária [27].

As técnicas de reconhecimento de gestos aproveitam os algoritmos de AM para construir conhecimento sobre os diferentes movimentos humanos que podem ser usados no

sistema. Esses algoritmos devem ser eficientes e robustos e precisam lidar com dois grandes desafios: a variabilidade de gestos e a dimensionalidade do gesto. O mesmo gesto realizado por usuários diferentes, ou o mesmo usuário executando repetidos gestos, não resultará na geração de informações idênticas, como a mesma trajetória e mesmo perfil de aceleração. As limitações biomecânicas do corpo (ruído neuromuscular) também introduzem variabilidade no movimento do usuário, gerando versões ligeiramente diferentes do mesmo gesto. As taxas de reconhecimento (TR) dependem da qualidade do banco de dados de gestos e são sensíveis a mudanças na rotação, posição e ruído [28].

2.5 Parâmetros de avaliação

De forma a avaliar a sensação de presença e de imersão, os sintomas de mal-estar e a eficácia relacionados ao emprego do SOA, parâmetros de avaliação devem ser analisados para se obter uma crítica fidedigna.

2.5.1 Sensação de Presença

A natureza imersiva dos HMDs cria uma forte ilusão de presença em que os usuários percebem os ambientes virtuais como reais e não mediados pela tecnologia. Sensação de presença pode ser definida como a sensação de o observador se sentir psicologicamente inserido no ambiente virtual [29]. Outros conceitos são considerados, como Presença física (senso de realocação física do observador), Presença social (sensação de estar localizado com agentes virtuais), Concentração (indivíduo encontra-se atento a uma tarefa em RV) e Imersão (grau em que o indivíduo está desligado do mundo real em um ambiente de RV) [29].

Os questionários subjetivos são o método mais comum para medir a sensação de presença e demonstraram ser confiáveis, como o questionário *IGroup Presence Questionnaire* (IPQ) [30]. Esse questionário é uma ferramenta que avalia a sensação de presença em uma experiência virtual a partir da atribuição de valores, em uma escala de 0 a 6, para componentes como presença espacial, envolvimento e realismo [31].

2.5.2 Sintomas de mal-estar

Sintomas de mal-estar em ambiente virtual (*cybersickness*) são um conjunto de sintomas de desconforto produzidos pela exposição à RV. Dentre as causas, podem ser citadas: as incompatibilidades entre os sinais sensoriais observados e os esperados, o formato de exibição visual apresentado e a experiência de jogo em si [29].

Sintomas como dores de cabeça, náusea, tontura e fadiga ocular são observados por 80% dos usuários de HMD que se acometem de *cybersickness* [23]. As causas advêm das

inconsistências entre as condições de visualização do simulador e a realidade, provocadas por latência, por geometria inconsistente, pela variação do campo de visão e pelo conflito de acomodação-vergência (foco da imagem visualizada). Instrumentos adequados para identificar e mensurar os sintomas de *cybersickness*, de forma padronizada, podem contribuir para redefinir as especificações do simulador a fim de preservar o conforto dos usuários e reduzir o receio deles ao ambiente virtual.

2.5.3 Eficácia

O processo de avaliação do treinamento deve ser objetivo, sistemático e orientado para resultados. A eficácia depende, em primeiro lugar, da adequação do treinamento ao simulador, seguido pela estruturação do curso e seu cronograma e, em terceiro lugar, pela qualidade do instrutor [16]. Pode-se afirmar que a eficácia é um parâmetro de avaliação que mensura a qualidade com que o simulador cumpre seu objetivo previsto.

2.6 Trabalhos Relacionados

Esta seção apresenta o estado da arte relacionado aos trabalhos que utilizam a simulação direcionada para o treinamento, o reconhecimento de gestos por meio de técnicas de Aprendizado de Máquina e as propostas de avaliação de simuladores.

2.6.1 Simulação em treinamento e reconhecimento de gestos

Sastry, Steel e Trott[32] desenvolveram um estudo sobre o conceito e requisitos de um protótipo de um ambiente virtual para treinamento do orientador. Não houve testes com participantes. Apesar de elaborarem os requisitos para recriar o cenário de treinamento, concluíram que havia ainda a necessidade do desenvolvimento de um software para interpretação de gestos, a fim de reconhecer os movimentos dos braços do orientador.

Vieira[33] propõe em sua dissertação o uso de simulação baseada em jogos para treinar militares submarinistas nas operações com periscópio, determinando se o uso de *feedback* poderia melhorar o desempenho do treinamento. Para isso, foi criado um ambiente tridimensional de alta fidelidade denominado Sistema de Treinamento Tático Submarino. Para medir a performance, os testes foram realizados em 40 participantes que receberam pontuações definidas a cada realização parcial ou completa das tarefas. O estudo aponta que participantes que receberam *feedback* em tempo real ao longo do treinamento apresentaram pontuações maiores sugerindo que dessa forma pode-se melhorar o desempenho. Os resultados também sugerem que idade, experiência e fatores comportamentais devem ser considerados ao decidir o tipo de *feedback* que os participantes devem receber.

Greunke e Sadagic[19] desenvolveram um ambiente de RV para o treinamento do Oficial de Sinalização e Pouso utilizando soluções imersivas disponíveis comercialmente. O referido Oficial auxilia no pouso e decolagem de um avião em um porta-aviões, devendo tomar decisões complexas em 20 segundos dentro de um ambiente de estresse e que afeta a segurança de todos os envolvidos. A Marinha dos EUA já possui um ambiente de treinamento com telas de grande porte e réplicas dos equipamentos reais, porém há a desvantagem desse simulador disponibilizar poucas horas de instrução por aluno e de estar em um local fixo de uma OM, não podendo ser levado para outras bases militares. Após realizar a ACT e uma entrevista com 35 Oficiais, o simulador de RV foi especificado e desenvolvido. Os resultados do estudo de viabilidade mostraram que o simulador RV: consegue realizar os mesmos treinamentos que o simulador já existente, facilitando a transição dos alunos entre os simuladores; possui custos reduzidos; e seus testes o consideraram eficaz e eficiente.

Shaoyang e Hongxiang[34] projetaram, desenvolveram e testaram um Sistema de Treinamento de Socorro e Salvamento em Embarcações, baseado em RV, com o objetivo de melhorar a eficiência do treinamento e de garantir a segurança dos tripulantes. Na vida real, os tripulantes de um embarcação necessitam estar familiarizados com os procedimentos em casos de emergência e com a operação de equipamentos de sobrevivência. Por meio de software de modelagem tridimensional e da ferramenta *Unity*, foram criadas cenas simuladas de incêndio, ondas tempestuosas, naufrágios, homem ao mar entre outras situações de risco à vida humana. O sistema é colaborativo e a ação de cada tripulante influencia a de outro. Os tripulantes são avaliados, cada um na sua função, com base nas tarefas realizadas e nos dados de operação registrados. Os testes revelaram que o sistema funciona em tempo real e é suficientemente imersivo.

Almeida, Villarmosa e Raposo[35] desenvolveram um Simulador de Estudo Topográfico do Terreno com o intuito de auxiliar os alunos do Corpo de Fuzileiros Navais do Brasil, nas disciplinas onde o estudo da topografia e das táticas de combate são importantes. O simulador permite recriar uma região qualquer do globo terrestre e inserir um aluno nesse terreno virtual por meio do HMD. O aluno é capaz de interagir com os objetos próximos, tais como carta topográfica, caderno e anotações do instrutor. O docente também se encontra imerso no ambiente virtual, possibilitando a transmissão de seus conhecimentos e permitindo ao aluno observar detalhes antes apenas imaginados no terreno real. O simulador foi avaliado por 12 usuários, sendo 5 instrutores e 7 alunos, obtendo-se resultados satisfatórios no que diz respeito à aprendizagem e facilidade de utilização.

Tian et al.[36] desenvolveram um sistema de simulação em ambiente imersivo baseado em caverna digital (*Cave Automatic Virtual Environment - CAVE*) para orientação de aeronave de asa fixa em porta-aviões. Compararam a eficácia desse treinamento com o método teórico, baseado em questões no papel, mostrando melhores resultados para o

treinamento de simulação.

Sodiri e Sastry[37] apresentaram um algoritmo para reconhecimento de gestos estáticos e dinâmicos em tempo real a partir de *datasets* existentes para adaptar aos gestos de treinamento de orientação de aeronave. O sistema de reconhecimento é baseado em técnicas que abordam dois problemas: a variância espacial e temporal. O algoritmo alcançou 98% de acurácia em uma base de seis gestos. Apresentaram também um programa de reconhecimento online [38] para gestos contínuos, dinâmicos e estáticos, baseados em reconhecimento de padrões, explorando características temporais e espaciais de gestos por meio de programação dinâmica e processo Markoviano (*Hidden Markov Model* - HMM). Atingiram uma média de 97,6% de TR.

Choi, Ahn e Byun[39] propuseram um método de reconhecimento de gestos de sinalização de aeronaves, baseado em visão computacional, utilizando a mais longa sequência comum de gestos de um conjunto de sequências de símbolos e suas probabilidades. A trajetória da mão é capturada e um algoritmo de seleção de atributos classifica as informações de movimento em quatro diferentes fases do gesto. Cada modelo é aprendido e apresenta-se uma semelhança determinística e probabilística entre o gesto realizado e o modelo. Atingiu-se 99% de TR.

Alguns trabalhos diferem-se no formato de captura dos movimentos. Lou et al.[40] apresentaram um sistema de reconhecimento de gestos capaz de capturar gestos de braços com baixa dependência ambiental utilizando um único RADAR Doppler, utilizando transformada wavelet discreta (DTW) e *k*-Nearest Neighbors (kNN). Alcançaram a média de 96,4% de TR.

Utilizando câmera de profundidade, como Microsoft Kinect®[®], as técnicas de AM para reconhecimento de gestos e suas TR são *Support Vector Machine* (SVM) - 82,8% [41], *Neuro-Fuzzy System* (NFS) e RNA [42], *Convolutional Neural Network* (CNN) - 90% [43], codificação adaptativa com SVMs - 90% [44], e *Bayesian Co-Boosting* com HMM - 96,5% [45].

Utilizando rastreamento magnético, Argelaguet et al.[28] aplicaram um algoritmo de reconhecimento de gestos utilizando classificação por representação esparsa com *k*-*Nearest Neighbors* (kNN). O algoritmo foi capaz de extrair os padrões de movimento mais representativos de um determinado conjunto de gestos, utilizando essas informações para permitir a classificação em tempo real. A TR ficou acima de 97,52%

Utilizando controles cujas trajetórias são capturadas por rastreamento óptico, Andrzejczak e Chomik[24] propuseram o reconhecimento de gestos baseado em RNA, utilizando os dados dos próprios sensores (posição e orientação) para realizar uma comparação entre diferentes modelos comerciais. Em cada gesto, uma sequência básica de movimentos comum a todos os usuários pode ser encontrada, independentemente da maneira exata como o

gesto é realizado ou da velocidade com que é executado. A camada de convolução extrai esses movimentos básicos, enquanto a camada recorrente aprende como esses recursos contribuem para um nível superior. Ao agregar várias camadas recorrentes, a rede neural é capaz de aprender gestos inteiros. O aprendizado supervisionado foi utilizado para treinar o modelo, usando o método do gradiente descendente e otimizador Adam. A TR, utilizando o dispositivo de RV HTC VIVE™[7], ficou acima de 97,1%.

O quadro 2.1 sintetiza as características principais de cada trabalho relacionado.

Quadro 2.1 – Comparação entre os trabalhos relacionados.

Trabalho	Tarefa	Técnicas	Gestos	AM	TR
Sastry, Steel e Trott[32]	Treinamento de orientação de helicóptero	Requisitos de sistema	N/A	N/A	N/A
Vieira[33]	Treinamento de pericópio em submarinos	<i>Feedback</i> em ambiente virtual	N/A	N/A	N/A
Greunke e Sadagic[19]	Treinamento do Oficial de Sinalização e Pouso dos EUA	Simulação em RV	Sim	N/A	N/A
Shaoyang e Hongxiang[34]	Treinamento de Socorro e Salvamento em embarcações	Simulação em RV	N/A	N/A	N/A
Almeida, Villarrosa e Raposo[35]	Estudo topotático de terreno	Simulação em RV	N/A	N/A	N/A
Tian et al.[36]	Treinamento de orientação de aeronave de asa fixa	Simulação em CAVE	N/A	N/A	N/A
Sodiri e Sastry[38]	Treinamento de orientação de helicóptero	Utilização de <i>datasets</i> existentes	Sim	Programação dinâmica e HMM	97,6%
Choi, Ahn e Byun[39]	Treinamento de orientação de helicóptero	Visão computacional com a mais longa sequência comum de gestos e suas probabilidades	Sim	N/A	99,0%
Lou et al.[40]	Reconhecimento de gestos genéricos	RADAR Doppler para captura de gestos	Sim	DTW e kNN	96,4%
Biswas e Basu[41]	Reconhecimento de gestos genéricos	Câmera de profundidade	Sim	SVM	82,8%
Ahmed, Loo e Obo[42]	Reconhecimento de gestos genéricos	Câmera de profundidade	Sim	NFS e RNA	N/A
Mathe et al.[43]	Reconhecimento de gestos genéricos	Câmera de profundidade	Sim	CNN	90,0%
Fanello et al.[44]	Reconhecimento de gestos genéricos	Câmera de profundidade	Sim	codificação adaptativa com SVMs	90,0%
Wu e Cheng[45]	Reconhecimento de gestos genéricos	Câmera de profundidade	Sim	<i>Bayesian Co-Boosting</i> com HMM	96,5%
Argelaguet et al.[28]	Reconhecimento de gestos genéricos	Rastreamento magnético	Sim	Representação esparsa com kNN	97,5%
Andrzejczak e Chomik[24]	Reconhecimento de gestos genéricos	Rastreamento óptico	Sim	RNA com gradiente descendente e otimizador Adam	97,1%

Em comparação com os trabalhos relacionados, esta dissertação possui a tarefa de possibilitar o treinamento de orientação de helicóptero em um ambiente simulado de RV, empregando sinais visuais por meio de controles, cujas trajetórias são obtidas por

detectores infravermelhos. Para o reconhecimento dos gestos, utilizou-se a técnica de RNA nos algoritmos de AM. Esta integração obteve uma TR de 99,8%, superior aos demais trabalhos.

2.6.2 Avaliação

Schwind et al.[30] consideraram a possibilidade de o questionário de avaliação de presença ser preenchido pelos participantes enquanto estiverem imersos na RV. Segundo os autores, como as experiências atuais de RV são apresentadas por meio de HMD, os usuários costumam remover o equipamento antes de preencher o questionário. Ao fazer isso, a pessoa precisa se reorientar no mundo real, o que causa a “quebra de presença” (*break-in-presence* - BIP). Isso significa que entrevistar usuários sobre suas sensações de presença após a BIP compromete o fenômeno que o questionário deveria estar medindo. Os autores, então, propõem a aplicação do questionário dentro da RV, por apresentar as seguintes vantagens em potencial:

- a) a aferição da sensação de presença torna-se mais fácil para os participantes quando a BIP é reduzida;
- b) a permanência na RV reduz a duração do estudo e evita a necessidade de ajustes após a BIP;
- c) interpretações do mundo real que distraiam os participantes são evitadas.

De acordo com Kim et al.[46], embora existam estudos sobre mal-estar provocado por movimento em ambientes virtuais, poucas pesquisas ocorreram focadas em dispositivos de RV. Os autores citam que questionários, como o *Simulator Sickness Questionnaire* (SSQ) [47], foram criados para medir o mal-estar provocado pelo movimento em sistemas de simulação, porém, podem não ser a forma ideal para avaliar esses sintomas em RV. Sendo assim, eles desenvolveram o *Virtual Reality Sickness Questionnaire* (VRSQ), concluindo que esse questionário seria mais recomendado que o SSQ para o ambiente de RV.

Os seguintes trabalhos igualmente serviram de base para a adequação da realização dos testes e das análises das conclusões dos seus resultados: sintomas de mal-estar [48, 49, 50], sensação de presença [29, 51, 52], e eficácia [16, 36].

Em virtude desses estudos apresentados, esta dissertação incluirá o questionário de presença dentro do ambiente virtual, utilizará o VRSQ e apresentará uma solução de avaliação de eficácia subjetiva.

3 PRÉ-ESTUDO DA ATIVIDADE A SER SIMULADA

O pré-estudo visa analisar e identificar os parâmetros para especificação e desenvolvimento do SOA. De forma a implementar uma metodologia para obter uma descrição detalhada das tarefas realizadas, identificando a ordem de todos os estágios e as características de cada passo, três etapas foram seguidas neste trabalho:

- a) descrição das operações aéreas;
- b) aplicação da ACT, a fim de decompor uma manobra em objetivos, tarefas, subtarefas, medidas de performance e habilidades [9];
- c) aplicação de questionários de pesquisa e integração das informações geradas pelas etapas anteriores com os objetivos de aprendizagem.

3.1 Descrição das Operações Aéreas

3.1.1 Composição da Equipe

As operações aéreas em alto mar ocorrem envolvendo pelo menos dois meios: navio e helicóptero. Entretanto, diversas equipes são envolvidas para coordenar as ações de forma segura. A equipe da aeronave é composta pelos pilotos. No navio, há uma equipe responsável pela navegação e uma equipe responsável pelo convoo, local onde ocorrem as operações aéreas, denominada Equipe de Manobra (EQMAN). As funções e responsabilidades dos componentes da EQMAN são bem definidas a fim de não haver dúvidas quanto aos procedimentos, por se tratar de uma atividade de alto risco.

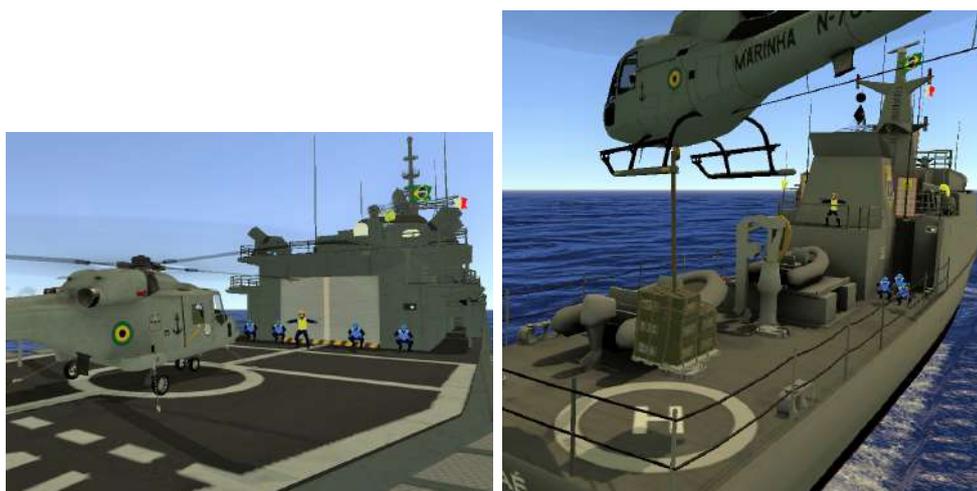
O orientador é identificado pelo uso de colete e capacete amarelos. Sua posição no convoo ocorre de forma a estar sempre na alça de visada do piloto da aeronave [5]. São responsabilidades do orientador:

- a) orientação da EQMAN e da aeronave por meio de sinais visuais apropriados, assistindo o piloto na aproximação e nas manobras de pouso, decolagem, transferência de carga entre aeronave e navio;
- b) assessoramento sobre as condições de segurança para operações aéreas no convoo.

Os Calçadores, Peiadores e Manobreadores de carga são militares identificados por colete e capacete azuis. Ficam dispostos atrás do orientador totalizando quatro ou três militares, dependendo se há área de pouso ou não, respectivamente [5]. São responsáveis por:

- a) colocar calços de madeira nos pneus da aeronave para impedir o seu deslocamento e colocar peias, isto é, correntes que prendem a aeronave em pontos de fixação presentes no convoo, impedindo que a aeronave possa tombar em função do balanço do navio ou do recebimento de rajadas de vento;
- b) retirar ou colocar uma carga enquanto a aeronave paira no ar sobre o convoo.

A Figura 3.1 exibe a quantidade e localização dos componentes da EQMAN em navios com e sem área de pouso para o helicóptero.



(a) 1 orientador e 4 peiadores em navio com área de pouso. (b) 1 orientador e 3 manobreadores de carga em navio sem área de pouso.

Figura 3.1 – Disposição da EQMAN em convoo de navio no SOA.

3.1.2 Manobras com aeronave

As missões das aeronaves em alto mar são diversas, dentre as quais podem ser citadas a busca e salvamento, patrulha naval e operações anti-submarinos. Na maioria dos casos, tais missões são realizadas com a aeronave baseada em um navio. A interação entre esses meios navais é denominada manobra, tais como Lançamento, Pouso, Reabastecimento de Carga (*Vertical Replenishment* - VERTREP) e *Pick-Up*.

3.1.2.1 Lançamento

A operação de lançamento de helicópteros tem início com a preparação para partida de seus motores. Uma série de procedimentos é realizada entre a EQMAN, a equipe de navegação do navio e os pilotos. O orientador, ao receber a autorização de lançamento, inicia a operação, determinando por sinais próprios à sua equipe que as peias e calços sejam retirados. Após terem verificado que suas equipes estão protegidas e a área de decolagem está livre, o orientador sinaliza para que a aeronave decole. Esta manobra pode ocorrer em período diurno e noturno, conforme especificações do navio e da aeronave.

3.1.2.2 Pouso

A manobra de pouso inicia-se sempre com a aproximação da aeronave. A partir desse momento, o orientador já deverá estar atento aos sinais de possível emergência para determinar se haverá um pouso de alto grau de risco de acidente, com acionamento imediato da equipe de combate a incêndio, ou se a aeronave irá arremeter e tentar nova aproximação. Em ocorrência normal, o orientador inicia a sinalização para que a aeronave se posicione corretamente antes de reduzir sua altitude e finalmente encostar no heliponto, sempre corrigindo eventuais posicionamentos errados. Após o pouso, a aeronave é presa ao heliponto com peias, sendo essa ordem disseminada visualmente pelo orientador.

3.1.2.3 VERTREP

É a operação de reabastecimento de material por meio de helicóptero, estando em voo librado, isto é, pairando sobre a área de transferência. A carga é fixada no gancho da aeronave, que se encontra em sua parte inferior da fuselagem. Este gancho permite um transporte de carga de maior peso e tamanho, pois ela permanece fora do helicóptero, conforme Figura 3.2.



Figura 3.2 – Manobra de VERTREP no navio americano *USNS Supply*. [3]

Esta operação exige a máxima atenção, pois a aeronave estará em baixa altitude, havendo momentos em que a equipe de peiadores ficará embaixo da aeronave para colocar ou retirar a carga. A situação é ainda mais arriscada no navio, visto que ele está em movimento. Sendo assim, a aeronave necessita manter a mesma velocidade relativa do navio para poder manter sua posição em relação ao convoo.

3.1.2.4 *Pick-Up*

Consiste no embarque de carga ou de pessoal para o helicóptero, estando em voo librado, utilizando o guincho da aeronave. Este guincho é operado por um dos tripulantes do helicóptero que controla a sua descida e subida. A Figura 3.3 exhibe a manobra de *Pick-Up* em um treinamento de resgate de pessoal. O transporte de carga deverá ser planejado com antecedência de forma que o helicóptero possa, caso necessário, ser preparado adequadamente com redução de abastecimento ou mudança de configuração.



Figura 3.3 – Manobra de *Pick-Up* em simulação de salvamento na *Fragata "União"*. [4]

3.1.3 Sinalização

A sinalização das aeronaves tem o objetivo de auxiliar e elevar a segurança das operações aéreas. Ela obedece, basicamente, a dois requisitos: nitidez e cadência.

O piloto que está sendo orientado deve compreender os sinais. Os movimentos dos braços do orientador são, portanto, fundamentais para a segurança da operação, sendo importante que todos os envolvidos saibam interpretá-los.

São divididos em sinais mandatórios, em sinais de emergência, em sinais de pane e em sinais comuns, conforme exemplo da Figura 3.4. Durante o período noturno, o orientador utiliza-se de lanternas para facilitar a visualização pelo piloto (Figura 3.5)



Figura 3.4 – Sinais comuns utilizados pelo orientador. [5]



Figura 3.5 – Orientador com lanternas em manobra noturna. [6]

3.2 Análise Cognitiva de Tarefas

A ACT abrange métodos que estudam e descrevem o conhecimento e o raciocínio usados ao executar as tarefas. É útil quando se necessita obter a organização e a estrutura das informações que as pessoas utilizam para entender como pensam e o que sabem [9]. Sendo assim, a ACT auxilia na identificação das tarefas que poderiam ser simuladas no SOA, listando o conjunto de habilidades necessárias para a realização das mesmas. Também identifica as tarefas que não são recomendadas para treinar no simulador porque são muito complexas, ou porque podem levar a um treinamento negativo devido à falta de interação real com a equipe ou à falta de realismo. Como exemplo, o protótipo do SOA não abordará a manobra de reabastecimento de combustível em voo por demandar dos pilotos da aeronave maior protagonismo das ações.

Com o propósito de ilustrar os elementos cognitivos e seu fluxo nas tarefas para cada operação de pouso, decolagem, VERTREP e *Pick-Up*, e com base na descrição das operações, nos manuais operativos da MB e na experiência dos instrutores, foram projetados diagramas de processo contendo as etapas mais críticas a serem simuladas e as ações essenciais de cada fase. Esses diagramas foram validados por um piloto da MB e seu resultado encontra-se no Apêndice A. As manobras de VERTREP e *Pick-Up* foram enquadradas como manobras de transferência de carga.

Além desses processos, foram levados em consideração o ambiente, as condições atmosféricas e o tipo de aproximação da aeronave por influenciarem a experiência do aluno, resultando em diferentes cenários de atuação para cada manobra (Figura 3.6).

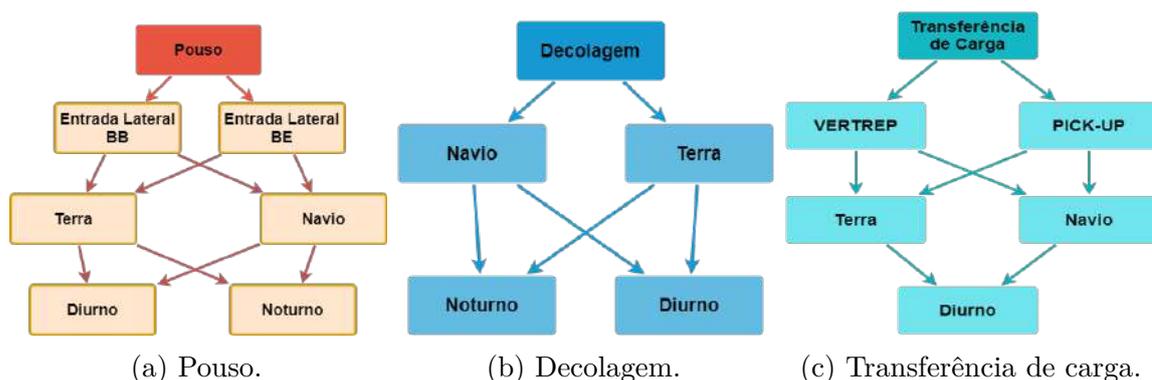


Figura 3.6 – Mapa de possíveis cenários.

3.3 Questionário de pesquisa

Os dados obtidos pela ACT devem ser interpretados à luz dos Objetivos de Aprendizagem. Estes são de suma importância para o *design* de qualquer sistema instrucional. O resultado desta integração ajuda a guiar a definição de requisitos e a especificação do

simulador. Um questionário foi preenchido por 15 instrutores e 2 pilotos, todos do curso de formação de orientador (Figura 3.7).

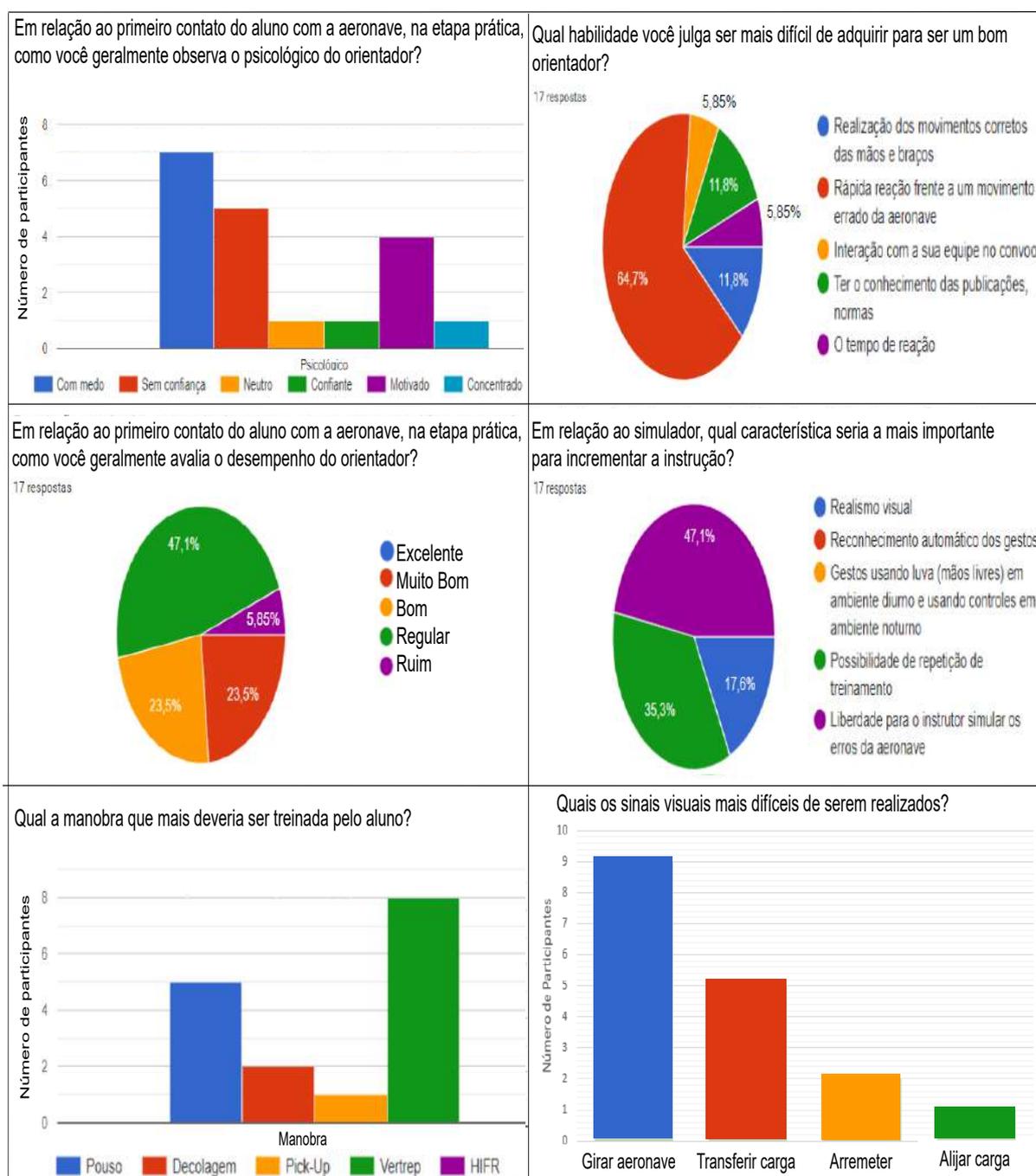


Figura 3.7 – Questionário aplicado em 15 instrutores e 2 pilotos da MB.

Obteve-se um conjunto de informações qualitativas e quantitativas sobre o estado atual do treinamento, como a visão geral do curso, os desafios observados e as habilidades necessárias para obter melhores resultados na etapa de prática.

Segundo os entrevistados, a capacidade de reagir durante uma situação imprevisível foi a habilidade mais desafiadora de adquirir. Da mesma forma, o medo e a falta de auto-

confiança, no primeiro contato do orientador com o helicóptero real, são as características mais observadas. Normalmente, o aluno conhece as etapas normais de uma operação. No entanto, quando ocorre uma situação imprevista, como um movimento perigoso da aeronave ou um posicionamento incorreto, não há uma reação adequada. Uma solução para aprimorar este tipo de treinamento é permitir ao instrutor a inserção de erros no movimento e posicionamento virtual do helicóptero, proporcionando ao aluno o desenvolvimento de sua reação. As consequências dessa prática intensiva são a memorização de sinais visuais e a execução dos movimentos de forma correta e no tempo adequado.

3.4 Objetivos de Aprendizagem

Em conjunto com os instrutores e baseado nos objetivos do curso de formação do orientador, foram estabelecidos os seguintes objetivos de aprendizagem para o SOA:

- a) treinamento dos gestos corretos aplicados a cada sinal;
- b) interpretação dos sinais visuais;
- c) auxílio na memorização da sequência de etapas de uma manobra;
- d) redução do tempo de reação a um imprevisto, bem como massificação da reação adequada a cada situação;
- e) integração com a equipe do convoo, visando sua segurança;
- f) ganho de experiência em diversos cenários possíveis de atuação e condições atmosféricas.

3.5 Premissas

A partir dessas informações, as seguintes premissas foram definidas para o SOA:

- a) as mãos devem estar livres para realizar os sinais no cenário virtual diurno e deve-se simular uma lanterna de voo no cenário virtual noturno;
- b) deve haver um sistema de reconhecimento de gestos com feedback para o aluno;
- c) promover as etapas sequenciais de cada manobra a ser simulada;
- d) o instrutor deve poder inserir erros no posicionamento da aeronave;
- e) a equipe do orientador deve se movimentar livremente no ambiente virtual;
- f) os cenários devem incluir as manobras mais realizadas, ambientes em navio e em terra, períodos diurnos e noturnos e modelos de navio e aeronave fidedignos aos utilizados na MB;
- g) o simulador deve proporcionar ao instrutor a possibilidade de escolha de cenários e de como visualizar o aluno no ambiente virtual.

4 ESPECIFICAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO SOA

Este capítulo explica o processo de especificação e desenvolvimento do SOA, e como as tecnologias foram utilizadas para este fim.

4.1 Especificação do SOA

As informações obtidas com o pré-estudo, no Capítulo 3 possibilitaram a especificação dos requisitos do SOA, apresentados nesta seção 4.1.

4.1.1 Propósito

Simular as etapas de orientação do helicóptero, utilizando a RV como ferramenta de ensino na formação do orientador. A aplicação desta ferramenta deve ocorrer após o aprendizado teórico e antes da etapa prática com uma aeronave real, realizada em terra.

4.1.2 Público-Alvo

Alunos em formação para exercerem as atividades de orientação de aeronave em terra e em navios. Normalmente, são militares entre 25 e 35 anos de idade com boa higidez física e com experiência de embarque em navio.

4.1.3 Sistemas

Com a premissa de ser um simulador de baixo custo, deve-se enfatizar a utilização de *softwares* gratuitos para o desenvolvimento do ambiente virtual. Deve ser adquirido computador que possua desempenho compatível com o grau de realismo exigido e acessórios comerciais de prateleira de RV, incluindo HMD, controles e dispositivos que permitam que o usuário possa ter as mãos livres.

4.1.4 Limitações

O simulador não é capaz de simular:

- a) a sensação do deslocamento de massa de ar gerada pelos rotores do helicóptero;
- b) os movimentos no corpo do usuário resultantes das forças que um navio em movimento gera em relação aos seus eixos vertical, longitudinal e transversal;
- c) a preparação que antecede a fase de orientação da aeronave como a busca por objetos soltos em toda área externa do navio.

4.1.5 Simulações abrangidas

São cenários que a simulação pode representar, por livre escolha do instrutor:

- a) manobras de Pouso, Decolagem, VERTREP e *Pick-Up*;
- b) ambiente diurno e noturno;
- c) ambiente em terra e em navio (com simulação do mar);
- d) identificação dos sinais realizados pelo aluno;
- e) criação de sinais pelo instrutor;
- f) animação virtual dos militares da EQMAN.

4.1.6 Recursos Instrucionais

O simulador é uma ferramenta de aprendizado e deve ser concebido para que o instrutor possa melhor ministrar o treinamento. Os seguintes recursos devem estar disponíveis:

- a) menu para troca de cenários;
- b) menu de inserção de erros cometidos pelo piloto da aeronave para avaliação da postura e reação do aluno;
- c) possibilidade de escolher livremente a visualização do aluno dentro do ambiente virtual (visão da aeronave, visão do aluno, visão por trás do aluno);
- d) possibilidade de realizar uma adaptação do aluno ao simulador.

4.2 Desenvolvimento do SOA

O desenvolvimento será descrito com base nas especificações obtidas anteriormente e na tecnologia disponível e mais apropriada às premissas escolhidas.

4.2.1 *Hardware*

A evolução na tecnologia de dispositivos de RV e sua consequente redução no custo faz com que o nível de realismo e imersão possa ser adaptado a uma enorme gama de simulações. A tecnologia de RV da HTC VIVETM[7] é considerada de baixo custo comercial e permite a coleta de dados de posição e orientação dos seus dispositivos, utilizando medições inerciais e produzindo uma trajetória suave para aplicações de RV [53]. Seus dispositivos são rastreados por duas estações com base em sinais infravermelhos. Esse sistema de RV é adequado para dois cenários de simulação diferentes dentro do contexto do SOA. Durante um cenário noturno, o orientador deve estar segurando uma lanterna,

neste caso simulada pelo controle do HTC VIVE™(Figura 4.1). Durante o cenário diurno, o VIVE™ *Tracker*, dispositivo que permite manter as mãos livres enquanto envia os dados de posição e orientação, pode ser acoplado ao pulso (Figura 4.2).



Figura 4.1 – Uso do controle HTC VIVE™ simulando a lanterna.



Figura 4.2 – Uso do dispositivo VIVE™ *Tracker*.

Caserman et al.[54] realizaram experimentos com o VIVE™ *Tracker* a fim de comprovar sua eficácia em representar movimentos em tempo real criando uma sensação maior de imersão e chegaram às seguintes conclusões:

- a) a latência fica abaixo de 20 ms (latência maior que 30ms interfere na sensação de imersão);
- b) o uso de um pequeno número de sensores reduz o custo do equipamento, ao contrário de outros dispositivos complexos disponíveis comercialmente;
- c) possibilidade de integração com aplicações de cinemática inversa a fim de recriar os movimentos no mundo virtual com o uso de poucos acessórios.

Desta forma, para o desenvolvimento e testes do SOA, foi adquirido o conjunto de dispositivos HTC VIVE™Pro (Figura 4.3), incluindo:

- a) VIVE™Pro Headset (características no Quadro 4.1);
- b) 2 controles;
- c) 2 bases de captura de sinais infravermelhos;
- d) 2 dispositivos VIVE™ *Tracker*.



Figura 4.3 – Componentes do HTC VIVE™ Pro. [7]

Quadro 4.1 – Especificações do HTC VIVE™ Pro Headset.

Tela	<i>Dual AMOLED 3.5" diagonal</i>
Peso	0,55 Kg
Resolução	1440 x 1600 pixels por olho (2880 x 1600 pixels combinado)
Taxa de atualização	90Hz
Campo de visão (FOV)	110 graus
Audio	Alta resolução
Conexões	USB-C 3.0, DP 1.2, <i>Bluetooth</i>
Sensores	Rastreamento <i>SteamVR</i> , sensor de gravidade, giroscópio, sensor de proximidade, sensor de distância interpupila

Apesar das tecnologias em que o próprio HMD rastreia movimentos dos dedos das mãos, como VIVE™ *Hand Tracking SDK* e Oculus™ *Quest Hand Tracking*, as mãos devem estar dentro do campo de visão do usuário, o que não ocorre com frequência enquanto o orientador realiza seus movimentos. A utilização de um pequeno número de sensores, apenas dois controles e dois VIVE™ *Tracker*, reduz o custo do equipamento, ao contrário de outros dispositivos complexos disponíveis comercialmente. Ademais, a possibilidade de sincronizar os movimentos do usuário com o seu avatar, tendo baixa latência, cria uma experiência de RV imersiva [54].

Como o VIVE™ *Tracker* pode simular botões do controle VIVE™ por meio da conexão *POGO Pin* e interface *wireless*, foi desenvolvida uma luva de baixo custo para ser adaptada ao dispositivo, deixando a mão do usuário livre para o ambiente virtual diurno. Por meio de um circuito simples na luva ligado à conexão *POGO Pin*, as informações são enviadas a um receptor, o qual envia os dados ao computador por conexão USB (Figura 4.4). Para cada mão, usou-se uma luva de malha de náilon antiestática com revestimento de poliuretano, fio calibre 22 americano e dois mini botões. Ao pressionar esses dois botões ao mesmo tempo ou separadamente, o usuário pode simular três posturas de mãos para o

SOA com maior naturalidade.

O esquema presente na Figura 4.5 ilustra a adaptação realizada. O circuito entre os pinos 2 e 4 ativam o botão *TRIGGER* e o circuito entre os de número 2 e 6 ativam o botão *MENU*. O formato da mão foi assim definido:

- mão aberta (apenas o botão *TRIGGER* ativado).
- mão fechada (botão *TRIGGER* e botão *MENU* ativados).
- mão fechada com polegar aberto (apenas o botão *MENU* ativado).

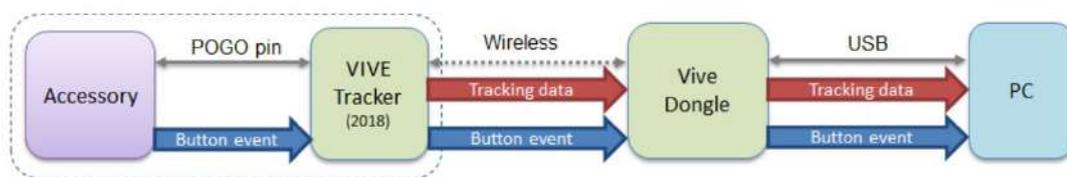


Figura 4.4 – Envio de dados pelo VIVE Tracker [7].



Figura 4.5 – Luva adaptada e sua conexão *POGO Pin* ao VIVE™ Tracker simulando os botões dos controles VIVE™. A imagem *A* representa a postura de mão aberta; a imagem *B* representa a mão fechada; e a imagem *C* representa a mão fechada com o polegar estendido.

O computador utilizado foi o laptop OMEN 15-dc1xxx da HP™, com processador Intel™ Core i7-9750H, CPU @ 2.60 GHz, 32 GB RAM e GPU GeForce™ RTX 2070 com Max-Q design.

4.2.2 Software

Para corroborar a premissa de o SOA ser desenvolvido a um custo reduzido, optou-se pelo uso de softwares de desenvolvimento gratuitos:

- Unity 3D:** mecanismo de jogo desenvolvido pela *Unity Technologies*. É uma solução que permite a criação de jogos em um ambiente de desenvolvimento

para diversas plataformas e sistemas operacionais. Permite programar *scripts* na linguagem C#. A curva de aprendizagem foi um dos critérios para utilização desta plataforma, que conta com uma comunidade colaborativa ampla. A plataforma *Unity Asset Store*¹ possui repositório onde qualquer desenvolvedor pode publicar suas soluções;

- b) **Blender**: ferramenta 3D de código aberto para modelagem e animações. Os capacetes e vestuários do orientador foram modelados nessa ferramenta;
- c) **GIMP**: programa de código aberto voltado principalmente para criação e edição de imagens utilizado para manipulação de textura;
- d) **Microsoft Visual Studio**: ambiente de desenvolvimento integrado para codificar os *scripts* da *Unity* em linguagem de programação C#.

Os modelos virtuais foram subdivididos de acordo com sua contribuição à imersão. Três modelos foram considerados secundários, embora necessários para o simulador, como o navio de guerra, o oceano e a atmosfera. Outros três foram considerados primários: o avatar do orientador, o modelo do helicóptero e o sistema de reconhecimento de gestos.

4.2.2.1 Modelos Secundários

Os modelos escolhidos estão disponíveis na *Unity Asset Store* e facilitam a implementação do ambiente virtual de modo a manter o foco nos modelos primários:

- a) **Oceano**: *Crest Ocean System* [55] é um sistema oceânico arquitetado para a *Unity*. Faz uso de estratégias de nível de detalhe e otimização do *hardware*. Permite alterações personalizadas para a forma da água, espuma, ondas dinâmicas, entre outras configurações;
- b) **Atmosfera**: *Weather Maker* [56] constitui-se de um sistema meteorológico volumétrico, com fornecimento do código fonte em C#;
- c) **Navio**: três modelos criados no *Blender* e gentilmente cedidos pela divisão de simulação do Centro de Análise de Sistemas Navais (CASNAV) da MB.

4.2.2.2 Modelos Primários

4.2.2.2.1 Helicóptero

Três tipos de helicópteros utilizados pela MB foram modelados no *Blender* e cedidos pela equipe do CASNAV (Figura 4.6), incrementando o nível de realismo sentido pelo usuário, que terá contato com as mesmas aeronaves utilizadas no curso de formação de

¹ *Unity Asset Store*: <https://assetstore.unity.com/>, acessada em 10 de março de 2020.

orientador. O comportamento físico do helicóptero deve seguir fidedignamente o desempenho do mundo real, como se um piloto estivesse guiando-o. Desta forma foram criados *scripts* em C# a fim de coordenar e integrar os componentes da aeronave com as reações aos comandos do orientador.



(a) AH-11A - Super Lynx.

(b) UH-12 - Esquilo.

(c) UH 15 - Super Cougar.

Figura 4.6 – Três modelos de aeronaves da MB no ambiente do SOA.

O helicóptero possui diversas forças atuando quando se encontra em voo. Para inserí-las nos *scripts*, é necessário compreendê-las antes. As forças que atuam no helicóptero [57] e estão ilustradas na Figura 4.7 são:

- Sustentação:** componente da força aerodinâmica do vento relativo. Quanto maior a velocidade e o ângulo formado pelas pás do rotor, maior será a sustentação;
- Tração ou empuxo:** força produzida pelo grupo motor-propulsor que vence a resistência ao avanço, permitindo o deslocamento da aeronave para frente;
- Peso:** força resultante da ação da gravidade sobre a aeronave;
- Resistência ao avanço:** força de retardamento que atua sobre a aeronave em movimento.



Figura 4.7 – Forças atuantes no helicóptero em voo.

Por conta destas forças, o helicóptero é capaz de realizar movimentos básicos em torno dos eixos longitudinal, transversal e vertical, que se cruzam no centro de gravidade da aeronave (Figura 4.8):

- Rolamento:** movimento em torno do eixo longitudinal;

- b) **Arfagem**: movimento em torno do eixo transversal, podendo ser o de levantar ou de baixar o nariz da aeronave;
- c) **Guinada**: movimento que se realiza em torno do eixo vertical da aeronave.

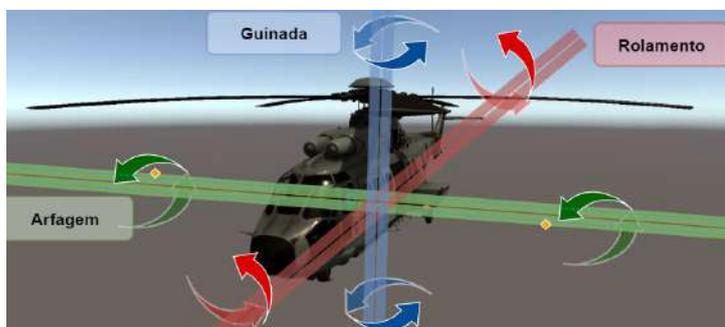


Figura 4.8 – Movimentos em torno dos eixos longitudinal, transversal e vertical do helicóptero.

Definidas as forças e os movimentos que o helicóptero realiza, são descritos os comandos responsáveis pela geração destas forças. A física implementada permite que o instrutor possa alterar certas variáveis para se aproximar ou não do realismo, dependendo da fase e do nível de instrução do aluno, tais como a velocidade dos movimentos:

- a) **Acelerador (*Throttle*)**: permite o incremento da velocidade angular das pás do rotor principal, medidas em RPM;
- b) **Coletivo (*Collective*)**: tem por finalidade aumentar de uma só vez, isto é, coletivamente, o passo das pás do rotor principal, provocando um aumento na força de sustentação em todas as pás simultaneamente;
- c) **Cíclico (*Cyclic*)**: seu acionamento determina a alteração, de forma diferente, do passo das pás durante cada volta, permitindo a arfagem e o rolamento;
- d) **Pedais (*Pedals*)**: são comandados pelos pés do piloto para mudar o passo das pás do rotor de cauda, com a finalidade de controlar o efeito de torque do rotor principal e permitir a guinada.

Esses quatro comandos foram inseridos no *script*. A aeronave virtual reconhece estes comandos advindos do terminal do instrutor ou dos gestos realizados pelo aluno.

Após o acionamento desses comandos, as forças e torques são adicionadas ao modelo do helicóptero. A força de sustentação depende do comando Coletivo e permite que o helicóptero altere a sua altitude. O *script* da Figura 4.9 mostra a função Sustentação, responsável por adicionar a força de mesmo nome ao modelo. A força Peso já é automaticamente aplicada ao helicóptero pelo sistema. A fim de simular que o piloto sempre mantém a aeronave na mesma altitude, a menos que um comando o ordene o contrário, criou-se o

vetor *sustGrav* de mesma magnitude que a força Peso, porém em sentido oposto. O vetor *sustForce* possui a magnitude relacionada ao montante aplicado ao Coletivo, normalizada a valores de -1 a 1. A aplicação de ambas as forças permite que o helicóptero:

- a) mantenha sua altitude se nada for feito;
- b) eleve sua altitude caso os valores do Coletivo permaneçam em valores positivos;
- c) reduza sua altitude caso os valores aplicados ao Coletivo sejam negativos.

```

1  protected virtual void Sustentacao(Rigidbody rb, Input input)
2  {
3      Vector3 sustGrav = new Vector3(0f, (Physics.gravity.magnitude * rb.mass), 0f);
4
5      Vector3 sustForce = transform.up * input.ColetivoInput * 10000f;
6
7      rb.AddForce(sustForce, ForceMode.Force);
8
9      rb.AddForce(sustGrav, ForceMode.Force);
10
11 }

```

Figura 4.9 – *Script* referente à função da força de Sustentação.

Valores pré-definidos da força de Sustentação são aplicados durante o reconhecimento de gestos, podendo ser modificados pelo instrutor a fim de alterar o realismo necessário ao momento corrente da instrução.

O comando do Pedal proporciona o movimento de guinada e é implementado gerando-se um torque em torno do eixo vertical da aeronave. Utilizam-se os valores normalizados do comando Pedal multiplicados pela intensidade que o instrutor achar mais conveniente. Na Figura 4.10, a variável intensidade é denominada *caudaForce*. Os valores do comando Pedal são normalizados entre -1 e 1, sendo que valores negativos giram a aeronave para esquerda e positivos, para a direita.

```

1  private virtual void Pedal(Rigidbody rb, Input_Controller input)
2  {
3      rb.AddTorque(Vector3.up * input.PedalInput * caudaForce, ForceMode.Acceleration);
4  }

```

Figura 4.10 – *Script* referente à função do movimento de Guinada.

A força de Tração obtida pelo comando Cíclico permite a arfagem e o rolamento. Inicialmente, são criados vetores que permitem o cálculo do ângulo que a aeronave faz quando se inclina ao redor do eixo transversal (arfagem) e ao redor do eixo longitudinal (rolamento) (Figura 4.11).

Em seguida, a função *Cíclico* aplica um torque nos sentidos longitudinal e transversal, sendo este um vetor bidimensional em que *x* representa os valores normalizados

de -1 a 1 de arfagem e y os valores normalizados de -1 a 1 de rolamento. A intensidade do movimento pode ser pré-definida pelo instrutor, como a variável *ciclicoTorque*. Após o torque ser aplicado, mede-se o ângulo formado pela inclinação da aeronave e uma força proporcional é adicionada, conforme *script* da Figura 4.12. Valores pré-definidos são utilizados no caso do reconhecimento de gestos do aluno.

```

1  private void CalculoAngulos()
2  {
3      //Criação e normalização do vetor longitudinal que acompanha
4      //a inclinação do helicóptero
5      planoFrt = transform.forward;
6      planoFrt.y = 0f;
7      planoFrt = planoFrt.normalized;
8
9      //Criação e normalização do vetor transversal que acompanha
10     //a inclinação do helicóptero
11     planoDir = transform.right;
12     planoDir.y = 0f;
13     planoDir = planoDir.normalized;
14
15     //Cálculo dos angulos de arfagem e rolamento
16     frenteDot = Vector3.Dot(transform.up, planoFrt);
17     direitaDot = Vector3.Dot(transform.up, planoDir);
18 }

```

Figura 4.11 – *Script* referente ao cálculo da inclinação do helicóptero.

```

1  protected virtual void Ciclico(Rigidbody rb, Input input)
2  {
3      // Aplicação do torque (Rolamento)
4      float ciclicoZForce = input.CiclicoInput.x * ciclicoTorque;
5      rb.AddRelativeTorque(Vector3.forward * ciclicoZForce, ForceMode.Acceleration);
6
7      // Aplicação do torque (Arfagem)
8      float ciclicoXForce = -input.CiclicoInput.y * ciclicoTorque;
9      rb.AddRelativeTorque(Vector3.right * ciclicoXForce, ForceMode.Acceleration);
10
11     //Diferença nos angulos entre a aeronave e os eixos geram as forças de tração
12     Vector3 frenteVec = planoFrt * frenteDot;
13     Vector3 direitaVec = planoDir * direitaDot;
14
15     Vector3 finalCiclicoDir1 = Vector3.ClampMagnitude(frenteVec, 3f) * (ciclicoForceMultiplier);
16     rb.AddForce(finalCiclicoDir1, ForceMode.Acceleration);
17
18     Vector3 finalCiclicoDir2 = Vector3.ClampMagnitude(direitaVec, 3f) * (ciclicoForceMultiplier);
19     rb.AddForce(finalCiclicoDir2, ForceMode.Acceleration);
20 }

```

Figura 4.12 – *Script* referente aos movimentos de arfagem e rolamento do helicóptero.

Para simular que o piloto está nivelando a aeronave após a realização do movimento de arfagem ou rolamento, criou-se a função Nivelar (*script* da Figura 4.13). Calcula-se o valor atual do ângulo que a aeronave faz em relação os eixos longitudinal e transversal e aplica-se um torque em sentido contrário para compensar o movimento e nivelar a aeronave. A figura 4.14 permite a visualização da arfagem e do rolamento do helicóptero no ambiente do SOA.

```
1 private void Nivelar()
2 {
3     //Valor dos angulos multiplicado por variável definida pelo instrutor
4     float direitaForce = -frenteDot * nivelamento;
5     float frenteForce = direitaDot * nivelamento;
6
7
8     //Torque
9     rb.AddRelativeTorque(Vector3.forward * frenteForce, ForceMode.Acceleration);
10    rb.AddRelativeTorque(Vector3.right * direitaForce, ForceMode.Acceleration);
11 }
```

Figura 4.13 – Script referente ao nivelamento do helicóptero.



Figura 4.14 – Arfagem e Rolamento, respectivamente, no ambiente do SOA.

4.2.2.2.2 Orientador

A modelagem do orientador trajando seu uniforme foi realizada no Blender. A fim de dar maior realismo, tanto ao aluno quanto ao instrutor, e uma vez disponíveis diversas soluções de cinemática inversa (*Inverse Kinematic - IK*), foi utilizado o ativo *Final IK* [58], que emprega uma coleção de solucionadores analíticos e heurísticos, permitindo inserir regras e procedimentos personalizados exigidos pelas especificidades do desenvolvimento de RV (Figura 4.15). Seu *display* facilita a configuração da reprodução dos movimentos dos braços e da coluna com base na posição e orientação do HMD e dos controles presentes nas mãos do usuário.



Figura 4.15 – Avatar do orientador no SOA reproduzindo os movimentos do usuário por meio de solução de IK.

4.2.2.2.3 Reconhecimento de Gestos

O reconhecimento de gestos é essencial para a simulação que utiliza comunicação visual. Com a possibilidade do reconhecimento automático dos sinais do orientador e aplicação destes comandos ao helicóptero, a simulação fica mais natural e o instrutor recebe mais autonomia, podendo concentrar-se em outros detalhes da avaliação do aluno.

Para o SOA, foi adotada a escolha por soluções eficientes e de baixo custo que pudessem ser integradas com a ferramenta de desenvolvimento *Unity*. A solução obtida foi o ativo gratuito *MiVRy* [59], que utiliza RNA, necessitando de 25 repetições de cada sinal a uma taxa de reconhecimento anunciada de 98%.

De acordo com Michael[8], o funcionamento do *MiVRy* ocorre do seguinte modo: a trajetória em três dimensões dos dispositivos é usada como entrada. O sistema calcula um número fixo de pontos que melhor se aproxima do gesto realizado por meio de interpolação linear e gera uma representação invariável da posição. Após calcular o desvio padrão, esses pontos são convertidos em uma representação que é invariável na distância. Realiza-se a Análise de Componentes Principais (ACP) para representar cada ponto por um espaço tridimensional, transformando-os em uma representação invariável de direção. Calcula-se os valores do Centro de Gravidade do gesto. Em seguida, todos os pontos transformados são concatenados em vetores e esses valores numéricos são anexados como informações separadas no tensor de entrada da rede neural. Há ainda a possibilidade de inserção de informações de contexto, como qual botão do controle foi pressionado.

Se o modo de aprendizagem for selecionado, a categoria do gesto ensinado é interpretada pela rede neural, e o neurônio de saída associado a essa categoria recebe o valor 1, enquanto os demais recebem 0. Utiliza-se um algoritmo *back-propagation*. O processo de aprendizagem é repetido um grande número de vezes com um número suficiente de ações gestuais registradas por categoria de gesto, até que o peso seja definido de forma que seja maximizada a probabilidade do maior valor dos neurônios de saída se correlacionar com a categoria de gesto ensinada pelo usuário. Quando o modo de reconhecimento é selecionado, o neurônio da camada de saída recebe valores que podem ser usados como uma estimativa da probabilidade de comparação entre o gesto realizado e cada categoria de gesto disponível no banco de dados. O valor máximo é então disponibilizado ao usuário. A figura 4.16 ilustra a RNA.

A fim de gerar a biblioteca de gestos a ser utilizada pelo orientador, foi criado o cenário *Instrutor* (Figura 4.17), que permite o acréscimo dos sinais de orientação, conforme novas missões forem sendo disponibilizadas em versões futuras do simulador. Na etapa *Criação de sinais*, aperta-se a tecla *MENU* para entrar no modo de criação de gestos. O algoritmo cria um objeto de reconhecimento para cada mão (sub gesto) e um objeto que realizará a combinação entre eles (gesto). Em seguida, mantendo o botão

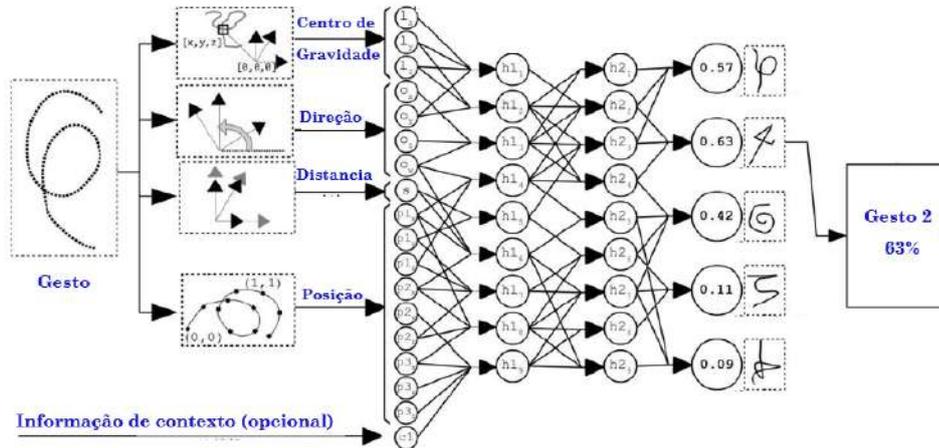


Figura 4.16 – Ilustração adaptada da rede neural do *MiVRy* contendo 18 neurônios na primeira camada e 2 camadas escondidas com 9 neurônios cada uma, onde o gesto 2 obteve a maior probabilidade de semelhança. [8]

TRIGGER pressionado em ambos os controles, o gesto é realizado uma vez. O botão *TRIGGER* é usado pra indicar ao sistema que um gesto está sendo realizado, devendo iniciar o acompanhamento de sua trajetória. O algoritmo recebe as informações de posição e orientação do HMD e dos controles, ao longo da execução da amostra. São executadas pelo menos 25 repetições. Por fim, inicia-se o treinamento da Inteligência Artificial (IA) que irá atualizar sua biblioteca de amostras e aprender padrões a fim de encontrar pontos em comum e identificar gestos futuros. A performance atingida, é então mostrada ao instrutor, indicando a percentagem dos gestos que foram corretamente identificados pela IA no ciclo de treinamento.



(a) Início da repetição dos gestos (b) Início do treinamento da IA

Figura 4.17 – Cenário de criação de sinais.

Durante os cenários de simulação do aluno, a biblioteca de gestos é carregada e o algoritmo aguarda o comando para iniciar novamente o recebimento de informações de posição e orientação dos controles e HMD. Uma vez realizado o movimento, o algoritmo calcula o candidato mais provável da combinação de sub gestos.

Foram treinados 22 sinais visuais diferentes (Figura 4.18), cada um contendo 25 amostras para cada braço, totalizando 1.100 amostras. O banco de dados em um único

arquivo gerado com todos os gestos obteve uma performance de treinamento de 99,181% e foi disponibilizado para a comunidade científica [13].

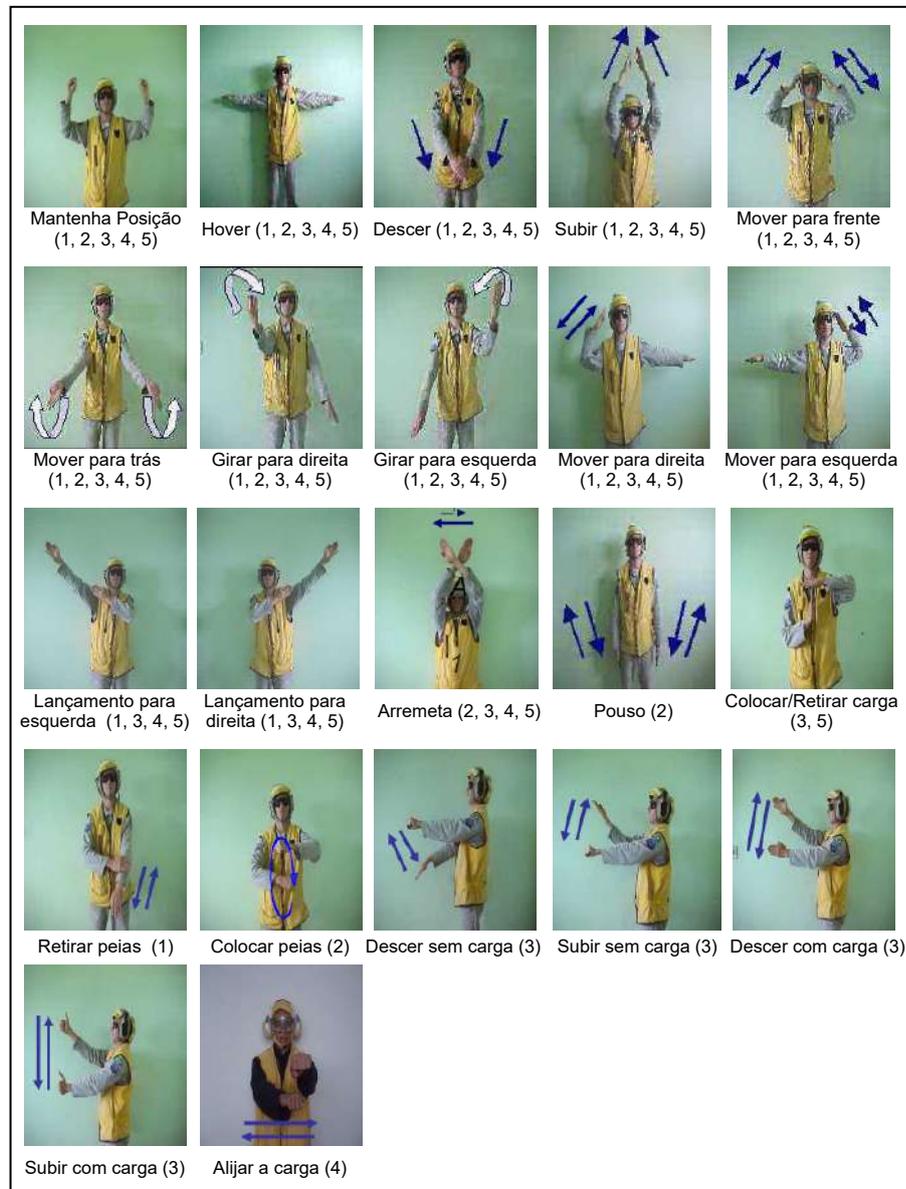


Figura 4.18 – Sinais visuais e as missões nas quais são utilizados: Decolagem (1), Pouso (2), PickUp(3), VERTREP com carga (4), VERTREP sem carga (5).

No intuito de melhorar a performance aproveitando-se das mesmas ferramentas até então utilizadas, e levando-se em conta as peculiaridades do simulador, optou-se por criar-se 5 diferentes bancos de dados, a serem treinados independentemente. Como há sinais que são apenas utilizados em um determinado tipo de missão, foi possível reduzir a quantidade de gestos a serem treinados e carregados para um determinado cenário, e com isso incrementar a performance, obtendo uma melhora de até 1%, conforme a tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Performace de treinamento por missão.

Missão	Total de gestos	Performace
Todos os gestos	22	99.181%
Decolagem	13	100%
Pouso	13	100%
Pickup (com e sem carga)	18	99.764%
VERTREP com carga	14	99.928%
VERTREP sem carga	14	99.857%

4.2.3 Cenários

Após a disponibilização de todas as ferramentas necessárias para o desenvolvimento, atendendo à especificação realizada, foram gerados para o SOA um painel de configuração do instrutor e 23 cenários, sendo 20 de treinamento e 3 de apoio. Os cenários de treinamento englobam as manobras de Pouso, Decolagem, VERTREP e *Pick-Up*, nos ambientes de terra e navio, com a aeronave se aproximando por ambos os bordos. Os cenários de Pouso e Decolagem englobam os períodos diurno e noturno, enquanto os cenários VERTREP e *Pick-Up* englobam apenas o período diurno. Os três cenários de apoio são:

- a) **Instrutor:** criação dos sinais.
- b) **Adaptação:** o aluno aprende sobre o funcionamento do simulador com alguns exemplos de movimentos.
- c) **Questionário:** após encerrar o treinamento, o usuário pode responder a quaisquer questionários propostos dentro do ambiente virtual. Ao término, o sistema gera um arquivo para posterior análise. Esses questionários foram utilizados para os testes do Capítulo 5.

Por fim, o painel do instrutor permite a troca de cenários, com a customização da aeronave, período, bordo de aproximação, tipo de manobra, ambiente terrestre ou em navio, além de permitir a inserção de erros de posicionamento da aeronave e escolha do modo de visualização do aluno. Ao instrutor, é igualmente permitido visualizar o sinal que foi reconhecido pela IA. Exemplos de cenários encontram-se no Apêndice B.

5 TESTES E RESULTADOS

Os testes com o SOA contaram com a participação de 15 instrutores do CIAAN que haviam respondido o questionário do pré-estudo. Esses instrutores possuíam uma média de 7 anos de experiência em orientação de helicóptero e de 8 anos como instrutores, além de uma média de 37 anos de idade. Os testes iniciaram com a realização do questionário de sintomas de mal-estar. Houve uma apresentação do módulo do instrutor e a todos foi possibilitado o manuseio do display do SOA. Em seguida, o primeiro cenário aplicado foi o de Adaptação. Após estar familiarizado com o simulador, cada instrutor cumpriu as tarefas previstas em 4 diferentes cenários, cada um com um tipo de operação (Pouso, Decolagem, Pick-up, VERTREP) em um tempo médio de 30 minutos inseridos no ambiente virtual. Pelo menos um dos cenários possuía ambiente virtual noturno (Figura 5.1). Durante a performance, foram inseridos erros de posição e movimentação na aeronave, por meio do terminal do instrutor, a fim de testar as reações dos usuários. Ao final, o questionário para avaliar a sensação de presença foi carregado dentro do ambiente virtual. Após preenchê-lo, os instrutores saíram do ambiente virtual e completaram o questionário de sintomas de mal-estar e eficácia.



Figura 5.1 – Instrutor realizando testes no cenário noturno do SOA.

Em relação ao reconhecimento de gestos, não foram observadas inconsistências no uso da luva adaptada com VIVE™Tracker. Alguns gestos não foram identificados quando o instrutor usou os controles simulando a lanterna em ambiente noturno. Descobriu-se que a rotação da mão durante o gesto com controles estava sendo realizada de maneira diferente de como o sinal foi treinado e inserido no banco de dados. A publicação normativa da MB [5] não especifica a rotação da mão ao segurar uma lanterna. Os sinais foram realizados pelos instrutores para o treinamento da IA, desta vez com a rotação da mão mais comumente utilizada por eles. Após a padronização dos gestos, os testes seguiram sem inconsistências.

5.1 Sensação de Presença

A avaliação da sensação de presença é crucial para a criação e aprimoramento de uma experiência imersiva. Foram aplicados 14 questionamentos (Apêndice C), em uma escala de 0 a 6, especificados pelo IPQ. Esse questionário, que possui uma alta confiabilidade, foi implementado dentro do ambiente virtual para reduzir a duração do estudo e para reduzir a desorientação do participante [30].

Os resultados obtidos foram comparados com 18 estudos similares provenientes do banco de dados do IPQ [60] referentes a aplicações de RV em perspectiva de primeira pessoa, HMD estereoscópico e audio stereo. Quatro parâmetros foram avaliados [61]:

- a) Percepção de Presença Geral (G);
- b) Presença Espacial (SP), sendo a sensação de se estar fisicamente presente no ambiente virtual;
- c) Envolvimento (INV), em que se mede a atenção ao ambiente virtual e ao envolvimento com o experimento;
- d) Realismo (REAL), que proporciona uma avaliação da experiência subjetiva de realidade.

A pontuação de referência do IPQ e os resultados obtidos com os testes do SOA foram comparados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Valores do banco de dados do IPQ e resultados do SOA.

Parâmetros	Banco de Dados IPQ		SOA	
	<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>
G1	3.000	1.969	5.200	0.775
SP	3.178	1.673	4.973	0.237
INV	2.986	0.941	5.050	0.356
REAL	2.167	1.022	4.083	0.323

Observou-se que os resultados do SOA sobressaíram-se em relação à pontuação de referência. A pontuação sugere uma sensação de presença satisfatória do SOA. A segunda maior pontuação foi obtida pelo parâmetro Envolvimento, mostrando que o usuário estava atento às consequências de suas ações no mundo virtual, principalmente, por saber que o helicóptero poderia ter movimentos inesperados que pudessem colocar a missão em risco. A menor pontuação foi obtida pelo componente Realismo. Infere-se, após questionamentos informais aos instrutores, que a animação dos membros da EQMAN necessita ser aprimorada com menos movimentos artificiais. Conclui-se também que o desvio padrão dos parâmetros do SOA foram menores do que os do IPQ. Uma vez que seu banco de dados reúne resultados de diferentes simuladores, seus números são mais dispersos.

5.2 Sintomas de mal-estar

O estudo de *cybersickness*, sintomas que causam desconforto relacionados à interação no ambiente virtual, é essencial para aprimorar as técnicas utilizadas, preservar o bem-estar dos usuários e reduzir o abandono antecipado de exposições virtuais [49]. Para avaliação do SOA, foi utilizado o (VRSQ) [46], composto por 9 itens divididos em dois componentes: oculomotor e desorientação, cujo resultado consta na Figura 5.2. Inicialmente, antes de entrarem no ambiente virtual, os instrutores responderam o questionário e nenhum deles apresentava sintomas de mal-estar. Após todos terem passado pela simulação, concluiu-se que o cansaço foi o sintoma mais sentido devido aos constantes gestos que precisam ser realizados com os braços levantados. Ainda assim não é um fator exclusivo do protótipo, considerando que os fatores de estresse a quem são submetidos também estão presentes nas operações reais. Foi observado que os instrutores que sentiram pelo menos um sintoma de mal-estar tinham mais de 38 anos de idade.

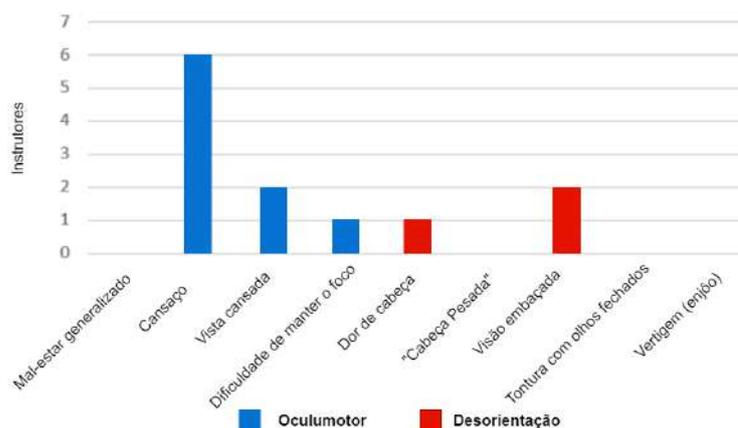


Figura 5.2 – Sintomas de mal-estar relatados pelos instrutores durante os testes com o SOA.

Existe a possibilidade de monitoramento e previsão em tempo real de *cybersickness* por meio de medições da variabilidade da frequência cardíaca [50]. Tendo esse estudo como base, medimos a frequência cardíaca enquanto os instrutores estavam no mundo virtual, utilizando a pulseira de monitor *Xiomi Mi Band 3*. Os resultados foram inconclusivos em relação à *cybersickness*, embora tenham apontado que 4 instrutores apresentaram um aumento da frequência cardíaca conforme erros de posição e movimentação do helicóptero eram inseridos, criando uma situação perigosa no ambiente virtual (Figura 5.3). Apesar de serem apenas indícios, uma vez que este não é o aparelho de medição cardíaca próprio para uma pesquisa científica, pode-se supor uma relação com a alta pontuação do parâmetro Envolvimento, medido no questionário de presença, sendo uma base para estudos posteriores, em conjunto com novas medições em uma situação de emprego real.

O resultado do questionário foi considerado satisfatório, uma vez que nenhuma simulação foi interrompida ou prejudicada por conta de *cybersickness*.

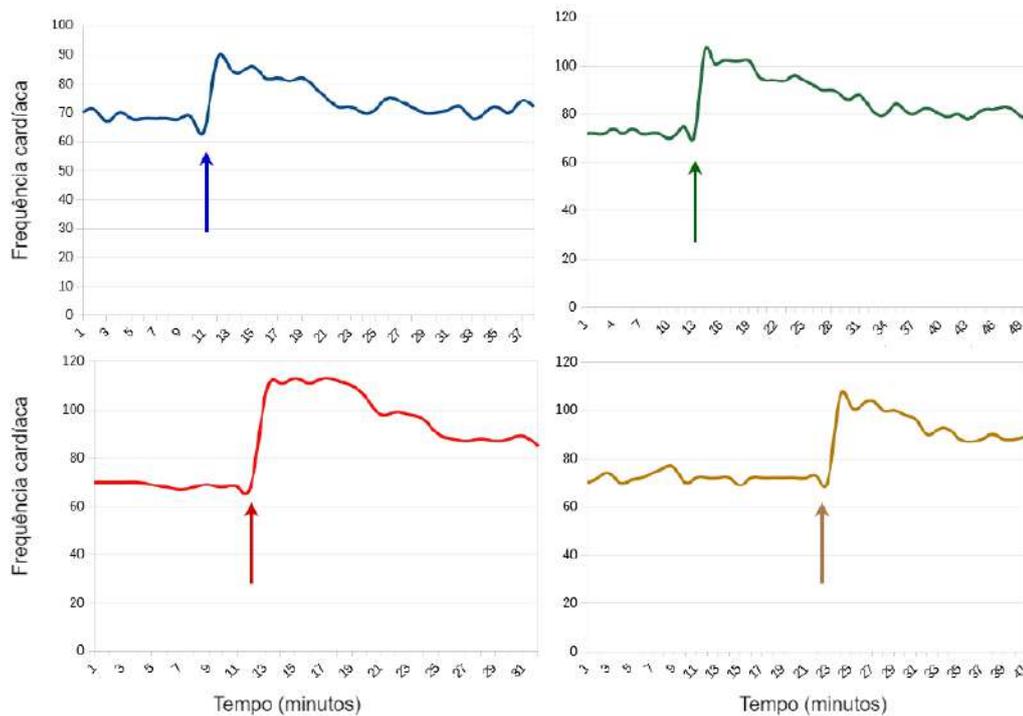


Figura 5.3 – Frequência cardíaca de 4 instrutores medida a cada 1 minuto. A seta indica o momento em que o erro proposital foi inserido no helicóptero, criando uma situação de perigo no ambiente virtual.

5.3 Eficácia Subjetiva

Para a avaliação da eficácia do SOA, utilizou-se uma abordagem subjetiva, ao analisar as observações pessoais dos instrutores. Foram aplicadas cinco questões utilizando uma escala *Likert* de referência de cinco pontos [62]. As questões foram ponderadas para refletir a realidade observada quanto ao uso da ferramenta de ensino pela ótica do instrutor e do aprendiz. Essas questões e os resultados são apresentados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Questionário de Eficácia Subjetiva utilizando escala *Likert* de cinco pontos.

Pergunta	Média	Desvio Padrão
O SOA é uma ferramenta efetiva para o treinamento?	4.933	0.258
O SOA pode incrementar a habilidade de reagir de forma apropriada a uma situação crítica que o orientador pode vir a enfrentar em uma operação real com helicóptero?	4.866	0.351
O uso do SOA atendeu a todos os objetivos de aprendizagem?	4.533	0.516
O SOA permite ao instrutor controlar a simulação?	4.800	0.414
Se você já experimentou alguma ferramenta de treinamento que não use RV, você considera o SOA mais eficaz do que essa ferramenta?	5.000	0.000

Conclui-se que o SOA alcançou eficácia subjetiva satisfatória. A pergunta *Se você já experimentou alguma ferramenta de treinamento que não usa RV, você considera o SOA mais eficaz do que essa ferramenta?* apresentou a pontuação mais alta. Anteriormente, duas ferramentas que não eram baseadas em RV foram testadas no CIAAN, tendo sido rejeitadas após serem consideradas inadequadas. Informalmente, o consenso entre os instrutores era que, se o SOA já estivesse disponível, eles o adotariam para realizar a instrução de seus alunos. A pontuação mais baixa observada ocorreu na pergunta *O SOA atingiu todos os objetivos de aprendizagem?*. Os instrutores entenderam que o simulador ainda não aborda todos os gestos possíveis previstos em manual, nem todas as operações. Isto de fato ocorreu, pois os testes foram realizados com um protótipo que permite a ampliação das possibilidades de treinamento, tanto no quesito de incorporação de mais tipos de operações, quanto de inserção de novos sinais visuais.

6 CONCLUSÃO

O pouso de um helicóptero em um navio em movimento requer confiança, habilidade e coordenação de todo o pessoal envolvido. Além disso, este tipo de operação demanda uma quantidade elevada de recursos financeiros. Foi identificada uma lacuna de treinamento entre o curso teórico e o estágio prático na MB, que poderia ser resolvida por meio de uma ferramenta de simulação de RV. Esse tipo de simulação tem sido usado com sucesso para auxiliar no treinamento de habilidades complexas e tarefas perigosas comuns em profissões militares e operações de risco.

O objetivo do trabalho (Seção 1.3) foi alcançado após a apresentação de uma sequência de etapas. Inicialmente, uma série de atribuições foram mapeadas para entender o problema e buscar soluções (Capítulo 3). Em seguida, o SOA foi especificado e desenvolvido utilizando tecnologias de baixo custo em conjunto com uma metodologia de Aprendizado de Máquina para reconhecimento visual de gestos, integrada ao ambiente de RV (Capítulo 4). Após o término do desenvolvimento do protótipo, foram realizados testes com 15 instrutores do CIAAN. Ao final, três parâmetros foram avaliados: Sensação de presença, Sintomas de mal-estar e Eficácia subjetiva (Capítulo 5). Após análise dos resultados e em conversa com os instrutores, concluiu-se que o SOA poderia satisfatoriamente ser empregado na MB como uma solução de treinamento de baixo custo na formação do orientador.

As questões de pesquisa levantadas na seção 1.2 foram respondidas de forma positiva após a finalização do trabalho. O simulador de RV de baixo custo proposto pode complementar a formação do orientador de acordo com os objetivos de aprendizado da MB, sendo considerado um recurso capaz de treinar a reação do aluno no ambiente virtual em cenários fidedignos às operações reais. Ademais, o SOA é capaz de possuir uma aeronave virtual controlada sem a interferência do instrutor, integrada a um algoritmo de Aprendizado de Máquina que identifica o sinal visual do aluno de forma automática.

Os trabalhos futuros indicados possuem o intuito de prosseguir com os estudos e focar em pontos levantados durante a execução desta dissertação que não foram implementados devido ao seu escopo. Uma vez que um protótipo do SOA foi considerado satisfatório por atingir seu objetivo, um estudo para avaliar diferentes métodos de reconhecimento de gestos em diferentes *hardwares* de RV seria de suma importância para comparar resultados de performance e eficácia.

Mesmo com as animações padronizadas dos componentes da EQMAN no ambiente virtual, os instrutores concordaram que o nível de realismo do SOA seria incrementado se esses movimentos fossem gravados em uma operação real e inseridos no ambiente virtual.

A adição de mais cenários de operação de forma a englobar mais situações reais que o orientador pode enfrentar na prática, inclusive situações de emergências, também contribuiria para o aperfeiçoamento do SOA frente aos desafios da instrução.

Faz-se necessário um novo estudo para medir a eficácia objetiva do SOA nos alunos, com o acompanhamento das etapas práticas em terra e no mar, a fim de verificar as habilidades adquiridas com o uso do simulador, comparando grupos que utilizaram o simulador com um grupo sem acesso a esse treinamento.

Por fim, um trabalho de integração do SOA com o simulador de passadiço e simulador de helicóptero, ambos utilizados na MB, permitiria um treinamento conjunto de todas as equipes envolvidas nas operações aéreas, criando novas possibilidades de cenários de simulação, reduzindo custos e incrementando a segurança.

REFERÊNCIAS

- 1 WILTGEN, G. *14 de Abril: 38 anos da Helibras*. 2015. 11 nov. de 2019. Disponível em: <<https://www.defesaaereanaval.com.br/artigos/esquadrao-hu-4-qrpv-vertrep-e-sar-com-o-monitor-parnaiba>>.
- 2 YANAROS, J. O. *Vital Visual Communications*. 1972. 52 p. 04 nov. de 2019. Disponível em: <<https://play.google.com/store/books/details?id=fHhYQBRxiy0C&rdid=book-fHhYQBRxiy0C&rdot=1>>.
- 3 WIKIPEDIA. *Vertical replenishment*. 2019. 29 abr. de 2020. Disponível em: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Vertical-replenishment>>.
- 4 BRASIL, M. do. *Fragata “União” apoia adestramento do Esquadrão HU-2*. 2018. 29 abr. de 2020. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/noticias/fragata-uniao-apoia-adestramento-do-esquadrao-hu-2>>.
- 5 BRASIL. *CIAAN-0327 Procedimentos Operativos em Navios e Aeródromos*. São Pedro da Aldeia, RJ, Brasil: Marinha do Brasil, 2017. 138 p.
- 6 WILTGEN, G. *PASSEX da Missão Jeanne D’Arc com a Marinha do Brasil: Fase Naval I*. 2012. 26 mai. de 2020. Disponível em: <<https://www.defesaaereanaval.com.br/artigos/passex-da-missao-jeanne-darc-com-a-marinha-do-brasil-fase-naval-i>>.
- 7 HTC. *Vive Pro website*. 2019. 04 nov. de 2019. Disponível em: <<https://www.vive.com/us/product/vive-pro/>>.
- 8 MICHAEL, M. *The routing method, routing apparatus, program, and program recording medium*. Japan Patent Office, JP6623366, 2019. 32 p. 10 ago. de 2020. Disponível em: <<https://www.j-platpat.inpit.go.jp/c1800/PU/JP-6623366/378ABE68BECE2CCA34554EDB4CBA8125F2AFE6775576B94E7860FEC6897622A7/15/en>>.
- 9 CRANDALL, B.; KLEIN, G.; HOFFMAN, R. R. *Working Minds: Cognitive Task Analysis*. 1. ed. London: Bradford Books, 2006. 332 p.
- 10 FLETCHER, J. D. Education and training technology in the military. *Science*, v. 323, n. 5910, p. 72–75, 2009. 04 nov. de 2019. Disponível em: <<https://science.sciencemag.org/content/323/5910/72>>.
- 11 MYERS, P. L.; STARR, A. W.; MULLINS, K. Flight simulator fidelity, training transfer, and the role of instructors in optimizing learning. *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*, v. 5, n. 1, 2018. 04 nov. de 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.15394/ijaaa.2018.1203>>.
- 12 HENDRIYANI, Y.; AMRIZAL, V. A. The comparison between 3d studio max and blender based on software qualities. *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, v. 1387, p. 012–030, nov 2019.
- 13 DONEDA, A. L. C.; OLIVEIRA, J. C. *Landing Signalman gesture recognition dataset*. Mendeley Data, v2, 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.17632/9xvf3ph6bt.2>>.

- 14 DONEDA, A. L. C.; 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)*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 434–442.
- 15 SILVA, M. L. *100 anos de aviação naval brasileira. 1916 a 2016*. 2016. 04 nov. de 2019. Disponível em: <<https://www.pilotopolicial.com.br/100-anos-de-aviacao-naval-brasileira-1916-a-2016/>>.
- 16 KUMAR, S.; AREKAR, K.; JAIN, R. The impact of effectiveness of the simulator training program on different factors of needs and interest of the training. In: *2nd International Conference on Next Generation Computing Technologies (NGCT)*. S.l.: IEEE, 2016. p. 485–489.
- 17 BASTOS, R. S. *Development of a web-based periscope simulator for submarine officer training*. 157 p. Master of Science in Modeling, Virtual Environments, and Simulation — Naval Postgraduate School, Monterey, CA, USA, 2014. 04 nov. de 2019. Disponível em: <<https://calhoun.nps.edu/handle/10945/43873>>.
- 18 LI, M.; LI, L.; JIAO, R.; XIAO, H. Virtual reality and artificial intelligence support future training development. In: *Chinese Automation Congress (CAC)*. S.l.: IEEE, 2017. p. 416–419.
- 19 GREUNKE, L.; SADAGIC, A. Taking Immersive VR Leap in Training of Landing Signal Officers. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, v. 22, n. 4, p. 1482–1491, 2016.
- 20 WIDJOJO, E. A.; CHINTHAMMIT, W.; ENGELKE, U. Virtual reality-based human-data interaction. In: *2017 International Symposium on Big Data Visual Analytics (BDVA)*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 1–6.
- 21 MENIN, A.; TORCHELSEN, R.; NEDEL, L. An analysis of vr technology used in immersive simulations with a serious game perspective. *IEEE Computer Graphics and Applications*, v. 38, n. 2, p. 57–73, 2018.
- 22 ASSUNCAO, N.; MONTEIRO, A. M. V. Dispositivo, atração e os rubes da realidade virtual: uma abordagem teórica do oculus rift. *Visualidades*, v. 15, n. 1, p. 129, 2017. 04 nov. de 2019. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/VISUAL/article/view/41428/24643>>.
- 23 CARNegie, K.; RHEE, T. Reducing visual discomfort with hmds using dynamic depth of field. *IEEE Computer Graphics and Applications*, v. 35, n. 5, p. 34–41, 2015.
- 24 ANDRZEJCZAK, J.; CHOMIK, R. Gesture recognition in virtual reality environments. In: _____. *Computer Game Innovations*. [S.l.]: Łódź University of Technology Monograph, 2017. cap. 2, p. 19 – 28.
- 25 ESCALERA, S.; ATHITSOS, V.; GUYON, I. Challenges in multi-modal gesture recognition. In: *Gesture recognition*. [S.l.]: Springer, 2017. p. 1–60.
- 26 JOSHI, A. V. Introduction to ai and ml. In: *Machine Learning and Artificial Intelligence*. [S.l.]: Springer, Cham, 2020. p. 3–7.
- 27 FACELI, K.; LORENA, A. C.; GAMA, J.; CARVALHO, A. C. P. d. L. F. d. *Inteligência artificial: uma abordagem de aprendizado de máquina*. [S.l.]: LTC, 2011.

- 28 ARGELAGUET, F.; DUCOFFE, M.; LÉCUYER, A.; GRIBONVAL, R. Spatial and rotation invariant 3d gesture recognition based on sparse representation. In: IEEE. *2017 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*. [S.l.], 2017. p. 158–167.
- 29 WEECH, S.; KENNY, S.; BARNETT-COWAN, M. Presence and cybersickness in virtual reality are negatively related: A review. *Frontiers in Psychology*, v. 10, p. 158, 2019. 04 nov. de 2019. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2019.00158>>.
- 30 SCHWIND, V.; KNIERIM, P.; HAAS, N.; HENZE, N. Using presence questionnaires in virtual reality. In: *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA: ACM, 2019. p. 1–12. 06 nov. de 2019. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/3290605.3300590>>.
- 31 IGROUP. *IGroup Presence Questionnaire (IPQ) Scale Construction*. 2016. 06 nov. de 2019. Disponível em: <<http://www.igroup.org/pq/ipq/construction.php>>.
- 32 SASTRY, V. V.; STEEL, J.; TROTT, E. A. Defense Technical Information Center Compilation Part Notice., *A virtual environment for naval flight deck operations training*. 2001. 07 nov. de 2019. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/03d6/2ac01ef30c87208ae4c17db0f8db143c0fa9.pdf>>.
- 33 VIEIRA, R. S. *Towards a game-based periscope simulator for submarine officers tactical training*. 107 p. Master of Science in Modeling, Virtual Environments, and Simulation — Naval Postgraduate School, Monterey, CA, USA, 2016. 04 nov. de 2019. Disponível em: <<https://calhoun.nps.edu/handle/10945/49409>>.
- 34 SHAOYANG, Q.; HONGXIANG, R. Ship life-saving training system based on virtual reality technology. In: *IEEE 4th International Conference on Control Science and Systems Engineering (ICCSSE)*. S.l.: IEEE., 2018. p. 559–563.
- 35 ALMEIDA, R. S.; VILLARMOSA, A.; RAPOSO, A. Mapeamento das características do terreno em ambiente virtual como ferramenta de apoio ao ensino militar. In: *Anais do XXI Symposium on Virtual and Augmented Reality*. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2019. p. 15–16. ISSN 2177-9384.
- 36 TIAN, Y.; LIU, H.; YIN, J.; LUO, M.; WU, G. Evaluation of simulation-based training for aircraft carrier marshalling with learning cubic and kirkpatrick’s models. *Chinese journal of aeronautics*, Elsevier, v. 28, n. 1, p. 152–163, 2015.
- 37 SODIRI, D. T.; SASTRY, V. On the interpretation of gestures arising in flight deck officers training. In: *Proceedings of the Thirteenth Conference on Behaviour Representation in Modelling and Simulation*. [S.l.: s.n.], 2004. p. 1–11.
- 38 SODIRI, D. T.; SASTRY, V. V. Recognition machine (rm) for on-line and isolated flight deck officer (fdo) gestures. *International Journal of Intelligent Technology*, v. 1, n. 2, 2008.
- 39 CHOI, C.; AHN, J.; BYUN, H. Visual recognition of aircraft marshalling signals using gesture phase analysis. In: *2008 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*. [S.l.: s.n.], 2008. p. 853–858.

- 40 LOU, X.; YU, Z.; WANG, Z.; ZHANG, K.; GUO, B. Gesture-radar: Enabling natural human-computer interactions with radar-based adaptive and robust arm gesture recognition. In: IEEE. *2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*. [S.l.], 2018. p. 4291–4297.
- 41 BISWAS, K. K.; BASU, S. K. Gesture recognition using microsoft kinect®. In: IEEE. *The 5th international conference on automation, robotics and applications*. [S.l.], 2011. p. 100–103.
- 42 AHMED, A.; LOO, C. K.; OBO, T. Neuro-fuzzy model with subtractive clustering optimization for arm gesture recognition by angular representation of kinect data. In: IEEE. *2017 6th International Conference on Informatics, Electronics and Vision & 2017 7th International Symposium in Computational Medical and Health Technology (ICIEV-ISCMT)*. [S.l.], 2017. p. 1–6.
- 43 MATHE, E.; MITSOU, A.; SPYROU, E.; MYLONAS, P. Arm gesture recognition using a convolutional neural network. In: IEEE. *2018 13th International Workshop on Semantic and Social Media Adaptation and Personalization (SMAP)*. [S.l.], 2018. p. 37–42.
- 44 FANELLO, S. R.; GORI, I.; METTA, G.; ODONE, F. Keep it simple and sparse: Real-time action recognition. *The Journal of Machine Learning Research*, JMLR, v. 14, n. 1, p. 2617–2640, 2013.
- 45 WU, J.; CHENG, J. Bayesian co-boosting for multi-modal gesture recognition. *Journal of Machine Learning Research*, v. 15, n. 86, p. 3013–3036, 2014.
- 46 KIM, H. K.; PARK, J.; CHOI, Y.; CHOE, M. Virtual reality sickness questionnaire (vrsq): Motion sickness measurement index in a virtual reality environment. *Applied Ergonomics*, Elsevier, v. 69, n. October 2017, p. 66–73, 2018.
- 47 KENNEDY, R. S.; LANE, N. E.; BERBAUM, K. S.; LILIENTHAL, M. G. Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, v. 3, n. 3, p. 203–220, 1993. 04 nov. de 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0303_3>.
- 48 LAVIOLA, J.; JOSEPH, J. A discussion of cybersickness in virtual environments. *ACM Sigchi Bulletin*, v. 32, n. 1, p. 47–56, 2000.
- 49 CARVALHO, M. R. d.; COSTA, R. T. d.; NARDI, A. E. Simulator sickness questionnaire: tradução e adaptação transcultural. *Jornal brasileiro de psiquiatria*, SciELO Brasil, v. 60, n. 4, p. 247–252, 2011.
- 50 GARCIA-AGUNDEZ, A.; REUTER, C.; CASERMAN, P.; KONRAD, R.; GÖBEL, S. Identifying cybersickness through heart rate variability alterations. *International Journal of Virtual Reality*, v. 19, n. 1, 2019.
- 51 VASCONCELOS-RAPOSO, J.; BESSA, M.; MELO, M.; BARBOSA, L.; RODRIGUES, R.; TEIXEIRA, C. M.; CABRAL, L.; SOUSA, A. A. Adaptation and validation of the igroup presence questionnaire (ipq) in a portuguese sample. *Presence: Teleoperators and virtual environments*, MIT Press, v. 25, n. 3, p. 191–203, 2016.

- 52 SHU, Y.; HUANG, Y.-Z.; CHANG, S.-H.; CHEN, M.-Y. Do virtual reality head-mounted displays make a difference? a comparison of presence and self-efficacy between head-mounted displays and desktop computer-facilitated virtual environments. *Virtual Reality*, Springer, v. 23, n. 4, p. 437–446, 2019.
- 53 BORGES, M.; SYMINGTON, A.; COLTIN, B.; SMITH, T.; VENTURA, R. Htc vive: analysis and accuracy improvement. In: IEEE. *2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. [S.l.], 2018. p. 2610–2615.
- 54 CASERMAN, P.; GARCIA-AGUNDEZ, A.; KONRAD, R.; GÖBEL, S.; STEINMETZ, R. Real-time body tracking in virtual reality using a vive tracker. *Virtual Reality*, Springer, v. 23, n. 2, p. 155–168, 2019.
- 55 WAVE. *Crest Ocean System*. 2018. 27 dez. de 2019. Disponível em: <<https://github.com/crest-ocean/crest>>.
- 56 JOHNSON, J. *Weather Maker - Unity Weather System, Sky, Water, Volumetric Clouds and Light*. 2019. 02 jan. de 2020. Disponível em: <<https://assetstore.unity.com/packages/tools/particles-effects/weather-maker-unity-weather-system-sky-water-volumetric-clouds-a-60955>>.
- 57 CIAAN. *Equipe de Manobra de Helicópteros e Crache a bordo (EQMAN-A)*. Centro de Instrução e Adestramento Aeronaval Almirante José Maria do Amaral Oliveira: Marinha do Brasil, 2010. 141 p.
- 58 ROOTMOTION. *Final IK*. 2019. 02 fev. de 2020. Disponível em: <<https://assetstore.unity.com/packages/tools/animation/final-ik-14290>>.
- 59 MARUI. *MiVRy - 3D Gesture Recognition*. 2019. 10 mar. de 2020. Disponível em: <<https://assetstore.unity.com/packages/templates/systems/mivry-3d-gesture-recognition-143176>>.
- 60 IGROUP. *IGroup Presence Questionnaire (IPQ) Database*. 2016. 20 April 2020. Disponível em: <<http://www.igroup.org/pq/ipq/data.php>>.
- 61 SCHUBERT, T.; FRIEDMANN, F.; REGENBRECHT, H. The experience of presence: Factor analytic insights. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, MIT Press, v. 10, n. 3, p. 266–281, 2001.
- 62 BOONE, H. N.; BOONE, D. A. Analyzing likert data. *Journal of extension*, v. 50, n. 2, p. 1–5, 2012.

APÊNDICE A – DIAGRAMAS DE PROCESSOS

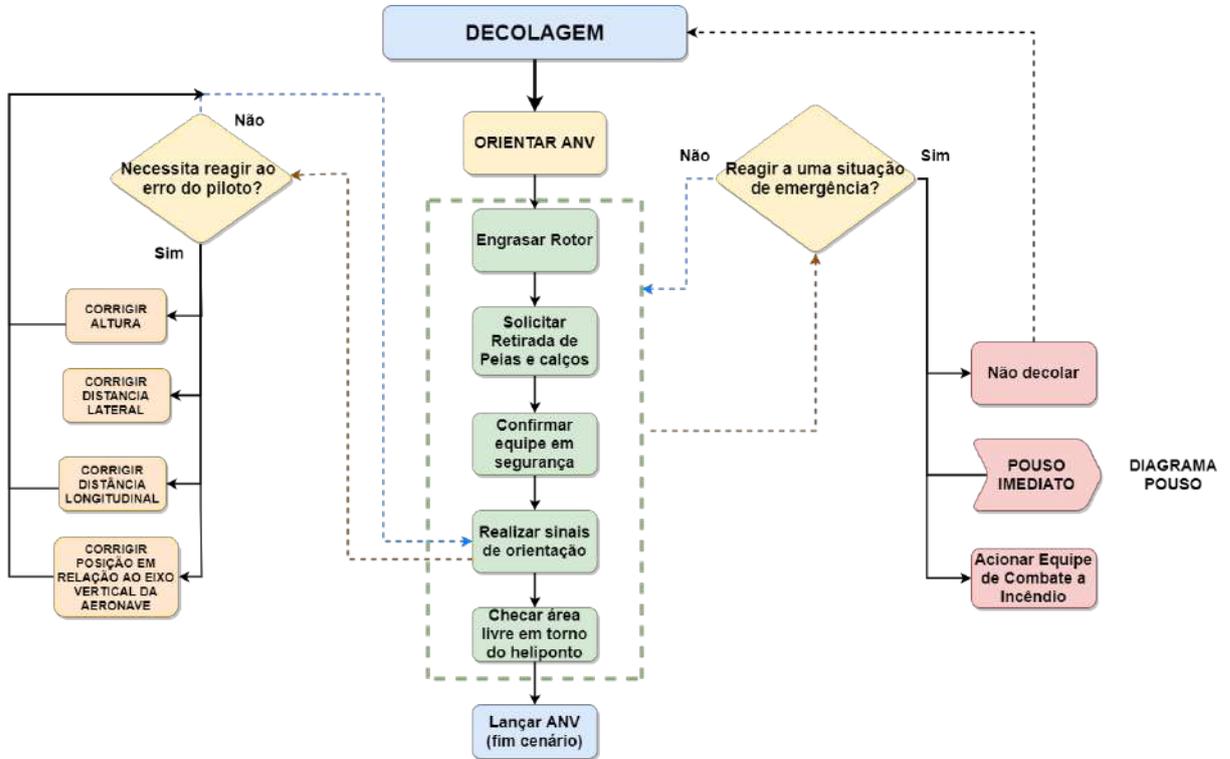


Figura A.1 – Diagrama da manobra de Decolagem.

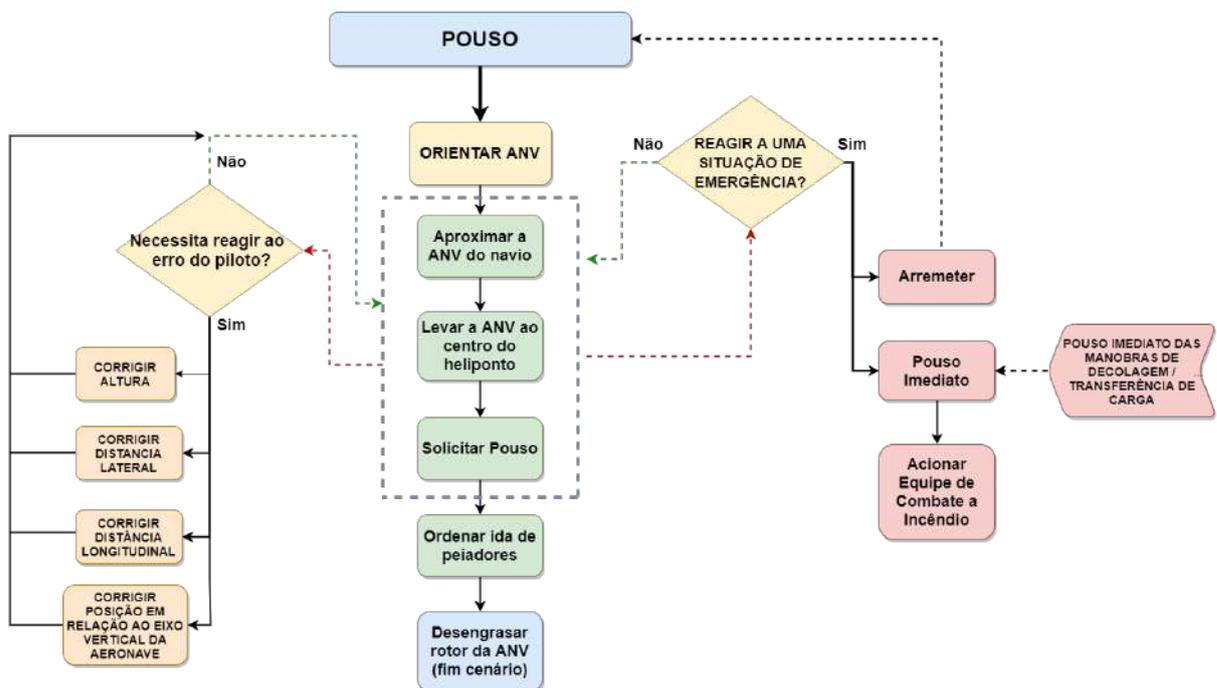


Figura A.2 – Diagrama da manobra de Pouso.

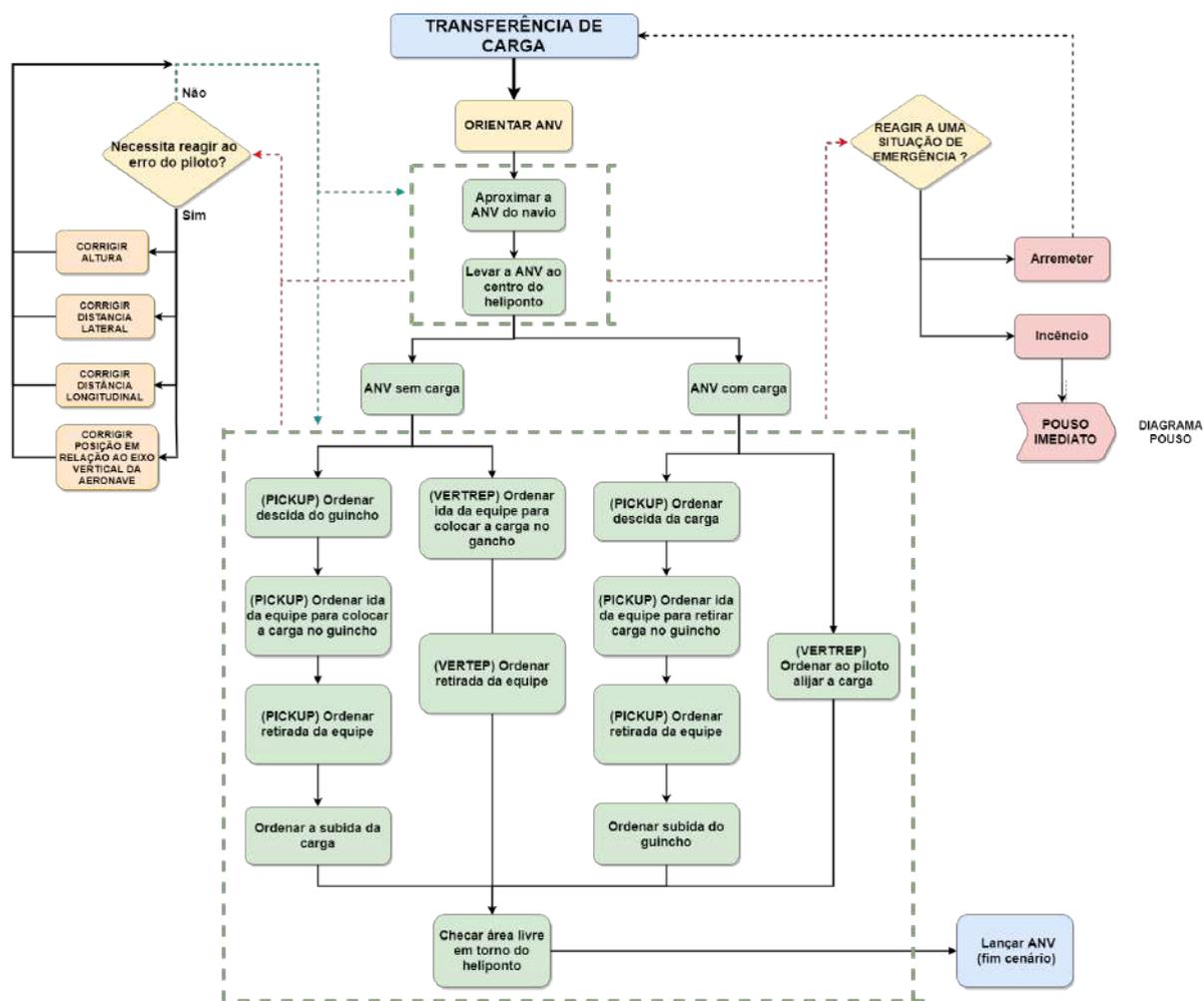


Figura A.3 – Diagrama da manobra de Transferência de Carga.

APÊNDICE B – CENÁRIOS DO SOA



(a) Decolagem diurna em navio



(b) Pouso diurno por bombordo em navio



(c) Decolagem noturna em Fragata

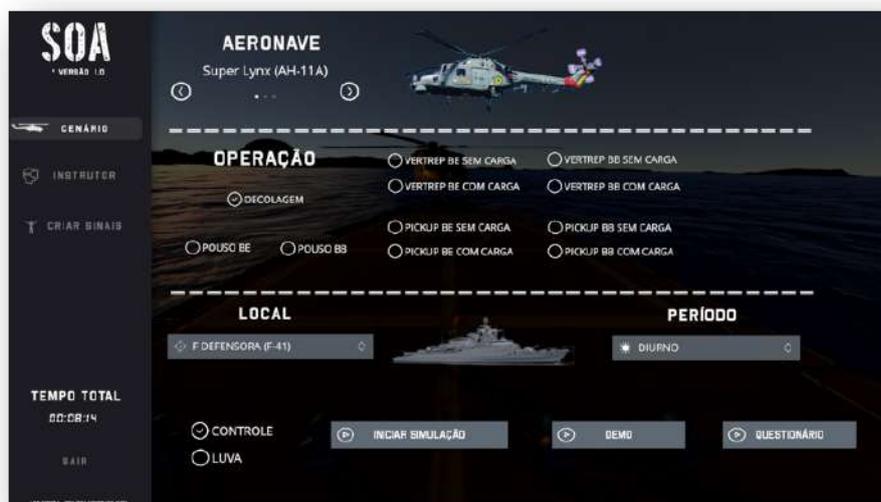


(d) VERTREP por bombordo em terra



(e) PickUp por boreste em navio-patrolha

Figura B.1 – Exemplos de cenários de treinamento.



(a) Ambiente de escolha de cenário.



(b) Ambiente de inserção de erros e de visualização da cena.

Figura B.2 – Menu do Instrutor.

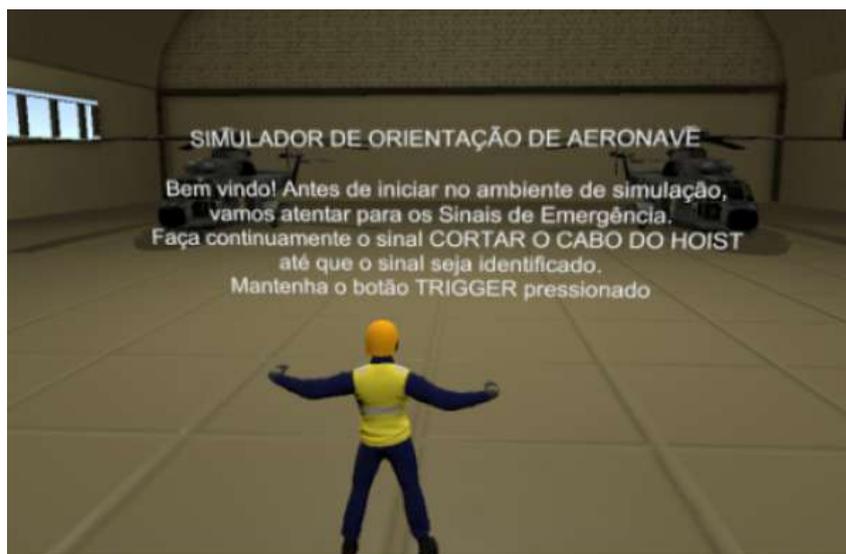


Figura B.3 – Cenário de Adaptação

APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DE SENSAÇÃO DE PRESENÇA

* 1.1 (G1) No mundo virtual gerado pelo computador, eu tive a sensação de estar nele.							
DISCORDO PLENAMENTE	<input type="radio"/>	CONCORDO PLENAMENTE					
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	
* 1.2 (SP1) De alguma forma, senti que o mundo virtual me cercava.							
DISCORDO PLENAMENTE	<input type="radio"/>	CONCORDO PLENAMENTE					
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	
* 1.3 (SP2) Eu senti como se estivesse apenas percebendo imagens.							
DISCORDO PLENAMENTE	<input type="radio"/>	CONCORDO PLENAMENTE					
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	
* 1.4 (SP3) Eu não me senti presente no espaço virtual.							
DISCORDO PLENAMENTE	<input type="radio"/>	CONCORDO PLENAMENTE					
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	
* 1.5 (SP4) Eu tive uma sensação de atuar no espaço virtual, em vez de operar algo de fora.							
DISCORDO PLENAMENTE	<input type="radio"/>	CONCORDO PLENAMENTE					
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	
* 1.6 (SP5) Eu me senti presente no espaço virtual.							
DISCORDO PLENAMENTE	<input type="radio"/>	CONCORDO PLENAMENTE					
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	
* 1.7 (INV1) Quão consciente você estava do mundo real ao seu redor enquanto navegava no mundo virtual? (i.e. sons, temperatura ambiente, outras pessoas, etc.)							
EXTREMAMENTE CONSCIENTE	<input type="radio"/>	NEM UM POUCO CONSCIENTE					
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	

* 1.8 (INV2) Eu não estava consciente do meu ambiente real.							
DISCORDO PLENAMENTE	<input type="radio"/>	CONCORDO PLENAMENTE					
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
* 1.9 (INV3) Eu ainda prestava atenção no ambiente real.							
DISCORDO PLENAMENTE	<input type="radio"/>	CONCORDO PLENAMENTE					
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
* 1.10 (INV4) Eu fui completamente cativado pelo mundo virtual.							
DISCORDO PLENAMENTE	<input type="radio"/>	CONCORDO PLENAMENTE					
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
* 1.11 (REAL1) Quão real o mundo virtual lhe pareceu?							
COMPLETAMENTE REAL	<input type="radio"/>	NEM UM POUCO REAL					
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
* 1.12 (REAL2) Quanto sua experiência no mundo virtual se parece consistente com a experiência no mundo real?							
INCONSISTENTE	<input type="radio"/>	MUITO CONSISTENTE					
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
* 1.13 (REAL3) Quão real o mundo virtual lhe pareceu?							
NOTADAMENTE UM MUNDO IMAGINADO	<input type="radio"/>	INDISTINGUÍVEL DO MUNDO REAL					
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
* 1.14 (REAL4) O mundo virtual parecia tão realista quanto o mundo real.							
DISCORDO PLENAMENTE	<input type="radio"/>	CONCORDO PLENAMENTE					
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3