CLAUDIA DE ARMAS DE ARMAS

**Método de avaliação automatizada para simulador de realidade
virtual em treinamento de agentes de segurança**

São Paulo

2020

CLAUDIA DE ARMAS DE ARMAS

**Método de avaliação automatizada para simulador de realidade
virtual em treinamento de agentes de segurança**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Título de
Mestre em Ciências.

São Paulo
2020

CLAUDIA DE ARMAS DE ARMAS

**Método de avaliação automatizada para simulador de realidade
virtual em treinamento de agentes de segurança**

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Título de
Mestre em Ciências.

Área de Concentração:
Engenharia de Computação e
Sistemas Digitais.

Orientador:
Prof. Dr. Romero Tori

São Paulo
2020

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 26 de maio de 2020

Assinatura do autor:

Assinatura do orientador:

Catálogo-na-publicação

de Armas, Claudia

Método de avaliação automatizada para simulador de realidade virtual em treinamento de agentes de segurança / C. de Armas -- versão corr. -- São Paulo, 2020.
134 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais.

1.Realidade Virtual 2.Avaliação 3.Simulador de baixo custo
4.Kinect I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais
Il.t.

Dedicatoria

*A lo más grande que tengo, a quien le debo todo lo que soy, a mi gran orgullo y
mi vida... a mi madre*

AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente ao meu orientador Romero Tori, por me aceitar como sua aluna, pela paciência e dedicação, pela ajuda durante todo o mestrado, pela disponibilidade, respostas rápidas e pelas oportunidades que me brindou durante o caminho. Por sempre me corrigir, mas nunca me desmotivar. Estou infinitamente agradecida.

Ao professor Sergio Takeo Kofuji por me apoiar durante o processo, me ensinar e me formar para conseguir os meus objetivos.

Ao professor Valério Netto e Johnny Mascarenhas por providenciar todas as informações que eu precisei durante o processo e que foram muito importantes para o desenvolvimento da pesquisa.

Aos meus colegas do LSI, especialmente ao Douglas, pelo seu tempo dedicado, infinita paciência e grande amizade, sem dúvida foi parte importante neste processo.

Não posso deixar de agradecer ao Fernando pelas horas dedicadas para aperfeiçoar este trabalho, pela compreensão e pelo apoio infinito. Obrigada por me ajudar a ultrapassar os obstáculos com amor e paciência.

A minha família, especialmente a minha mãe pelo apoio incondicional, os conselhos, a formação e o grande amor. Meu irmão por estar sempre aí para mim.

Ao pessoal da Biblioteca da Escola Politécnica, especialmente à senhora Ana Maria Badiali por me auxiliar na revisão final do trabalho e me dar ótimos conselhos.

Aos meus amigos cubanos, por fazer meu tempo no Brasil muito feliz.

A FUSP, por me apoiar financeiramente neste processo difícil, sendo ainda mais complexo para os estrangeiros.

Por último, agradeço ao Brasil, à USP, por me acolher e me fazer sentir em casa.

RESUMO

ARMAS, Claudia A. **Método de avaliação automatizada para simulador de realidade virtual em treinamento de agentes de segurança.** 2020. 134p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Computação e Sistemas Digitais) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

Existe uma busca crescente de sistemas de treinamentos mais econômicos, seguros e confiáveis. Especificamente na área militar e de segurança no Brasil, a realização de treinamentos continuados resulta cara, pouco flexível e de difícil acesso, tornando o uso de simuladores de Realidade Virtual (RV) seja uma alternativa potencial para a realização de treinamentos econômicos e eficientes.

Embora existam diversas pesquisas desenvolvendo simuladores de RV de baixo custo, ainda não existem pesquisas voltadas ao desenvolvimento de simuladores de treinamento com um sistema completo de sensores para avaliar os principais parâmetros qualitativos necessários durante o treinamento. Também não existem pesquisas explicando os parâmetros comportamentais necessários para medir durante um treinamento com simulador. Visando-se preencher essas lacunas, foi concebida a proposta de um sistema de baixo custo, baseado em sensores, para capturar os dados dos treinandos durante a realização dos treinamentos com o uso do simulador de RV. Foi também desenvolvido e validado um módulo de reconhecimento de postura, com o uso de um sensor de profundidade (Kinect), para 6 posturas diferentes.

Durante o levantamento de parâmetros comportamentais foram identificados 6 procedimentos com indicadores de falhas, 5 parâmetros e 6 posturas a avaliar no sistema. Foram selecionados 5 sensores para compor o sistema. Para desenvolver o módulo de reconhecimento de posturas foram analisados e avaliados três tipos de classificadores diferentes SVM, KNN e RF baseados em aprendizado supervisionado, sendo selecionado pelos resultados do experimento o SVM, alcançando um 99,25 % de acurácia na classificação das posturas treinadas.

Palavras-chave: Realidade Virtual. Simulador de baixo custo. Avaliação. SVM. Kinect.

ABSTRACT

ARMAS, Claudia A. **Método de avaliação automatizada para simulador de realidade virtual em treinamento de agentes de segurança.** 2020. 134p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Computação e Sistemas Digitais) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

There has been a growing search for safer, more economic and reliable training systems. Specifically, in the military and security area in Brazil, conducting continuous training is expensive, not very flexible and difficult to access, making the use of Virtual Reality (VR) simulators a potential alternative for conducting economic and efficient training.

Although there has been a lot of research on developing low cost VR simulators, there is still no research aimed at developing training simulators with a complete sensor system to assess the main qualitative parameters needed during training. There is also no research explaining the behavioral parameters needed to measure during simulator training. In order to fill these gaps, the proposal is to design a low-cost system, based on sensors, to capture the trainees' data during training sessions using the VR simulator. Finally, a posture recognition module will be developed and validated, using a depth sensor (Kinect), for 6 different postures.

During the survey of behavioral parameters, 6 procedures were identified with failure indicators, 5 parameters and 6 postures to be evaluated in the system. Five sensors were selected to compose the system. In order to develop the posture recognition module, three types of different classifiers SVM, KNN and RF based on supervised learning were analyzed and evaluated. The SVM was selected from the results of the experiment, reaching a 99.25% accuracy in the classification of trained postures.

Keywords: Virtual Reality. Low cost simulator. Evaluation. SVM. Kinect.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2-1: Estilos de aprendizado de Felder e Silverman na RV.	25
Figura 2-2: Cone de aprendizagem Edgar Dale, 1969.	26
Figura 2-3: Acelerómetro lineal monitora 3 eixos.	28
Figura 2-4: Diferentes versões do aparelho da Microsoft.	30
Figura 2-5: Sensor de profundidade RealSense da Intel	31
Figura 2-6: Microswitch 6x6mm.....	31
Figura 2-7: Microsensor capacitivo.....	32
Figura 2-8: Diferentes tipos de sensores indutivos.	33
Figura 2-9: Sensor resistivo de pressão 1.5cm.	34
Figura 2-10: Formatos diferentes de sensores de batimento cardíaco	35
Figura 3-1: Uso progressivo da força.	41
Figura 3-2: Simulador VICTRIX da empresa Indra.	42
Figura 3-3: Simulador V-Range da empresa VirTra.	42
Figura 3-4: Simulador V-100 de VirTra.....	44
Figura 3-5: Simulador V-180 de VirTra.....	44
Figura 3-6: Simulador V-300 de VirTra.....	45
Figura 3-7: Simulador FATS L7 de Meggit Training System.....	46
Figura 3-8: Estrutura e componentes do simulador Dédalo.....	47
Figura 3-9: Simuladores da Federal Defender.....	48
Figura 3-10: Diferentes simuladores da Simulogica	49
Figura 3-11: Simuladores STAP 90 da EBTS.....	50
Figura 3-12: Simulador de tiro 360VIRTU.	50
Figura 3-13: Simulador SiJAT da empresa SINTRES.	51
Figura 3-14: Simulador de tiro da empresa AEL Sistemas.	52
Figura 3-15: Simulador TIS e seus diferentes cenários.	53
Figura 5-1: Sistema de dispositivos e sensores para sistemas de projeção de RV.....	73
Figura 5-2: Sistema de dispositivos e sensores para sistemas de óculos.	73
Figura 6-1: Guia de posturas para os experimentos.....	78
Figura 6-2: Capturas das posturas ‘erradas’ da classe 7 durante o experimento.	80
Figura 6-3: Imagens durante os experimentos	84

Figura 6-4: Captura dos pontos chaves do corpo durante a primeira parte do experimento.	84
Figura 6-5: Resultado dos testes dos classificadores SVM, KNN e RF com 20% das amostras.	85
Figura 6-6: Matrizes de confusão para cada classificador.	86
Figura 6-7: Resultados da validação do classificador.	89
Figura 6-8: Resultado dos testes dos classificadores SVM, KNN e RF com 30% das amostras.	90
Figura 1: Processo de Revisão Sistemática.	108
Figura 2: Estatísticas resultantes da revisão sistemática.	117
Figura 3: Classificação dos simuladores.	120
Figura 4: Sistemas de avaliação implementados.	121
Figura 5: Sistema de imersão.	121
Figura 6: Verificação de dispositivos conectados	129
Figura 7: Começar um novo projeto usando PyKinect.	130
Figura 8: Importações das bibliotecas necessárias para a captura de dados.	131
Figura 9: Função principal para capturar e salvar os dados no csv.	132
Figura 10: Importações das bibliotecas necessárias para o treinamento e classificação.	133
Figura 11: Definição de parâmetros e treinamento dos classificadores.	133
Figura 12: Função que retorna a postura classificada e a confiabilidade.	134
Figura 13: Função que realiza a classificação da postura e a confiabilidade.	134

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1 Prós e contras dos classificadores SVM, KNN e RF.	39
Tabela 3-1 Sensores utilizados na literatura.	58
Tabela 4-1 Descrição e imagem das posturas.	62
Tabela 4-2 Descrição e falhas dos parâmetros a avaliar durante o treinamento.	65
Tabela 5-1 Requisitos e propostas dos sensores ou atuadores.	68
Tabela 5-2 Viabilidade dos sensores propostos.	69
Tabela 5-3 Quadro resumo da proposta dos sensores com preços.	72
Tabela 6-1 Dados dos participantes enquanto idade, estatura, peso e gênero.	83
Tabela 6-2 Funções e variáveis utilizadas durante os treinamentos dos classificadores.	85
Tabela 6-3 Resultados de confiabilidade do processo de validação utilizando o SVM.	86
Tabela 6-4 Média das confiabilidades por postura.	90
Tabela 1. Bases de busca e as strings utilizadas.	107
Tabela 2. Resumo dos resultados da Revisão Sistemática nas fontes de busca.	108
Tabela 3. Lista dos 27 artigos selecionados.	110

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APROX	Aproximado
CG	Computação Gráfica
IBUSP	Instituto de Biociência da USP
KNN	K vizinhos mais próximos (<i>K-Nearest Neighbors</i>)
RF	Florestas Aleatórias (<i>Random Forest</i>)
RM	Realidade Misturada
RV	Realidade Virtual
StArt	<i>State of the Art through Systematic Review</i>
SVM	Máquina de vetores de suporte (<i>Support Vector Machine</i>)
TCLE	Termo de Consentimento livre e esclarecido
TIS	Treinamento Interativo de Segurança

SUMARIO

Capítulo 1	15
1 Introdução	15
1.1 Problema	17
1.2 Objetivos	18
1.3 Justificativa e Motivação	18
1.4 Metodologia	19
Capítulo 2	21
2 Fundamentação teórica	21
2.1 Realidade Virtual e Aumentada	21
2.1.1 Imersão	22
2.1.2 Presença	24
2.1.3 Realidade Virtual na educação e treinamento	24
2.2 Sensores	26
2.3 Classificadores	36
2.3.1 Vantagens e desvantagens	38
Capítulo 3	40
3 Simuladores de Realidade Virtual para o treinamento na área de segurança.	40
3.1 Simuladores de tiro	41
3.2 Simuladores de abordagem	43
3.3 Simuladores no Brasil	47
3.3.1 TIS	52
3.4 Simulação Virtual com tela de projeção. Requisitos	54
3.5 Simulação Virtual com óculos: Requisitos	56
3.6 Uso de sensores e classificadores na literatura	56
Capítulo 4	61
4 Levantamento de parâmetros e requisitos dos sensores	61
4.1 Estabelecimentos dos parâmetros de avaliação	61
4.2 Requisitos dos sensores	65
4.3 Avaliação Atual	66
Capítulo 5	68
5 Estudos de viabilidade e proposta final	68
5.1 Proposta de sensores	68
5.2 Análise de viabilidade	69

5.3	Sistema proposto	72
Capítulo 6		75
6	Experimento e desenvolvimento do módulo de postura.....	75
6.1	Comitê de ética	75
6.2	Hipótese.....	75
6.3	Objetivos	76
6.4	Metodologia Proposta	76
6.5	Materiais e métodos	79
6.6	Critérios de inclusão e exclusão	81
6.7	Riscos e benefícios	81
6.8	Roteiro	82
6.9	Resultados	82
6.10	Análise dos resultados	89
7	Conclusões e trabalhos futuros	92
Referências		94
Apêndice A – Revisão Sistemática Da Literatura		104
Apêndice B – Termo de consentimento livre e esclarecido		125
Apêndice C – Tutorial comunicação Kinect – Visual Studio.....		129
Apêndice D – Código para as capturas de coordenadas.....		131
Apêndice E – Código para os treinamento e testes dos classificadores		133

Capítulo 1

1 Introdução

Numerosos estudos mostram que a Tecnologia de Realidade Virtual (RV) é uma importante ferramenta para o ensino, principalmente pela sua capacidade de trazer retornos reais, críveis e imersivos para os estudantes. Aplicando essa ideia na área de segurança, a tecnologia virtual imersiva poderia trazer grandes benefícios para os treinamentos de hoje (NETTO, 2015). Desde o início do desenvolvimento da tecnologia de Computação Gráfica (CG), a RV tem sido usada para apoiar vários projetos de defesa do exército dos EUA e de vários países ao redor do mundo.

A utilização da Realidade Virtual estimula a memória motora e o engajamento do treinando, diminui os custos operacionais bem como minimiza o risco de acidentes, que podem acontecer durante os treinamentos reais, e o impacto ambiental resultante das atividades. Não só reduz os custos de logística e transporte, pois não há necessidade de grandes espaços para a alocação do treinamento, como também permite um treinamento mais personalizado na formação dos agentes de segurança (KOŹLAK; NAWRAT; KURZEJA, 2014).

As áreas militar e civil estão tendo muitos problemas para oferecer treinamentos continuados aos profissionais de segurança devido a custos de treinamento elevados, aluguel de stands de tiro, deslocamentos que exigem logística (transporte, alimentação, horas extras, entre outros), assim como capacitações extras dentro da própria empresa, aluguel de armas e munições (REIS; GONÇALVES; SANTOS, 2014). Em outras palavras, serviços que elevam os custos e tornam os treinamentos, muitas vezes, inviáveis financeiramente. Além disso, na maior parte dos casos, existem poucos instrutores capacitados disponíveis. Dessa maneira, os agentes acabam recebendo pouco treinamento e quando não se tem treinamento suficiente podem acontecer situações perigosas e erradas durante suas ações.

O uso de simuladores para os treinamentos visa evitar tais problemas, pela melhoria da capacitação dos agentes sem encarecimento do processo de

treinamento. Dadas as vantagens dessa abordagem, os simuladores estão evoluindo. Atualmente existem dois tipos de simuladores: simuladores de primeira geração (simuladores de tiros) e simuladores de segunda geração (simuladores de tiro e abordagem). Existem no mercado várias empresas que criam, desenvolvem e comercializam simuladores. A empresa francesa Meggitt Training Systems (2017), as empresas estadunidenses Dynamic Animation System (2017), Virtra (2018) e Ti Training (2017), a empresa espanhola Indra (2000), a empresa russa SCATT *Shooter Training System* (2018), e aqui no Brasil, a empresa Cientistas Associados trabalha com o simulador de abordagem da marca TIS (LEITE et al., 2012).

Cada simulador tem um objetivo particular. Os simuladores de primeira geração têm como objetivo principal o treinamento do tiro, mas o simulador de segunda geração tem como prioridade minimizar a utilização da arma de fogo como primeira alternativa. Este último permite treinar os profissionais com maior interação, estimulando ações como a movimentação do corpo, reação, treinamento do tom de voz, entre outros.

Foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura (Apêndice A – Revisão Sistemática da Literatura) e foi identificado que este tema é relevante e atual. Esses simuladores têm solucionado em parte a questão do treinamento, porém um dos principais problemas atuais é o sistema de avaliação, baseados apenas em indicadores quantitativos, como a precisão de tiro. Avaliações referentes ao comportamento ou aspectos qualitativos são aferidas pelo próprio instrutor, ou seja, dependem de intervenções humanas e subjetivas. Ainda é um desafio tornar o próprio sistema capaz de mensurar aspectos qualitativos. Se as avaliações comportamentais forem analisadas automaticamente pelo simulador, eliminam-se erros humanos e subjetividades que existem numa observação, aumentando-se a confiabilidade do processo. O foco principal dos estudos levantados são os simuladores de tiro, demonstrados em 52% dos artigos analisados. A maioria se concentra na criação de simuladores de baixo custo, devido aos altos preços de mercado. Além de ser o foco principal do total de artigos que falam do termo "baixo custo", 90% dos autores não explicam o que o termo significa. Este termo pode variar dependendo do país, do impacto do

projeto e das diferentes situações econômicas. Uma análise mais aprofundada seria apropriada para definir o "baixo custo" de um simulador de treinamento. Especialmente se aplicado na área de defesa e na área de segurança pública e privada.

1.1 Problema

No Brasil, segundo o ESSEG (Estúdio do Setor da Segurança Privada), (FENAVIST, 2016), o número de empresas que exercem a atividade de vigilância autorizadas pela Polícia Federal tem aumentado desde o ano de 2012 até o 2016 cerca de 12,12%, no entanto no mesmo ano de 2016 registrou uma queda de 0,8%. Registrou-se no ano de 2016 um total de 2561 empresas dedicadas à área da vigilância e em 2016 existiam cerca de 299 empresas de curso de formação de vigilantes em todo o país. Se comparado com 2012, houve um crescimento de 9,5% dessa atividade de formação de vigilantes.

Esse aumento propiciou um crescimento do número de vigilantes, os quais só recebem treinamento uma vez por ano, devido a custos altos para realizar tal atividade. Como consequência, segundo o Anuário Brasileiro de Segurança Pública 2016 (FÓRUM BRASILEIRO DE SEGURANÇA PÚBLICA, 2016), 358 polícias foram vítimas de homicídio no ano 2015.

Referente ao número de instrutores, no mesmo anuário, no ano de 2015 registrou-se um total de 1859 instrutores credenciados para um total de 483 mil vigilantes representando atividades de Vigilância e Segurança Privada e 60 mil em atividades de transporte de valores, para um total de 543 mil vigilantes. Em proporção, aproximadamente são 292 vigilantes por instrutor, demonstrando a existência de poucos instrutores para esses processos de formação de vigilantes e reciclagem.

Para tentar garantir segurança pública é vital o processo de treinamento, e um dos métodos encontrados para fazer treinamentos continuados de baixo custo é mediante o uso dos simuladores de Realidade Virtual. A empresa brasileira Cientistas Associados, que apoia esta pesquisa, desenvolveu o

simulador TIS de baixo custo de segunda geração para o treinamento continuado dedicado na área de segurança.

Este simulador, como os outros que existem no mercado, só avaliam indicadores objetivos, como a precisão de tiro. Os simuladores de segunda geração têm como objetivo treinar o uso progressivo da força para diminuir o número de mortes evitáveis. Ainda que o sistema consiga treinar a abordagem, para avaliar o desempenho dos treinandos continua necessária a intervenção de instrutores capacitados.

1.2 Objetivos

O principal objetivo desta pesquisa é propor um pacote de sensores de baixo custo, baseado no levantamento de requisitos com o fim de capturar os dados dos treinandos durante a realização dos treinamentos de tiro e abordagem com o uso do simulador de realidade virtual já existente para avaliação automatizada.

Como objetivo secundário foi desenvolvido e validado um módulo de reconhecimento de indicadores de postura, com o uso de um sensor de profundidade (Kinect, neste caso), para 6 posturas diferentes, com um alto percentual de confiabilidade (acima de 90%).

1.3 Justificativa e Motivação

A justificativa para o estudo é representada pela escassez de trabalhos relacionados a sistemas de avaliação qualitativa mediante o uso de simuladores de RV. Existem poucas pesquisas visando incorporar algum módulo de avaliação automatizada em arquiteturas de simuladores já existentes. As principais pesquisas centram-se no módulo de avaliação de posturas (WONG; WONG; LO, 2007), (OBDRZALEK et al., 2012), (HAN et al., 2013), (LEE et al., 2015), (KWON; KIM; LEE, 2016) e (KWON et al., 2017). Com os procedimentos adotados na Revisão Sistemática (Apêndice A), não foram encontradas pesquisas completas na área de segurança nem militar, desenvolvendo simuladores de treinamento com um sistema completo de sensores para avaliar os principais indicadores qualitativos necessários durante um treinamento. De

fato, só um 26% dos trabalhos envolvem simuladores imersivos, e só um 48% envolvem simuladores de abordagem. Também não foram achadas pesquisas relacionadas aos simuladores de treinamentos nessa área, explicando os parâmetros comportamentais que serão medidos durante um treinamento.

Com tal estudo será possível avançar em pesquisas e inovações visando-se aumentar a produtividade de simuladores de segurança de segunda geração, o que produzirá economia significativa em treinamentos e aumento da qualidade da formação de agentes.

Se a maioria das avaliações forem realizadas de forma automatizada pelo simulador, consegue-se treinar e avaliar um número maior de vigilantes. Além disso, diminuem-se os erros de observação e aumenta-se a confiabilidade do simulador.

Atualmente, tem aumentado o número de pesquisas nesse campo devido ao uso desses simuladores na área civil. Com a maior disponibilidade de hardware e software de RV a custos acessíveis, é previsto um aumento nas pesquisas e desenvolvimento de soluções, sendo este um tema relevante de pesquisa. Trata-se de uma pesquisa multidisciplinar, envolvendo conhecimentos de realidade virtual, sensoriamento, simulação e treinamento, com desafios relevantes e pouco explorados no campo da engenharia de computação.

1.4 Metodologia

Para atingir o primeiro objetivo proposto (“Conceber um sistema de baixo custo”) foi estabelecida a seguinte metodologia:

- Revisão bibliográfica na área de modelagem em processos de avaliação, simuladores para o treinamento na área da segurança, realidade virtual, simuladores de tiro e simuladores de abordagem.
- Revisão sistemática sobre o uso de Simuladores de Realidade Virtual para o treinamento na área de segurança.
- Familiarização com o sistema TIS e com a comunidade de vigilantes e instrutores. Participação em eventos e reuniões.

- Identificação dos indicadores que são avaliados durante o treinamento real.
- Identificação, por meio de levantamentos de requisitos e análise comparativa de alternativas, de mecanismos e sensores adequados para capturar os dados dos indicadores anteriores.
- Análise da literatura e dos sensores propostos.
- Levantamento de alternativas para identificação, de forma automática, dos indicadores.
- Seleção, entre as alternativas levantadas, da melhor proposta de um sistema de sensores modular.
- Proposta de um sistema viável modular, baseado em sensores

Para atingir o segundo objetivo proposto (“Desenvolver o módulo de reconhecimento de posturas”) foi estabelecida a seguinte metodologia:

- Pesquisa de abordagens, técnicas, e avaliação de desenvolvimento de reconhecimento de posturas com o uso de sensores de profundidade.
- Definição de posturas que serão avaliadas e elaboração da metodologia do experimento a ser realizado.
- Desenvolvimento do módulo de reconhecimento de posturas, com 6 posturas diferentes, mediante o uso de classificadores de *machine learning* supervisionados.
- Teste de três tipos de classificadores diferentes (SVM, KNN, RF) e seleção do de melhor resultado.
- Realização de experimentos para teste e validação do classificador.

Capítulo 2

2 Fundamentação teórica

Neste capítulo são revisados alguns conceitos fundamentais para o entendimento do que será apresentado a seguir. Inicialmente são abordados os conceitos de Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA) e sua importância na educação. Em seguida são abordados os conceitos de simulação e definidos os tipos de simuladores de RV para treinamento na área de segurança e os principais componentes que eles apresentam. Em seguida são abordados diferentes tipos de microssores de baixo custo, que foram pesquisados para estudos de alternativas para o monitoramento das posturas e movimentos dos treinandos na proposta de sistema do simulador. Finalmente, serão analisados diferentes tipos de algoritmos de classificadores baseados em aprendizado supervisionado estudados na bibliografia, com o objetivo de desenvolver o módulo de reconhecimento de posturas.

2.1 Realidade Virtual e Aumentada

O conceito de RV tem evoluído ao longo dos anos e recebido várias definições, dado que é uma das inovações de tecnologia de mídia mais significativas nos últimos tempos.

Desde os anos 50 surgiram dispositivos que propiciaram a imersão dos sentidos em ambientes tridimensionais., assim como na década de 1960 surgiu o primeiro capacete de RV. Mas foi apenas nos inícios de 1980 que o conceito de RV foi finalmente consolidado, por Jaron Lanier, que conseguiu afluir dois conceitos: simulações tradicionais feitas por computador, e simulações envolvendo múltiplos usuários num ambiente compartilhado (ARAUJO, BORGES; KIRNER, 1996).

Uma definição adotada por Tori, Kirner e Siscouto (2006), sintetiza os principais conceitos de RV que têm sido trabalhados há várias décadas por diversos autores. “A Realidade Virtual é uma interface avançada para aplicações computacionais, que permite ao usuário a movimentação (navegação) e

interação em tempo real, em um ambiente tridimensional, podendo fazer uso de dispositivos multissensoriais, para atuação ou feedback”.

Na visão da autora desta dissertação RV consiste numa imersão sensorial em um novo mundo, baseado em um entorno real ou não, que foi gerado artificialmente, e que podemos perceber graças aos dispositivos de imersão e interação. O objetivo dessa tecnologia é criar um mundo fictício no qual as pessoas possam se sentir imersas e com esse interagir como protagonistas.

O conceito de RA é definido por Azuma, Baillet e Behringer (2001) como um sistema que complementa o mundo real com objetos virtuais, gerados computacionalmente, de tal forma que aparentem coexistir no mesmo espaço do mundo real.

Para Tori, Kirner e Siscoutto (2006) a RA está inserida em um contexto mais amplo, denominado Realidade Misturada (RM). No entanto são termos comumente empregados de forma similar, predominando muitas vezes o uso do termo RA.

Quando falamos principalmente de RV, os conceitos de imersão e presença ganham uma grande relevância. A seguir são apresentados e discutidos esses conceitos no ambiente de RV para descrever sistemas imersivos ou não imersivos.

2.1.1 Imersão

O conceito de imersão está relacionado com os aspectos objetivos que propiciam ao usuário, quando imerso no ambiente virtual, a sensação de estar dentro desse ambiente. A identificação do nível de imersão propiciada pelo ambiente, é definida pelos dispositivos e software que transmitem ao usuário a sensação de estar no ambiente virtualizado, levando seus sentidos sensoriais e atenção para o que está acontecendo dentro desse espaço. Com isso isola-o do mundo exterior, permitindo-lhe manipular e explorar naturalmente os objetos ao invés de ser apenas um observador (RODRIGUES, 2013).

Segundo Slater e Wilbur (1997) “imersão” é o grau objetivo para o qual um sistema de RV e projetos de aplicação estimulam os receptores sensoriais de forma extensiva, compatível, envolvente, vívida, interativa e informativa.

Existem diversos fatores que influem na imersão apresentados por Jerald (2016):

Abrangência: Representada pela gama de modalidades sensoriais apresentadas aos usuários (por exemplo, modalidade visual, auditiva e física).

Combinação: é a congruência entre as modalidades sensoriais (por exemplo, apresentação visual apropriada correspondente ao movimento da cabeça e uma representação virtual do próprio corpo).

Envolvimento: é o grau em que os indicadores são panorâmicos (por exemplo, amplo campo de visão, áudio especializado, rastreamento em 360 °)

Vivacidade: é a qualidade da energia simulada (por exemplo, resolução, iluminação, taxa de quadros, taxa de bits de áudio).

Interatividade: é a capacidade do usuário de fazer alterações no mundo, a resposta de entidades virtuais às ações do usuário e a capacidade do usuário de influenciar eventos futuros.

Enredo (ou história, ou narrativa): está relacionado com o retrato consistente de uma mensagem ou experiência, a sequência dinâmica de acontecimentos e o comportamento do mundo.

A RV pode ser classificada, em função do senso de presença do usuário no ambiente virtual, em imersiva ou não imersiva. Segundo Netto et al. (2002) os sistemas de RV imersivos são conseguidos normalmente quando o usuário é transportado ao ambiente virtual mediante dispositivos multissensoriais, que capturam ações e reagem a elas, com o uso de capacetes e CAVE. Os sistemas com telas de projeção tanto em paredes, teto, piso, são considerados sistemas não imersivos.

Resumindo, A imersão é a tecnologia objetiva que tem o potencial de envolver os usuários na experiência. No entanto, a imersão é apenas parte da experiência da RV, pois leva um ser humano a perceber e interpretar os estímulos apresentados. Imersão pode levar a mente, mas não pode controlar a mente. Como o usuário experimenta subjetivamente a imersão é conhecido como presença (JERALD, 2016).

2.1.2 Presença

A presença, segundo Jerald (2016) é uma sensação de "estar lá" dentro de um espaço, mesmo quando se está fisicamente localizado em um local diferente. Como a presença é um estado psicológico interno e uma forma de comunicação visceral, é difícil descrever em palavras, somente pode ser entendida quando experimentada.

Enquanto o nível de imersão é caracterizado pelo lado objetivo de software e hardware, o nível de presença é difícil de identificar. Somente o sujeito envolvido pode descrever esse parâmetro, devido à subjetividade desse conceito, e cada pessoa pode experimentar um nível de presença diferente. Está relacionada a sentimentos e fatores psicológicos. Em geral são utilizados questionários para avaliar o nível de presença percebido pelo usuário em determinada experiência.

2.1.3 Realidade Virtual na educação e treinamento

Segundo Polanyi (1962), conhecemos o mundo de duas maneiras. Primeiro o conhecemos como resultado das interações diárias. Este tipo de conhecimento é direto, pessoal, subjetivo e tácito. Segundo, conhecemos o mundo como nós o descrevemos, ou seja, alguém nos descreve suas experiências e conhecimentos. Este conhecimento é indireto, coletivo, objetivo e explícito. Este tipo de conhecimento é sempre ensinado por alguém. As experiências aprendidas pelo primeiro tipo de conhecimento são denominadas “experiências em primeira pessoa”, enquanto as experiências do segundo tipo são denominadas “experiências em terceira pessoa”.

É comprovado que o aprendizado em primeira pessoa é mais efetivo e natural. Já o aprendizado em terceira pessoa pode converter o aluno em um ser receptivo-passivo, chegando a limitar seu aprendizado (OCETE, 2003).

Um estudo feito por Felder e Silverman (1988) demonstrou que existem diferentes estilos de aprendizado e definiu 5 estilos como os principais: sensoriais/intuitivos, visual/verbal, ativo/reflexivo, sequencial/global e indutivos/dedutivos. Estudos recentes definem só 4 grupos de estilos, demonstrando que os estilos indutivos/dedutivos se inserem nos demais estilos anteriormente citados (LEÓN; ESPÍN, 2014). A RV se adequa a todos os estilos de aprendizado (Figura 2-1), podendo ser utilizada para estimular qualquer um dos estilos.

Estilos de aprendizado		Realidade Virtual (RV)	
Sensoriais	Intuitivos	Aprender com os sentidos. Implica observar e recopilar dados. RV é altamente sensorial.	Aprender mediante a especulação, imaginação e a intuição.
Visual	Verbal	Aprender principalmente com o estímulo visual. A RV é altamente visual.	Aprender falando e escutando. Os sistemas moderados permitem integração pelo comando de voz.
Ativo	Reflexivo	Aprender mediante métodos ativos. A RV é altamente ativa e imersiva.	Aprender mediante a visualização e análises introspectivo das coisas. A RV permite pensar e raciocinar para atuar.
Sequencial	Global	Aprender mediante sequências lógicas. A RV permite apresentar o material numa sequência lógica para o aprendiz.	Aprender de forma segmentada. A RV permite fragmentar o conteúdo.

Figura 2-1: Estilos de aprendizado de Felder e Silverman na RV.

Fonte: Adaptado de León e Espín (2014)

Outro estudo que demonstra essa possibilidade foi feito por Edgar Dale (1969), ao indicar que a melhor forma de aprendizado ocorre a partir da representação daquilo que foi aprendido de forma real (Figura 2-2).

Cone de Aprendizagem		
Após duas semanas tendemos a lembrar		Natureza do envolvimento
90% do que falamos e fazemos	Fazendo a coisa real	Ativa
	Simulando a experiência real	
	Realizando uma apresentação dramática	
70% do que falamos	Palestrando	
	Participando em uma discussão	Passiva
50% do que ouvimos e vemos	Vendo algo ser feito no local	
	Assistindo uma demonstração	
	Participando de uma exposição	
	Assistindo um filme	
30% do que vemos	Olhando fotos	
20% do que ouvimos	Ouvindo palavras	
10% do que lemos	Lendo	

Figura 2-2: Cone de aprendizagem Edgar Dale, 1969.

Fonte: Lele (2013)

Tendo em conta esses estudos realizados pelos diferentes autores concluímos que a RV tem a capacidade de viabilizar todas as ferramentas necessárias para o aprendizado e o treinamento do aprendiz.

2.2 Sensores

Nesta seção vão ser estudadas algumas alternativas de sensores para o sistema do simulador. Esses sensores foram levantados a partir de um estudo da literatura aplicados em outras áreas.

Ao longo dos anos foram apresentados vários conceitos de sensores. Segundo Wendling (2010) sensor é um termo empregado para designar dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente, que pode ser luminosa, térmica, cinética ou outra, relacionando informações sobre uma grandeza física que precisa ser mensurada (medida), tais como: temperatura, pressão, velocidade, corrente, aceleração ou posição.

De forma mais geral, Patsko (2006) indica que na eletrônica, um sensor é conhecido como qualquer componente ou circuito eletrônico que permita a análise de uma determinada condição do ambiente, física ou química, podendo

ser algo simples, como temperatura ou luminosidade; uma medida um pouco mais complexa, como a rotação de um motor ou a distância de um carro até algum obstáculo próximo, ou até mesmo eventos distantes do nosso cotidiano, como a detecção de partículas subatômicas e radiações cósmicas.

A recente tecnologia de sensores nos permitiu medir precisamente o corpo humano. Por exemplo, sistemas de captura de movimento ótico (SILVA, 2009), plataforma de força (BARELA; DUARTE, 2011), goniômetro elétrico ou combinações desses sensores têm sido sugeridos como ferramentas de medição eficazes. No entanto, os custos desses sistemas geralmente são caros ou têm restrição de espaço (AN et al., 2012).

Microsensores, microtecnologia, microfabricação e tecnologia de circuitos integrados são termos-chave que continuam a dominar as discussões em todos os ramos de pesquisa e desenvolvimento de sensores. A microfabricação produz sensores, caracterizados por alta sensibilidade, tamanho pequeno, eletrônica e óptica integradas e baixo custo (EROGLU *et.al*, 1995). A filosofia básica da engenharia de microssistemas pode ser descrita usando o menor espaço possível para registrar dados, processá-los, avaliá-los e traduzi-los em ações. A característica especial dessa engenharia é a combinação de várias técnicas de miniaturização ou técnicas básicas.

Giroscópio é um sensor de velocidade angular que é comumente utilizado para medir a postura e o movimento humano. Geralmente é baseado no conceito da Força de Coriolis de dispositivos vibratórios. A força de Coriolis é uma força aparente que surge de um referencial giratório, é proporcional à taxa angular de rotação (SENTURIA, 1952).

Atualmente, os dispositivos giroscópicos são usados principalmente em objetos móveis, como telefones celulares, aviões, navios e submarinos, foguetes e satélites. Sua tarefa é navegar por esses objetos e sua orientação em relação ao referencial assumido, estabilizar o movimento de um objeto em relação a uma dada trajetória e controlar automaticamente esse movimento e estabilizar espacialmente os dispositivos localizados a bordo do objeto móvel

(AWREJCEWICZ; KORUBA, 2012). O giroscópio foi selecionado para analisar devido às suas características: tamanho reduzido e baixo custo.

Acelerômetro é um sensor que retorna valores de estimativa real de aceleração ao longo do eixo X, Y e Z de onde a velocidade e o deslocamento também podem ser estimados (Figura 2-3). Os acelerômetros podem ser utilizados como detectores de movimento, bem como para a posição corporal e detecção de postura (TROIANO et al., 2008), (FOERSTER; SMEJA; FAHRENBERG, 1999).

Especificamente o acelerômetro triaxial, validado por Hansson et.al (2001), pode demonstrar o potencial dele para aplicações clínicas. Neste artigo informam a descoberta de que o erro angular de um sistema acelerômetro triaxial é de $1,3^\circ$, a reprodutibilidade é de $0,2^\circ$, e o ruído angular inerente é de $0,04^\circ$, sendo que sua operação é independente da orientação do dispositivo. Em vista desses erros pequenos, pode ser um dispositivo potencial para detectar postura, ou posições de objetos (WONG; WONG; LO, 2007).

Conforme previsto por Ravi et al. (2005), os avanços na miniaturização permitem que os acelerômetros sejam incorporados em pulseiras e cintos, e enviem dados sem fio para um dispositivo de computação móvel que possa usar os sinais para fazer inferências.

Figura 2-3: Acelerômetro lineal monitora 3 eixos.

Fonte: RAVI et al. (2005)

Giroscópio e Acelerômetro é uma combinação concebida a fim de coletar mais informações ao mesmo tempo formando um novo sistema de medição. Wun e Ladin (1996) introduziram o uso de um sensor cinético integrado composto por giroscópios e acelerômetros de frequência e múltiplos marcadores opto-eletrônicos no estudo de transitórios cinemáticos em locomoção e mostraram que acelerômetros e sensores de taxa angular aumentaram a

precisão na determinação do centro de aceleração de massa em aplicações clínicas.

Giansanti et al. (2003) demonstraram que arquiteturas com acelerômetros únicos não permitem uma reconstrução precisa das trajetórias, mas no (2005), realizaram um experimento com 3 conjuntos diferentes de sensores cinemáticos mistos com acelerômetros e giroscópio. O primeiro conjunto foi representado por 6 acelerômetros, o segundo por 9 acelerômetros e o terceiro foi baseado em 3 giroscópios e 3 acelerômetros. Os resultados do experimento mostraram a viabilidade da reconstrução da trajetória com a montagem de 3 giroscópios e 3 acelerômetros para os atos de locomoção de curta duração e a não viabilidade para as demais montagens.

Jovanov et al. (2009) criaram um sistema de monitoramento de postura em tempo real de baixo custo utilizando um sistema de sensores inerciais. O módulo era composto de um acelerômetro triaxial e um giroscópio biaxial. Como resultado a média do erro das medições foram de 2.35° e o desvio padrão de 1.99° . Qi An et al. (2012) avaliaram o desempenho de um sistema proposto de sensor giroscópio e acelerômetro de baixo custo com um Sistema de Captura Ótica de Movimento, sendo que este último é muito preciso, mas muito custoso. Os resultados foram muito vantajosos para o sistema proposto. As medições realizadas resultaram com um nível de correlação entre ambos sistemas superior ao 0.90. Isto significa que ambos os sistemas tiveram um comportamento e resultados similares.

Sensor de profundidade consegue identificar pontos no espaço e suas coordenadas X, Y e Z (profundidade). Em geral utiliza luz infravermelha estruturada para o seu funcionamento. A fonte de luz infravermelha projeta um padrão de pontos na cena que é lido por um sensor infravermelho monocromático. O sensor detecta os segmentos dos pontos refletidos e estima a profundidade com base em sua intensidade e distorção (EDUARDO et al., 2014).

O sensor Kinect é um exemplo de um sensor de profundidade comercial. Chegou ao mercado no ano 2010 como um projeto da Microsoft para seu console

de videogame Xbox 360 para revolucionar as pesquisas relacionadas com a percepção tridimensional do entorno, devido a seus inúmeros benefícios e seu baixo custo. Funciona como uma webcam que se conecta via USB e é equipado com microfone para conversar com o console (PIZZOL; SANTA, 2014). Até a data só tem duas versões do aparelho, a segunda versão foi lançada no ano 2013 para o Xbox One (Figura 2-4). O Kinect foi descontinuado pela Microsoft no ano 2010, mas há outras alternativas no mercado como o RealSense da Intel (Figura 2-5). Atualmente o sensor Kinect continua sendo utilizado em pesquisas, principalmente para a interação da fala, movimentação, reação, entre outros.

O hardware do Kinect contém uma câmera RGB normal, um sensor de profundidade e uma matriz de quatro microfones, que são capazes de fornecer sinais de profundidade, imagens RGB e sinais de áudio simultaneamente.

O elemento chave do funcionamento do Kinect é o sensor de profundidade. Baseia-se em duas câmeras infravermelhas que realizam um mapeamento de profundidade. O alcance do sensor, segundo as especificações do produto, é desde 1.2m até 3.5m, assim como incapacidade de leitura entre 0 metro e 0,8 metros, sendo um campo cego.

Possui uma ferramenta *Skeleton tracker* que consegue extrair pontos chaves do corpo humano. Cada ponto tem 3 valores representando as 3 coordenadas (x;y;z) , sendo no total 20 pontos, sendo que cada vetor tem 60 dimensões.

(a) Kinect Sensor Xbox360

(b) Xbox One.

Figura 2-4: Diferentes versões do aparelho da Microsoft.

Fonte: "Xbox" (2017)

Figura 2-5: Sensor de profundidade RealSense da Intel

Fonte: Tecnologia Intel RealSense (2018)

Micro interruptor (micro switch) são chamados também chaves fim-de-curso e são utilizados para detectar a abertura ou fechamento da porta e a presença de um objeto em um determinado local (Figura 2-6). É um dos sensores mais utilizados em diferentes áreas, aeroespacial, defesa, industrial, educacional e médica ("MICRO SWITCH Basic Switches Line Guide", 2009). Na área médica, os micro interruptores são considerados ferramentas críticas de acesso, meios pelos quais as pessoas podem ativar brinquedos, som e luz, ou outras fontes de estimulação (LANCIONI et al., 2001).

Sua função é abrir ou fechar o circuito entre o conector pino ou terra e os pinos ou conectores "fase", quando o botão é ativado. Ou seja, esses pinos se conectam entre si, dependendo de estar ou não ativado o botão. Existem diversos tipos e tamanhos.

Figura 2-6: Microswitch 6x6mm.

Fonte: Hokuriku (2007)

Este é um sensor de tipo mecânico, e de forma geral têm como principal desvantagem o fato de ter peças móveis sujeitas a quebra e desgaste, além da inércia natural que limita sua velocidade de ação (WENDLING, 2010).

Sensor de proximidade capacitivo é um sensor ativo de presença projetado para operar gerando um campo eletrostático e detectando mudanças nesse campo causadas por algum objeto que se aproxima do sensor (Figura 2-7). Sensores desse tipo são compostos de uma ponta capacitiva, oscilador, um retificador de sinal, um circuito de filtragem e um circuito de saída.

Figura 2-7: Microsensor capacitivo.

Fonte: “Omni” (2017)

Na ausência de um objeto, o oscilador está inativo. Quando um objeto se aproxima, ele aumenta a capacitância do circuito da ponta capacitiva. Uma vez que a capacitância atinge um determinado valor, o oscilador é ativado, acionando assim o circuito de saída e fazendo com que seu estado seja comutado (MAZZAROPPI et al., 2007).

Com as características acima mencionadas, atualmente existe uma grande variedade de aplicações que utilizam sensores capacitivos, de forma discreta ou integrada. Por exemplo, são comuns os sensores capacitivos de pressão, de aceleração, de fluxo de gases ou líquidos, de umidade, de compostos químicos como o monóxido de carbono, dióxido de carbono, de temperatura, de vácuo, de nível de líquidos, de força, de deslocamento (EIHARA; SILVA; SANTOS, 2015).

Ao contrário de alguns sensores de pressão táteis do tipo resistivo ou piezorresistivo, sensores baseados em propriedades capacitivas não apresentam desgaste interno significativo quando sujeitos a uma carga, apresentando melhor repetibilidade comparativamente com outras soluções (TAVARES, 2014).

Sensor indutivo de proximidade é um sensor ativo de presença capaz de detectar a aproximação de um objeto metálico sem a necessidade de contato físico entre sensor e o acionador (EIHARA; SILVA; SANTOS, 2015). Consistem de um núcleo de ferrite envolvido por uma bobina, um oscilador, um circuito de disparo de sinais de comando e um circuito de saída (MAZZAROPPI et al., 2007).

Esses sensores (Figura 2-8) não precisam de energia mecânica para operar, funcionando com altas velocidades de comutação, e são imunes a vibração e choques mecânicos (WENDLING, 2010).

a) Sensor indutivo de plástico
b) Sensor indutivo de metal

Figura 2-8: Diferentes tipos de sensores indutivos.
Fonte: “Omron” (2018)

O acionamento ocorre sem que haja o contato físico entre o acionador e o sensor, aumentando com isso a vida útil do sensor.

Sensores de pressão resistivos são constituídos por duas camadas de um substrato de película de poliéster (Figura 2-9). Em cada uma das camadas é depositado um material condutor, seguida de uma camada de tinta sensível à pressão com a forma correspondente à zona de contato do sensor.

O funcionamento do sensor envolve a medição da variação da resistência elétrica entre as duas camadas de material condutor quando a zona de contato é sujeita a uma carga. Quando o sensor não se encontra solicitado, apresenta uma elevada resistência elétrica, que vai decrescendo com o aumento da força exercida no sensor (TAVARES, 2014). Os sensores resistivos apresentam uma grande derivada temporal.

Figura 2-9: Sensor resistivo de pressão 1.5cm.

Fonte: “Tekscan” (2017)

Sensor infravermelho detecta a radiação emitida pelos materiais quentes e a transforma em um sinal elétrico. Sensores infravermelhos são especialmente projetados para a detecção, classificação e posicionamento de objetos; a detecção de formas, cores e diferenças de superfície, mesmo sob condições ambientais extremas. Este componente pode ter a aparência de um LED normal, com a diferença de que a luz emitida por ele não é visível ao olho humano, só podendo ser percebida por outros dispositivos eletrônicos.

É comumente utilizado nos simuladores de tiro para capturar disparo no alvo/ tela. No simulador de tiro, um apontador laser é anexado à arma para substituir as balas. Quando um atirador dispara o apontador laser para o alvo, um sistema de câmera detecta a presença do ponto de laser no alvo e calcula a pontuação de tiro (SOETEDJO et al., 2013).

Microfone é um tipo particular de sensor de pressão de sistemas microeletromecânico projetado para converter sinais acústicos em saída elétrica. A tecnologia de MEMS (Microelectromechanical Systems) é uma abordagem atraente para dispositivos em miniatura de produção em massa, por exemplo, aplicações de aparelhos auditivos. Os diafragmas de microfones, ou membranas, devem ser altamente sensíveis, apresentar comportamento dinâmico adequado e ser embalados de modo a permanecerem insensíveis a pressões estáticas (BEEBY, ENSELL, KRAFT, 2013). Diferentes designs de membrana foram simulados e fabricados. A diferença entre os tipos de microfones é tipicamente baseada na tecnologia de sensoriamento usada para detectar os deslocamentos da membrana: microfones capacitivos, microfones piezorresistivo e piezoelétrico.

São utilizados amplamente na área de Internet das Coisas, em casas inteligentes utilizando receptores acústicos como controle remoto (HOFLINGER et al., 2014), também o uso do microfone do smartphone para aplicações médicas, como suporte à detecção de queda (ALMEIDA; AGUILAR, 2016).

Os conjuntos de microfones demonstraram ter alta precisão de posicionamento e têm o potencial de identificar e localizar uma ampla variedade de sons. No entanto, elas exigem instalações relativamente estáticas de microfones de precisão, conectadas a placas de som multicanais e processadas por sistemas de computação de alta capacidade (GUO; HAZAS, 2011).

Sensor de batimento cardíaco mede a variação da frequência dos batimentos cardíacos por minuto. Esse dispositivo capta o sinal que vem do corpo, amplifica, filtra e exibe através de um conversor analógico/digital (ADC) e então, envia ao computador através de uma interface. Atualmente existem no mercado diferentes modelos destes sensores como se observa na Figura 2-10.

- (a) Sensor de pressão na extremidade do dedo.
- (b) Sensor de antebraço.
- (c) Relógio com monitor cardíaco Polar.
- (d) Transmissor cardíaco Polar H10

Figura 2-10: Formatos diferentes de sensores de batimento cardíaco

Fonte: Ivanqui (2005); Edwin Robotics (2017); “Polar” (2018).

O ritmo dos batimentos cardíacos está associado ao estado emocional em que os indivíduos se encontram, portanto, batimentos acelerados são associados à ansiedade, assim como batimentos muito lentos podem ser associados à depressão (SILVA et al., 2007). Há diversas pesquisas utilizando sensores de batimento cardíaco com diferentes aplicações. Essas pesquisas estudadas apresentaram principalmente os seguintes objetivos: Analisar o

comportamento da frequência cardíaca em indivíduos imersos em diferentes temperaturas de água na posição vertical, neste caso utilizam o sensor da marca Polar, modelo Beat, sem fio (MULLER et al., 2001); determinação automática da ansiedade por detecção computadorizada de sinais biológicos (SILVA et al., 2007); desenvolvimento de um controlador aplicado a esteira eletrônica, em que as características e limitações físicas de cada usuários fossem respeitadas e consideradas pelo sistema desenvolvido que seleciona automaticamente os parâmetros de controle e funcionamento da esteira, assegurando que o ritmo cardíaco mantenha-se dentro da faixa que trará maiores benefícios aos usuários (IVANQUI, 2005); monitorização cardíaca para fetos (LIMA; ARÊDES; BARBOSA, 2003); na área esportiva, monitorização de provas de educação física (SOUSA, 2009); ou simplesmente para o monitoramento de sinais fisiológicos (CRUZ et al., 2016).

2.3 Classificadores

Nesta seção serão apresentados diferentes algoritmos de classificação mediante aprendizado supervisionado, identificados na seção 3.6 de estudo da literatura.

Support Vector Machine (SVM)

É um método de classificação de dados lineares e não lineares mediante métodos de aprendizado supervisionado. Ele funciona usando um mapeamento não linear para transformar os dados de treinamento originais em uma dimensão mais alta. Dentro dessa nova dimensão, ele procura o hiperplano de separação linear ideal. Com um mapeamento não linear apropriado para uma dimensão suficientemente alta, os dados de duas classes sempre podem ser separados por um hiperplano. O SVM encontra esse hiperplano usando vetores de suporte (tuplas de treinamento "essenciais") e margens (definidas pelos vetores de suporte) (AGARWAL, 2014). Funciona muito bem em domínios complicados, em que existe uma clara margem de separação.

Os dados podem ser linearmente separados ou não, no caso que seja possível é utilizada uma função linear, fundamentalmente utilizado para duas

classes. Para os casos não lineares são utilizadas as funções *Kernel*. Estas funções são utilizadas principalmente em situações que envolvem mais de duas classes (multiclasses). Os tipos podem ser Polinomial, Gaussiano e Sigmoidal.

No trabalho Introdução as Máquinas de Vetores Suporte (LORENA, 2003), a autora explica detalhadamente as equações utilizadas para cada tipo de função.

K-Nearest Neighbors (KNN)

A tradução do algoritmo é K vizinhos mais próximos. Ele é um método de aprendizagem baseado em instâncias mais próximas assumindo que todas as instâncias correspondem a pontos em um espaço n-dimensional. Os 'vizinhos mais próximos' de uma instância são definidos em termos da distância Euclidiana, baseado no teorema de Pitágoras (SILVA, 2017).

A seleção do valor dos vizinhos 'K', ajuda no correto desempenho do classificador, sendo que valores de K muito pequenos pode deixar as classificações sensíveis a pontos de ruído, e sendo K muito grande, a vizinhança pode incluir elementos de outras classes.

Para definir a classe final é realizada uma votação. Por exemplo com K=5 e duas classes (A e B), Classe A ficou com 2 votos e a Classe B com 3, o resultado final será que o dado introduzido pertence a Classe B. Recomenda-se sempre escolher um valor ímpar para K, para evitar empates na votação.

É usado para classificar objetos com base em exemplos de treinamento que estão mais próximos no espaço de características. No trabalho de teses de Carlos Andrés Ferrero (2009), ele detalha o processo de classificação utilizando o algoritmo de KNN no nível teórico e computacional, explicando o uso das equações e exemplos de uso.

Random Forest

Conhecido como *Random Forest* (Florestas Aleatórias) é uma variação do algoritmo Árvore de decisão. Este algoritmo de mineração de dados é baseado

em árvores de decisão, mas prossegue crescendo muitas árvores, que é uma floresta de árvores de decisão. Florestas Aleatórias nos permitem fazer divisões binárias em nossos dados que criam segmentações ou subgrupos aplicando uma série de regras ou critérios simples repetidamente, que escolhem as variáveis que melhor preveem a nossa variável alvo. Este algoritmo gera várias árvores de decisão, cada um com suas particularidades e combina o resultado da classificação de todos eles. Essa combinação de modelos, o torna um algoritmo muito mais poderoso do que a própria árvore de decisão. O treinamento é realizado usando um meta-algoritmo chamado *bagging* para melhorar a classificação e a regressão de modelo tendo como referência a estabilidade e a precisão. A utilização deste meta-algoritmo ajuda reduzir a variância e a evitar o *over-fitting* (LOPES et al., 2017). Este último é quando o modelo se ajusta muito bem aos dados observados, mas é ineficaz para prever novos resultados.

Existem diversos parâmetros que são modificados segundo o cenário a classificar como explicado no manual da biblioteca Sklearn (“Scikit-learn 0.22.1 documentation”, 2019). Um deles é o *n_estimators* que representa o número de estimadores, nesse caso árvores de decisões, que serão utilizadas pelo *Random Forest*. O *max_depth* representa a profundidade máxima da árvore.

2.3.1 Vantagens e desvantagens

Para resumir de forma clara as vantagens e desvantagens de cada um destes classificadores, foi criada a Tabela 2-1, baseada nas referências estudadas.

Tabela 2-1 Prós e contras dos classificadores SVM, KNN e RF.

Classificador	Prós	Contras
SVM	<ul style="list-style-type: none"> -Consegue lidar bem com grandes conjuntos de dados - O processo de classificação é rápido - Trata bem dados de alta dimensão 	<ul style="list-style-type: none"> -Não funciona bem em conjunto de dados com grande quantidade de ruídos -O tempo de treinamento pode ser bem longo -Necessário definir um bom <i>Kernel</i>
KNN	<ul style="list-style-type: none"> -Algoritmo de classificação mais simples, sendo de fácil implementação. -Flexível -Bem aplicado pode apresentar ótimos resultados 	<ul style="list-style-type: none"> - Classificar um exemplo desconhecido pode ser um processo computacionalmente complexo. Requer um cálculo de distância para cada exemplo de treinamento. - A precisão da classificação pode ser severamente degradada pela presença de ruído ou características irrelevantes. -O tempo de treinamento pode ser bem longo se o conjunto é muito grande.
<i>Random Forest</i>	<ul style="list-style-type: none"> -Lida com grande volume de dados. -Algoritmo fácil e acessível pois seus hiperparâmetros com valores default geralmente produzem um bom resultado de predição - Baixa probabilidade de <i>overfitting</i>. - Rápidos para treinar 	<ul style="list-style-type: none"> - Uma quantidade grande de árvores pode tornar o algoritmo lento e ineficiente para predições em tempo real - Muito lento para fazer predições depois de treinados

Fonte: Autor

Capítulo 3

3 Simuladores de Realidade Virtual para o treinamento na área de segurança.

A realidade virtual já tem sido utilizada em diferentes setores, demonstrando sua importância e utilidade para as práticas e treinamentos simulados, trazendo muitos benefícios e avanços para a humanidade em geral. Por exemplo, na área da medicina, os especialistas praticam com simuladores para fazer uma cirurgia. Na aviação, os pilotos treinam constantemente para garantir uma qualidade do serviço e a proteção dos passageiros. No campo militar e de segurança, é possível realizar um bom serviço com um treinamento contínuo e sistemático, para melhorar as habilidades já aprendidas e desenvolvê-las. Mesmo com a tecnologia de hoje, não se pode substituir completamente a experiência de combate ao vivo ou de atividades militares. Mas onde as atuais práticas de treinamento, como tiro ao alvo, são poucas, devido aos altos custos de treinamentos, os ambientes virtuais podem preencher a lacuna (STONE, 2011).

Na área de segurança, uma atitude inadequada do profissional pode gerar uma repercussão negativa perante os clientes e a sociedade. Essas ocorrências de erros na abordagem podem ser suscetíveis a ações judiciais de reparação. Estão acontecendo muitos acidentes, em que vigilantes ou policiais agredem ou disparam em cidadãos e uma das causas pode ser a falta de treinamento correto do procedimento de atuação. Os simuladores de abordagem têm como principal objetivo o uso progressivo da força (Figura 3-1), ou seja, o disparo de arma de fogo fica como última opção (NETTO, 2016).

Agressão letal	Disparo de arma de fogo
	Uso dissuasivo de arma de fogo
Agressão não letal	Táticas defensivas não letais
Resistência ativa	Controle físico
Resistência passiva (Agressão verbal)	Controle de contato e verbal
Cooperativo ou baixa resistência	Verbalização
Normalidade	Presença física
	Observação
Cidadão	Agente de segurança

Figura 3-1: Uso progressivo da força.

Fonte: Lele (2013)

Baseados nos argumentos anteriores, são desenvolvidos simuladores para treinamentos na área de segurança ao redor do mundo e no Brasil. Na sequência, são analisados os principais simuladores comerciais que existem ao redor do mundo, suas características, funções e alcances.

3.1 Simuladores de tiro

O simulador de tiro VICTRIX (Figura 3-2) da empresa Indra, é especificamente para o treinamento militar com fuzil de uso restrito das forças armadas. Possui diversos parâmetros configuráveis, como o tipo de alvo, a distância de tiro, iluminação e a meteorologia, podendo também gerar personagem aliados, neutros e/ou hostis. Os treinamentos podem ser individuais ou em grupo, gerando relatórios ao final do treino para avaliar o desempenho dos alunos. O simulador tem um sistema de projeção de alta resolução e um som *surround* que aumenta a imersão dos treinandos e uma melhor localização das ameaças do ambiente. Possui ainda um sistema de gravação e reprodução que monitora os alunos durante o treino. Este simulador emprega um modelo balístico que calcula a trajetória do projétil dependendo do vento, a orografia, a distância do alvo e o calibre da arma utilizada, proporcionando a máxima precisão do valor calculado do disparo. Como vantagem, estes simuladores permitem ser modificados e atualizados de forma rápida e simples, sem

demandar conhecimentos informáticos avançados (Empresa Indra, 2000). Este simulador é utilizado pelas Forças Armadas Espanholas para os treinamentos militares (BRAOJOS, 2012).

Figura 3-2: Simulador VICTRIX da empresa Indra.

Fonte: Lele (2013).

Os simuladores V da empresa VirTra (2018) se classificam segundo seus ângulos de visão, os quais variam entre 1 e 5 telas. O simulador V-range (Figura 3-3) é o simulador de tiro que esta empresa oferece. Foi desenhado para praticar pontaria, dividindo-se em diferentes cabines, cada uma para um usuário. O V-Range tem as imagens muito nítidas com mais de 2 milhões de pixels por pista de tiro simulada.

Figura 3-3: Simulador V-Range da empresa VirTra.

Fonte: Empresa VirTra (2018)

3.2 Simuladores de abordagem

Da Empresa VirTra (2018) , existem simuladores de abordagem que variam dependendo do número de telas. O simulador da Virtra pode treinar até quatro indivíduos simultaneamente. A versão analisada oferece aproximadamente 70 tipos de situações para que os oficiais de treinamento se aproximem de suspeitos em diferentes ambientes, como bares e armazéns. A maioria das situações usa sequências de vídeo, que são misturadas adequadamente para exibir uma resposta coerente às ações dos treinandos.

O sistema pode expor o estagiário, por exemplo, a uma situação em que um indivíduo se aproxima dele de uma maneira ameaçadora, e o aluno tem que tomar uma decisão rápida de se deve ou não atirar no suspeito. Se um tiro é disparado, o suspeito cai no chão, senão, o agressor pode ser mostrado disparando contra o estagiário, terminando uma sequência de vídeo interativo.

Apesar do uso intensivo de sequências de vídeo reais, algumas situações usam capacidades tridimensionais de computação gráfica (CG3D). Isto pode ser notado particularmente em simulações específicas de estandes de tiro abertos em que alvos e distâncias diferentes são exibidos nas telas da CAVE, a fim de observar quão rápida e precisamente são realizados os disparos (LEITE et al., 2012).

O V-100 (Figura 3-6) é um simulador de uma tela, utilizado para praticar tiro e capacidade de reação antes situações cotidianas, permitindo também o treinamento em equipe.

Figura 3-4: Simulador V-100 de VirTra.

Fonte: Empresa VirTra (2018)

O V-180 é um simulador de três telas, as quais propiciam um ângulo de visão de 180 graus, permitindo também o treinamento em equipe, limitado ao tamanho da plataforma que contém as telas (Figura 3-7).

Figura 3-5: Simulador V-180 de VirTra.

Fonte: Empresa VirTra (2018)

O simulador V-300 tem as mesmas características do que o simulador V-180, só que são agregadas mais duas telas para uma visão de 300 graus (Figura 3-8). Requer uma instalação de 13m de largura e 13m de profundidade para poder realizar os treinamentos. Também conta com dispositivos adicionais como lanterna, *spray* e arma de choque (FERREIRO, 2016).

O simulador permite o treinamento simulado de até quatro indivíduos. O uso de várias telas e alto-falantes ajuda o participante a distinguir claramente a origem de eventos específicos. Assim, o estímulo de percepção espacial (visual

e auditiva) é essencial para a correta análise da resposta do vigilante. O uso de armas reais, acionadas por gás comprimido, contribui muito para manter o realismo da simulação. O registro audiovisual do treinamento, com posterior reprodução de eventos, é um recurso chave para a análise de condutas reais dos participantes. A geração e apresentação de relatórios instantâneos fornecem informações importantes sobre o treinamento de tiro correto (LEITE et al., 2012).

Figura 3-6: Simulador V-300 de VirTra.

Fonte: Empresa VirTra (2018)

A empresa Meggit Training System (2017) tem o simulador chamado FATS L7 (Figura 3-4), o qual consiste em um projetor de vídeo que exibe vídeos gravados com personagens reais simulando diferentes situações de perigo. Os vídeos são projetados sobre uma tela, podendo suportar treinamento simultâneo de até 8 armas controladas. Podem-se gravar outros cenários e instalá-los no simulador. Esse simulador traz também a opção lanterna, que possibilita o treinamento noturno ou treinamento em áreas escuras onde uma fonte de iluminação se faz necessária. Com essa opção, os treinandos ganham experiência na gestão de uma arma de fogo e lanterna simultaneamente. Várias lanternas podem ser usadas simultaneamente quando treinando em grupos.

Figura 3-7: Simulador FATS L7 de Meggit Training System.

Fonte: Empresa Meggit Training System (2017)

O *spray* químico da Meggitt é outra opção que tem a mesma aparência, sensação e função que a sua contrapartida de pulverização ao vivo. Um dispositivo a laser instalado na lata de *spray* dispara um pulso de luz laser invisível que mostra o sistema de simulação onde o *spray* foi apontado. Isso permite uma revisão precisa e rastreável, após a ação, pelo instrutor para avaliar o desempenho do estagiário. O *spray* requer manutenção mínima e vem com uma bateria de longa duração para uso contínuo em cenários de treinamento.

O Dédalo da empresa Indra (Figura 3-5), é um simulador de abordagem para treinamento de intervenções dentro de uma casa. O instrutor redistribui o espaço da sala tática através de um sistema móvel que lhe permite mover-se e mudar os painéis do quarto para gerar um novo exercício ou cenário, de forma rápida e fácil. O instrutor pode decidir o posicionamento de vários elementos e controlá-los remotamente a partir do ponto de verificação. Este quarto recria um cenário para treinar procedimentos operacionais e executar movimentos preparatórios para tais ações. O instrutor apresenta um cenário e uma estratégia, em seguida alunos entram na sala e executam o exercício proposto. O exercício é gravado para posterior análise. Dentre os principais componentes do simulador encontram-se os painéis móveis, o sistema de gravação, o gladius (dispositivo de fogo hostil), efeitos luminosos, máquina de fumaça e os coletes táticos. (RUIZ, 2012)

Figura 3-8: Estrutura e componentes do simulador Dédalo.

Fonte: Ruiz (2012)

3.3 Simuladores no Brasil

Na bibliografia, há poucas referências sobre simuladores no Brasil, que é um mercado muito fechado, cujas pesquisas, em geral, são desenvolvidas de forma não pública. As informações foram levantadas a partir de páginas web das próprias empresas, notícias sobre os simuladores em revistas e jornais e consultas a profissionais da área.

Existem várias empresas que comercializam simuladores no Brasil, dentre as quais encontram-se Cientistas Associados, Federal Defender, Simulógica, Empresa Brasileira de Treinamento e Simulação (EBTS), 360VIRTU, SINTRES, AEL Sistemas.

Federal Defender é uma empresa brasileira fundada no ano de 1998 especializada no treinamento de forças policiais e de segurança. Esta empresa desenvolve simuladores de tiro produzidos em parceria com a Polícia Militar de Santa Catarina (PMSC). A Federal Defender lançou a primeira unidade móvel na América (Figura 3-9) com três simuladores de tiro simultâneos embarcados, possibilitando o treinamento de até doze atiradores simultâneos (“Federal Defender”, 2017).

(a)

(a) Unidade Móvel da Federal Defender

(b)

(b) Stand de tiro da Unidade Móvel.

Figura 3-9: Simuladores da Federal Defender

Fonte: Federal Defender (2017)

Simulógica – Simulações Computacionais e Sistemas (“Simulógica”, 2018) é uma empresa fundada no ano de 2010 que desenvolve e comercializa o simIR - Sistema Interativo de Treinamento Policial e de Segurança, que auxilia no treinamento, capacitação e reciclagem de profissionais de segurança, sejam eles da área de segurança pública ou privada. A empresa possui diferentes módulos de simuladores do sistema simIR. A diferença principal entre elas está no número de telas e projetores.

SimIR 100 é composto por uma tela de projeção de 150 polegadas, projetor multimídia, servidor, sensor simIRVision e kit laser com ou sem simulação de recuo para adaptação do armamento real. SimIR 180 (Figura 3-10a) é composto por 3 telas de projeção de 150 polegadas, 3 projetores multimídia de tiro curto (short throw), 2 servidores, 3 sensores simIRVision e kits laser com a possibilidade de incorporar sistema de recuo para adaptação do armamento real. SimIR 300 é composto de 5 telas e SimIR 360 é um hexágono fechado com 6 telas de projeção. O simulador simIR-BOX (Figura 3-10b) é exclusivo para treinamento de estande de tiro, precisando de pouco espaço para ser instalado.

O simulador conta com um sistema de recebimento de impacto. Este sistema tem forma de colete e possui sensores distribuídos na frente e atrás para distinguir a localização dos disparos.

(a)

(a) Simulador simIR 180

(b)

(b) Simulador simIR-BOX

Figura 3-10: Diferentes simuladores da Simulogica

Fonte: Simulogica (2018)

A Empresa Brasileira de treinamento e simulação (2017), fundada no ano 2009, oferece soluções em simuladores para a formação e aperfeiçoamento de profissionais de defesa, segurança e tiro esportivo. Comercializa vários tipos de simuladores, para a área militar, segurança policial ou vigilantes, tiro esportivo, simuladores de viaturas policiais, simuladores de viaturas de classe J ou ambulâncias. Os simuladores de viaturas de classe J está composto por diferentes tipos de simuladores desde a classe J1 até J7, sendo cada classe um tipo de veículo diferente. As tecnologias utilizadas para o desenvolvimento do simulador é 100% nacional.

Os tipos de simuladores que comercializam para treinamento na área da segurança são o STAP 90 (Figura 3-11a e 3-11b), STAP 180 e STAP 360. No caso de STAP 90 sua característica principal é a montagem e a desmontagem rápidas, podendo ser deslocado com facilidade. Esses simuladores são usados para treinamento de tiro básico, que podem simular ambientes internos e externos, com diferentes condições climáticas e com alvos em movimento ou em transição, incluindo o uso da lanterna. Esses simuladores estimulam o raciocínio rápido, treinam a tomada de decisão, o uso progressivo da força, o tiro instintivo e o gerenciamento de crise, assim como o emprego de armas menos letais como taser e spray de pimenta.

(a)

(a) Simulador STAP 90 num simulado interior

(b)

(b) Simulador STAP 90 num simulado exterior

Figura 3-11: Simuladores STAP 90 da EBTS

Fonte: EBTS (2017)

360VIRTU (2017) é uma empresa brasileira que cria sistemas para treinamento de tiro para policiais, profissionais de segurança e atiradores, que podem ser utilizados em casa, no local de trabalho ou em qualquer outro ambiente. O seu principal produto é o simulador de tiro 360VIRTU para ser utilizado com qualquer tipo de tela, sendo um sistema portátil. O sistema é composto por sensor 360VIRTU, ponteiro laser (colimador com botão acoplado ao gatilho) e software IPSC (International Practical Shooting Confederation) v.1.1 e NRA (National Rifle Association) na versão beta (Figura 3-12).

Figura 3-12: Simulador de tiro 360VIRTU.

Fonte: 360VIRTU (2017)

SINTRES (Sistema Integrado de Treinamento Real e Simulado) ("Sintres", 2018) é uma empresa brasileira que desenvolve simuladores incorporando o

virtual e o real num mesmo ambiente. Realizam treinamentos para defesa, segurança pública e segurança privada, tanto em ambiente real como virtual.

O principal simulador que comercializam é o SiJAT (Simulador de Julgamento, Ação e Tiro) que é um simulador que reproduz cenas com atores reais simulando diferentes situações para treinar áreas específicas como Abordagem de veículos, check points, discussões e brigas domiciliares, distúrbio da paz, entre outras (Figura 3-13). O sistema possui som digital *surround* e imagem digital de alta definição 1080p. O simulador oferece a opção de treinar com Taser, gás, spray de pimenta e com situações de diferente luminosidade forçando o uso da lanterna. O sistema reconhece um total de 18 armas diferentes ou 18 pessoas numa mesma sessão.

Figura 3-13: Simulador SiJAT da empresa SINTRES.

Fonte: Sintres (2018)

AEL Sistemas (2017), é uma empresa brasileira fundada em 1982, subsidiária da Elbit Systems dedicada ao projeto, desenvolvimento, fabricação, suporte logístico e manutenção de setores de defesa, espaço e segurança pública. Um dos focos da empresa contempla opções de treinamento para os segmentos terrestre, aéreo, naval e segurança pública. Na área de segurança pública possui diferentes simuladores de treinamento: Simulação Viva, Simulador de Viaturas, Simulador de Tiro (Figura 3-14) e Simulador HLS. Cada um desses simuladores possui um objetivo diferente, sendo o primeiro para o treinamento em ambientes reais, através de sensores e emissores *lasers* para equipar o soldado e suas armas, permitindo o treinamento de combate força contra força. O simulador de tiro como os outros já mencionados, só avalia o acerto do disparo, e treina o tempo de reação.

Figura 3-14: Simulador de tiro da empresa AEL Sistemas.

Fonte: AEL Sistemas (2017)

3.3.1 TIS

O simulador TIS começou a ser desenvolvido no ano 2003 como uma proposta do projeto do PIPE (Programa Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas) da FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo). O simulador pertence à empresa Cientistas Associados que foi criada no ano 2003 com o fim de desenvolver o projeto PIPE (OLIVEIRA, 2016).

O simulador TIS (Figura 3-15) é um sistema projetado para promover o treinamento dos profissionais da área de segurança por meio de um simulador interativo baseado em reconhecimento de voz e de movimentos corporais, cenários 3D e disparo de *laser* com arma de fogo real.

O sistema tem vários aspectos de relevância para esta pesquisa:

1. **Integração:** Sistema de gestão de treinamento integrado com o simulador, permitindo ter vários sistemas espalhados por locais conectados em um mesmo servidor de dados. Isto permite gerar histórico de treinamento de cada usuário
2. **Sistema dinâmico:** Podem ser acrescentados módulos de gestão de dados adicionais como, por exemplo, informações de *biofeedback*, gravação de imagens do atirador, dispositivo de disparo *paintball*, entre outros, além de novos cenários 3D e novos *skill drills* conforme o interesse do cliente (geração de conteúdo).

3. **Tecnologia de baixo custo:** Sistema tem preço competitivo pois foi desenvolvido para ser modular e permitir customizações de acordo com as necessidades pontuais do cliente.
4. **Interatividade por verbalização:** Permite associar nos cenários 3D, dois tipos de interação. A verbalização em português e os disparos de laser com a arma de fogo real.
5. **Interatividade por movimento:** Captura de movimentos transporta os profissionais para uma realidade ainda mais próxima do cotidiano.
6. **Tecnologia nacional:** Produto desenvolvido no Brasil para popularizar a tecnologia de interatividade. Dessa forma é possível desenvolver os conteúdos dos cenários 3D conforme as especificações e necessidades do cliente.
7. **Espaço:** Sistema pode ser montado em um espaço reduzido além de não ter necessidade de ser escuro o local do treinamento.
8. **Conteúdo:** Estão incluídos no pacote básico de treinamento, 13 módulos: 10 *skill drills*, 1 stand de tiro virtual e 2 cenários 3D. O sistema permite geração de relatórios referentes a prática de cada usuário em cada módulo, além da possibilidade de cruzar os dados com informações padrões para avaliação continuada do profissional. Os bastões de laser permitem a utilização de todos os calibres de revólveres e pistolas (.357, .38, 9mm, 10mm, .40, .44, .45, etc.).

Figura 3-15: Simulador TIS e seus diferentes cenários.

Fonte: Empresa Cientistas (2016)

3.4 Simulação Virtual com tela de projeção. Requisitos

No contexto deste trabalho, os simuladores virtuais com telas de projeção são utilizados principalmente para treinar precisão do tiro, interação da fala, e alguns abordagem.

Nesta sessão pretende-se mencionar os principais requerimentos dos simuladores com tela de projeção. Foram identificados requisitos de hardware e software e serão explicados a continuação (LI, 2009; BHAGAT; LIOU; CHANG, 2016; PINHEIRO et al., 2016)

Hardware

1. O *laser* que é o emissor de luz anexado a uma arma;
2. O *ambiente controlado*, onde as fontes emissoras de infravermelho são controladas;
3. A *arma real adaptada* para comportar o laser que seja compatível com o simulador;
4. O *sistema de recuo* para realizar o deslocamento do ferrolho após um disparo;
5. A *câmera* que é o receptor que captura posições dos tiros;
6. As *telas de projeção* que recebem as projeções do projetor multimídia de alta resolução;
7. O *sistema de som* para proporcionar imersão e computadores robustos com placas de vídeo dedicadas.

Para os simuladores de abordagem é necessário um dispositivo sem fio para transmissão de voz - microfone sem fio; sensor utilizado no dispositivo de reconhecimento de movimento.

Adicionais ou opcionais

Dispositivo de fogo hostil que simula os disparos dos agressores: os efeitos luminosos os quais permitem gerar diversos ambientes; máquina de fumaça para ambientes e cenários que precisam para aumentar o nível de imersão; coletes

táticos; lanterna que permite a prática nos cenários noturnos; spray químico para praticar o emprego deste equipamento; sensores de entrada biológica.

Software

1. *O estande de tiro fechado ou aberto* é a parte do sistema que simula o estande de tiro.
2. *Simulação com vídeo* é a parte do sistema que utiliza vídeos que retratam situações reais de campo;
3. *O calibrador do laser* faz o mapeamento e o reconhecimento da posição dos disparos;
4. *O cadastro de atiradores* é a parte do sistema que irá cadastrar todas as informações referentes aos atiradores; geração de desempenho mostram gráficos e dados do desempenho dos atiradores;
5. *O cadastro de vídeos* que é a parte do sistema que fornece ferramentas para adicionar vídeos à simulação; as informações de manuseio que mostra a forma como o atirador está usando a arma;
6. *Configuração das simulações* que configura os parâmetros das simulações;
7. *Integração por módulos* que permite que dois ou mais módulos dos simuladores sejam integrados;
8. *A quantidade de atiradores* que é a quantidade máxima de atiradores nas simulações simultaneamente;
9. *O tempo de operação do laser* para o sistema capturar a posição;
10. *A disponibilidade do servidor* 24 horas por dia, 7 dias por semana.

Para os simuladores de abordagem é necessário o dispositivo de verbalização (comando de voz) que permite um treinamento onde ocorre um envolvimento psicológico maior com a ação. O uso da conduta verbal causa envolvimento e imersão do usuário, passando uma sensação maior de realidade para situação que estiver sendo apresentada pelo simulador. O software do sistema simulador com comando de voz é acoplado no computador multimídia e é o componente que controla todo o sistema.

O reconhecimento de movimento é controlado por um software que irá detectar determinadas movimentações do corpo do usuário.

3.5 Simulação Virtual com óculos: Requisitos

No contexto deste trabalho são poucas pesquisas encontradas utilizando sistemas de óculos de RV para o treinamento nesta área. De forma geral, o sistema de óculos é utilizado para treinar a tomada de decisão em um ambiente imersivo. Os treinamentos mais frequentes são cenários com a possibilidade de interagir mediante a voz, o olhar e a movimentação da cabeça, e podem ser treinadas elementos como a memória visual, procedimentos mediante a fala.

Requisitos de hardware para desenvolver estes ambientes:

1. Óculos ou capacete
2. Sistema de som

Como componentes opcionais pode-se incluir dispositivos hápticos e de interação como luvas de dados, dispositivos de rastreamento ou sensores de entrada biológica.

Requisitos de software para desenvolver estes ambientes:

1. Estrutura de comunicação
2. Simulação com vídeo ou computação gráfica
3. Sistema de calibração
4. O cadastro de atiradores
5. Configuração das simulações

3.6 Uso de sensores e classificadores na literatura

O desafio de automatizar processos utilizando sensores está presente em várias áreas. Wai Yin Wong et al. (2007) realizaram uma pesquisa na área médica das aplicações dos sensores para análises de posturas humanas e movimentações. Vários trabalhos têm utilizado diferentes sensores para identificar posturas. Entre os sensores mais utilizados estão presentes acelerômetro, giroscópio, sensor flex (sensor angular flexível), sistema de

rastreamento eletromagnético e tecido sensor. Estes sensores foram encontrados em várias aplicações clínicas, incluindo as análises de atividades física geral, marcha, postura, movimento de tronco e membros superiores. Como resultado desta pesquisa, o sensor mais utilizado é o acelerômetro, com um maior número de aplicações.

Neste trabalho são exemplificadas algumas aplicações de medições e são analisadas as limitações dos sensores. Com base nos resultados desta pesquisa, são analisadas as limitações dos sensores que serão propostos para o sistema do simulador.

Han et al.(2013) realizaram uma análise do sensor de profundidade Kinect baseado nas possibilidades de reconhecimento e rastreio de objetos, análises de atividades humanas, análises de gestos da mão e do mapeamento 3D interno. São apresentados vários estudos realizados para avaliar o desempenho do sensor. Diversos autores realizaram experimentos para medir a profundidade em termos de resolução e precisão. Outros experimentos são centrados no desempenho do algoritmo de rastreamento do esqueleto.

Um dos artigos analisados foi elaborado por Obdrzalek et al. (2012). Neste artigo é comparada a estimativa de pose do Kinect (esqueletização) com técnicas mais estabelecidas para estimar a pose a partir de dados de captura de movimento, examinando a precisão da localização conjunta e a robustez da estimativa de posicionamento em relação a orientação e oclusões. O Kinect foi comparado com o sistema PhaseSpace e o Motion Builder. Foram avaliados seis exercícios físicos e com os resultados alcançados os autores acreditam que o sistema Kinect tem um potencial significativo como uma alternativa de baixo custo para captura de movimento em tempo real e rastreamento do corpo em aplicações da saúde.

Focadas na área militar, outras pesquisas, mediante o uso do Kinect, ODT (Omni-directional Treadmill), e ferramentas de classificação, conseguem obter um alto percentual de precisão na determinação das posturas e ações humanas. Neste contexto, Kwon, nos anos de 2016 e 2017, utilizou seis Kinect espalhados de forma radial, com 60 graus de separação para o processo de captura das

ações. São capturados os pontos utilizando os dados do *skeleton*, criando um *data set* que será classificado. Para a classificação utilizaram a técnica de aprendizado de máquina *Support Vector Machines* (SVM). No ano 2016, foram classificadas 19 ações por quatro sujeitos, tendo uma precisão média de 91,85% (KWON; KIM; LEE, 2016). No entanto, no ano 2017, foi realizado o experimento com 15 pessoas classificando 25 ações militares (KWON et al., 2017). Foram realizados dois tipos de classificações: por ação e por *frame*. O melhor resultado foi na classificação por ação, pontuando 21fps com uma precisão de 96.5%.

Um estudo similar foi realizado por Lee (2015), utilizando os sensores de profundidade e inerciais do Kinect para estimar informações cinemáticas do corpo do treinando para estimar os parâmetros de controle para o hardware ODT. Neste trabalho realizaram um experimento com 6 sensores Kinect, uma ODT utilizando para os testes diferentes velocidades. Como resultado do experimento sugerem duas abordagens de obter os parâmetros de controle para o ODT.

Na Tabela 3-1 é apresentado o levantamento dos sensores utilizados na literatura estudada. Também se apresenta a funcionalidade do sensor durante a pesquisa.

Tabela 3-1 Sensores utilizados na literatura.

Proposta de sensores	Usos em pesquisas relacionadas	Referencias
Giroscópio	Detecção postura e cinemática	(TONG; GRANAT, 1999)(FREITAS; PEREIRA; SILVA, 2012)
Acelerômetro	Detecção de movimentos, postura e reconhecimento de atividades. Na maioria dos casos é utilizado o sensor triaxial.	(RAVI et al., 2005)(TROIANO et al., 2008)(BOUTEN et al., 1997)(FOERSTER; SMEJA; FAHRENBERG, 1999) (WARD et al., 2005)(HANSSON et al., 2001)(KARANTONIS et al., 2006) (GIANSANTI et al., 2003)
Giroscópio e acelerômetro	Medição de cinemática e monitoramento de posição. Pode ser montado em uma caixa retangular de 20x20x30mm.	(WU; LADIN, 1996)(GIANSANTI; MACCIONI, 2005)(MAYAGOITIA; NENE; VELTINK, 2002) (JOVANOV et al., 2009)(AN et al., 2012)(LUINGE; VELTINK, 2005)
Microfone	Internet das Coisas, Casas inteligentes, Educação. Utilizam técnicas de aprendizado para localizar e identificar diferentes tipos de sons.	(HOFLINGER et al., 2014)(ALMEIDA; AGUILAR, 2016)(GUO; HAZAS, 2011)

Sensor de profundidade	Fala, movimentação e postura, reconhecimento de objetos, reconhecimento de emoções. A maioria dos estudos analisados utilizam a versão 1 do Kinect.	(HAN et al., 2013)(OBDZALEK et al., 2012)(KWON; KIM; LEE, 2016) (KWON et al., 2017)
Sensor de batimento cardíaco	Monitor cardíaco, de sinais fisiológicas e determinação de ansiedade. Área esportiva. São utilizados conjuntamente com sensores que mensuram frequência de respiração, resposta galvânica da pele e a temperatura.	(MULLER et al., 2001)(SILVA et al., 2007)(IVANQUI, 2005) (LIMA; ARÊDES; BARBOSA, 2003)(SOUSA, 2009)(CRUZ et al., 2016)
Micro switch	Melhorar a condição geral de pessoas com deficiências múltiplas e profundas.	(LANCIONI et al., 2001)
Sensor resistivo	Monitorizar a força exercida sobre um objeto.	(TAVARES, 2014)
Sensor capacitivo de proximidade	Detectar materiais (diversos). Identificação de movimento e presença. Tipo de sensor que não apresenta desgaste interno significativo	(EIHARA; SILVA; SANTOS, 2015)(MAZZAROPPI et al., 2007)(CAVALCANTE, 2005)
Sensor indutivo de proximidade	Detectar material (metal). Não apresenta desgaste interno significativo	(EIHARA; SILVA; SANTOS, 2015)(MAZZAROPPI et al., 2007)(WENDLING, 2010)
Sensor laser (infravermelho)	Substituir o projétil.	(SOETEDJO et al., 2013)

Fonte: Autor

Para o desenvolvimento do módulo de reconhecimento de posturas foi necessário fazer um levantamento dos diferentes classificadores utilizados na literatura que utilizaram o sensor de profundidade para a identificação de posturas. Foram estudados um total de 9 artigos, resumidos na Tabela 3-2.

Os dados levantados são relevantes para o planejamento do experimento e para a seleção dos classificadores, sendo que foram avaliados os classificadores: SVM, KNN e Random Forest.

Tabela 3-2 Levantamento sobre os classificadores na literatura.

Referência	Total de pessoas	Quantidade de posturas	Amostra/postura/pessoa	Total de amostras/postura	Classificador(es)	Recognition Rate
(LE; NGUYEN; NGUYEN, 2013)	5	4	3	15	SVM	72,71% - 100%
(KWON; KIM; LEE, 2016)	4	19	9-10	40	SVM	91,85%
(SAHA; GHOSH; KONAR, 2013)	10	5	-	-	SVM	86,8%
(SAHA et al., 2015)	-	24	-	-	KNN	90,63%
(ZHANG; DU; LI, 2012)	30	6	50	1500	Random Forest SVM Naive Bayes	80,69% 67,33% 56,33%
(CHOUBIK; MAHMOUDI, 2016)	1	18	100	100	SVM ANN KNN Bayes	99,99% 99,96% 99,97% 99,69%
(PATSADU; NUKOOLKIT; WATANAPA, 2012)	6	3	600	3600	SVM Decision Tree Naive Bayes	99,75% 93,19% 81,94%
(KWON et al., 2017)	30	25	20	600	SVM	93,56%
(NGUYEN; LE, 2015)	30	12	-	-	SVM RVM	92,7% 93,6%

Fonte: Autor

Capítulo 4

4 Levantamento de parâmetros e requisitos dos sensores

Nesta seção vai se discutir os parâmetros necessários para avaliar o treinamento e os requisitos dos sensores para capturar os parâmetros estabelecidos. Também será descrito como é realizado o treinamento hoje na segurança pública e privada para poder analisá-lo e compará-lo, em capítulos posteriores, com o sistema proposto.

4.1 Estabelecimentos dos parâmetros de avaliação

Para poder avaliar os aspectos importantes durante o processo de treinamento, é importante conhecer os parâmetros necessários para avaliar se o treinando está qualificado ou não para exercer suas funções.

Um dos parâmetros a avaliar são as posturas. A tabela 4-1 descreve as posturas que serão avaliadas com o uso do simulador. O levantamento das posturas e dos parâmetros foi realizado com ajuda do especialista Johnny Mascarenhas de Queirós, com mais de 24 anos de experiência na área de segurança pública, é professor universitário de Gestão de segurança privada, além de Especialista de gerenciamento de Crises pelo FBI (do inglês, Federal Bureau Of Investigation). Ele compilou várias posturas, parâmetros e procedimentos das seguintes fontes (“Manual do Vigilante — Polícia Federal”, 2017), (“Cartilha de Armamento e Tiro — Polícia Federal”, 2017) concluindo com um total de 6 posturas, 6 procedimentos e 5 parâmetros. Essas não são as únicas posturas utilizadas na área de segurança, mas foram selecionadas para a prova de conceito, e possivelmente com outras posturas a proposta também funcionaria.

Tabela 4-1 Descrição e imagem das posturas.

Postura	Descrição	Imagem
Postura 0	Deverá se posicionar de frente para o alvo, no local destinado para o início do exercício, mantendo os pés paralelos e os braços relaxados e ligeiramente estendidos ao longo do corpo.
Postura 1	Dá-se um passo à frente com a perna fraca, ao mesmo tempo em que se leva a mão também fraca na altura do abdome, empunhando-se a arma com a mão forte, sem retirá-la do coldre.
Postura 2	Saca-se a arma do coldre e, imediatamente, sem levá-la à frente, posiciona-se a mesma em um ângulo de 45°, ao lado do abdome. Nessa postura é possível realizar o chamado “tiro de entrevista”, que se caracteriza pelo disparo de emergência para cessar a eventual agressão, logo que a arma sai do coldre, onde não há tempo para o policial terminar a empunhadura e ir até a postura 4.
Postura 3	Leva-se a arma à frente do abdome, em um ângulo de 45°, completando a empunhadura com a mão fraca. A arma deve ficar junto ao corpo e o dedo acionador do gatilho deve ficar sempre ao longo da armação.
Postura 4	Leva-se a arma à frente dos olhos, apontando-se a mesma em direção ao alvo. O dedo indicador é colocado na tecla do gatilho durante a transição da postura 3 para a postura 4. Vale lembrar que não é a cabeça que se posiciona na altura da arma, e sim a arma que se posiciona na altura da cabeça.

Postura 5	Entrega-se a arma ao instrutor descarregada e com o tambor aberto. O cano da arma deve estar direcionado para o chão. Este procedimento pode ser realizado com qualquer mão.
-----------	--	---

Fonte: Autor

Foram levantados um total de 6 procedimentos e os parâmetros referentes às falhas do procedimento enumerados a seguir:

1. **Preparação:** Mediante ordem, preparar a arma para entrar em serviço, colocando-o no coldre, pronto para ser usado (carregado, cão desarmado).

Parâmetros de Falha

- Preparar o armamento sem ordem;
- Recarregar a arma de forma não correta; (virando o cano da arma para outra direção que não seja a área de perigo)
- Deixar cair os cartuchos;
- Colocar a arma no coldre sem o devido carregamento, não estando pronto para ser utilizado
- Perder o contato visual com a área de perigo.

2. **Proteção:** Mediante ordem, sacar a arma e colocar-se em proteção, com rapidez, em condições de efetuar os disparos determinados, utilizando as posturas 0, 1, 2, 3 e 4.

Parâmetros de Falha

- Sacar a arma sem ordem;
- Não ter controle do armamento e de forma muito devagar;
- Não realizar os disparos determinados.
- Postura errada

3. **Carregamento:** Atuar com a arma sempre carregada, utilizando a postura 4.

Parâmetros de Falha

- Após efetuar disparos levar o armamento para o coldre sem realizar o carregamento devido.
 - Postura errada
4. **Deslocamento:** Conduzir a arma corretamente, e com o cano na direção do perigo, utilizando a postura 4.

Parâmetros de Falha

- O atirador deverá realizar o deslocamento com o tambor aberto e sem cartuchos;
 - Postura errada.
5. **Contato Visual:** Manter constante contato visual com a área de perigo, utilizando as posturas 0, 1, 2, 3 e 4.

Parâmetros de Falha

- O atirador durante a utilização do simulador por distração deixa de focar a área de perigo.
6. **Devolução:** Mediante ordem, retirar a arma do coldre, descarregá-la com segurança, entregando-o ao professor, como se o estivesse entregando na reserva de armas, ou a outro companheiro, utilizando a postura 5.

Parâmetros de Falha

- Retirar arma do coldre sem ordem;
- Descarregar a arma sem atentar às regras de segurança apresentadas na “Cartilha de Armamento e Tiro — Polícia Federal (2017);
- Entregar a arma ao professor com o cano da arma voltado na direção do professor com o tambor fechado (sendo revolver);
- Postura errada.

Além dos 6 procedimentos anteriores também serão avaliados os seguintes 5 parâmetros apresentados na Tabela 4-2.

Tabela 4-2 Descrição e falhas dos parâmetros a avaliar durante o treinamento.

Parâmetro	Descrição	Falha
Controle Emocional	Apresentar descontrole emocional	<ul style="list-style-type: none"> • Aluno ou o profissional de segurança inquieto; • Aluno ou o profissional de segurança gesticulando muito com medo de ter a arma na mão; • Aluno ou o profissional de segurança tremendo de forma descontrolada.
Obstáculos	Equipamentos individuais do aluno atrapalhando sua atuação na pista	<ul style="list-style-type: none"> • Colete e óculos de proteção atrapalhando; • Munições reservas na mão.
Não execução	Não executar o exercício proposto por não seguir o procedimento determinado do exercício.	<ul style="list-style-type: none"> • Existência de alvos para ser atingidos e não tem mais munições
Derrubar a arma	Deixar cair a arma para o chão por descuido ou mal procedimento.	<ul style="list-style-type: none"> • Deixar a arma cair no chão
Tiro acidental	Provocar tiro acidental	<ul style="list-style-type: none"> • Provocar acidente de tiro

Fonte: Autor

4.2 Requisitos dos sensores

De forma geral, os sensores necessários para capturar os dados dos parâmetros mencionados acima são:

- **Sensor de arma:** Permite avaliar se a arma está carregada ou não, se foi carregada no momento indicado (mediante a ordem), se caiu ou foi abandonada durante o treinamento. Também pode-se seguir a posição da arma e verificar se está apontando à área de perigo.
- **Sensor do gatilho:** Permite reconhecer se o dedo está no gatilho da arma.
- **Sensor de coldre:** Permite verificar se a arma está ou não no coldre. Pode-se verificar se a arma foi sacada ou não mediante a ordem.
- **Sensor de gestos e posturas:** Permite detectar as posturas erradas e reconhecer diferentes falhas como a condução da arma

- **Sensor de emoções:** Tem a finalidade de detectar descontrolo emocional. Podem ser capturados o ritmo cardíaco, a frequência respiratória, a resposta galvânica da pele e a temperatura corporal.
- **Sensor de tiro:** Permite avaliar os disparos realizados, assim como se o alvo é atingido ou não.
- **Sensor de posição:** Permite avaliar a posição do treinando, assim como sua direção. Este sensor também poderia medir uma situação de medo sob a situação, tendo em conta se o treinando se afastar ou se aproximar ao perigo.

O principal requisito não funcional dos sensores escolhidos para avaliação, é que sejam de baixo custo. Adicionalmente seria conveniente no sistema final, que o maior número de sensores não esteja acoplado ao treinando. A priori seria melhor a utilização de dispositivos como câmeras ou sensores sem fio para capturar os dados necessários, a fim de não atrapalhar o treinamento.

4.3 Avaliação Atual

Para o desenvolvimento da seção foi necessário fazer uma entrevista com o especialista em gerenciamento de crises Johnny Mascarenhas de Queirós para conseguir identificar como é realizada a avaliação hoje na segurança pública e privada. O fato de conhecer como são realizados os treinamentos e as avaliações nos permite criar um método mais eficiente com apoio da tecnologia para complementar o papel dos instrutores.

Para entender o processo foram realizadas várias perguntas sendo respondidas e apresentadas a continuação:

1. Quantos Treinamentos aproximadamente são realizados?

“Os treinamentos são realizados conforme o interesse de cada segmento da segurança: Na SEGURANÇA PRIVADA para que os colaboradores possam atuar dentro da legalidade serão submetidos a cada 02 (dois) anos uma reciclagem onde terão carga de treinamento aproximado de 50 horas e sendo 10 horas de armamento e tiro. Na SEGURANÇA PÚBLICA para que os

colaboradores possam atuar dentro da legalidade serão submetidos a cada 01 (hum) ano uma reciclagem onde terão carga de treinamento aproximado de 50 horas e sendo 12 horas de armamento e tiro”

2. Qual o valor total aproximado para realizar um treinamento?

Despesa	Custo aproximado em Reais (R\$)	Comentários
Deslocamento	R\$ 1,25 reais por quilometro rodado	Depende da distância onde será realizado o treinamento
Instrutor	R\$ 30,00 hora aula	
Armas e munições	R\$ 30 cada arma R\$ 7 cada munição	Se precisar alugar, caso contrário as empresas utilizam as armas e munições próprias
Aluguel de Stand de tiro	R\$ 70,00	
Alimentação	R\$ 80,00	O valor é referente ao instrutor. A alimentação do aluno é por conta dele.

3. Como é realizado o treinamento hoje?

“O roteiro do treinamento consiste na realização de quatro ensaios: Realização de ensaios de posições sem a utilização de armas; realização de ensaios de posições com a utilização de armas; realização de ensaios de posições com a utilização de armas sem munições; realização de ensaios de posições com a utilização de armas com munições”

“Cada instrutor avalia na média de 5 alunos por vez em um stand de tiro utilizando formulários de avaliação. Nestes formulários são avaliados os acertos de tiros e posições. É identificado se o aluno é qualificado ou requalificado através da quantidade de acertos. No total cada instrutor deve avaliar a todos os alunos de uma sala que são aproximadamente 40”

Capítulo 5

5 Estudos de viabilidade e proposta final

Nesta seção vai se discutir os sensores potenciais para capturar os parâmetros estabelecidos. Também vai se realizar uma análise dos sensores e um estudo de viabilidade para esta pesquisa.

5.1 Proposta de sensores

O levantamento da proposta dos sensores foi realizado com base aos trabalhos levantados da literatura. Para entender melhor a proposta foi elaborada a tabela 5-1 que explica os requisitos funcionais e não funcionais para cada sensor, e as alternativas a avaliar.

Tabela 5-1 Requisitos e propostas dos sensores ou atuadores.

Sensores	Requisitos Funcionais	Requisitos Não Funcionais	Propostas para avaliar
Sensor de arma	identificar se a arma foi carregada.	Em caso de utilizar um sensor acoplado na arma, precisa-se de um sensor pequeno, preferencialmente sem fio.	Giroscópio
			Acelerômetro
			Giroscópio e acelerômetro
			Sensor de profundidade
			Sensor de som (microfone)
Sensor do gatilho	capturar a presença do dedo no gatilho.	Ser imperceptível.	Sensor resistivo de pressão
			Sensor capacitivo de proximidade
Sensor de coldre	capturar a presença da arma no coldre.	Deve ter um tamanho suficientemente pequeno para ser colocado no interior do coldre real do treinando, sem mudar nenhuma configuração do coldre e da arma real.	Micro switch
			Sensor indutivo de proximidade.
Sensor de gestos, posturas e posição.	capturar os gestos, postura e posição do treinando. Deve ter um alto nível de precisão (acima de 90% de acerto).	Preferentemente que não sejam acoplados ao treinando para aumentar o nível de imersão e presença.	Sensor de profundidade
			Giroscópio e acelerômetro
Sensor de emoções	capturar o estado do treinando enquanto a ansiedade, ritmo cardíaco, ira, entre outras.	Não podem atrapalhar as atividades do treinando, não podem ser acoplados aos dedos. Seria apropriado que a comunicação seja	Sensor de batimento cardíaco; variação da frequência respiratória; a resposta galvânica da pele; e a

		mediante um sistema sem fio.	temperatura dos dedos das mãos.
Tiro	Identificar a posição do disparo.	O sensor pode se acoplar à arma real ou numa réplica, garantindo realismo no treino.	laser infravermelho Laser vermelho

Fonte: Autor

Os critérios que serão analisados para determinar os sensores que conformarão a o sistema final são os seguintes:

- Baixo custo (inferior a 100USD)
- Viável enquanto a tamanho, peso e conforto.
- Aproveitamento de um sensor para capturar diversos dados.
- Priorizar sensores sem fio ou dispositivos não acoplados ao treinando.

5.2 Análise de viabilidade

Nesta seção serão apresentadas as análises realizadas para determinar os sensores que comporão o sistema final. Para melhor compreensão do estudo, a tabela 5-2 sintetiza os requisitos, os sensores propostos e respectivas viabilidades.

Tabela 5-2 Viabilidade dos sensores propostos.

Parâmetro	Requisito	Sensor	Viabilidade
Sensor de arma	Consegue detectar a posição da arma	Giroscópio	SIM
		Acelerômetro	SIM
		Giroscópio e acelerômetro	SIM
		Sensor de profundidade	SIM
		Microfone	NÃO
	Consegue detectar se a arma foi ou está carregada	Giroscópio	NÃO
		Acelerômetro	NÃO
		Giroscópio e acelerômetro	NÃO
		Sensor de profundidade	SIM
		Microfone	SIM
Sensor do gatilho	Detecta se o dedo está no gatilho	Sensor resistivo de pressão	SIM
		Sensor capacitivo de proximidade	SIM

Sensor de coldre	Detecta se a arma está no coldre	Sensor indutivo de proximidade	SIM
		Micro switch	SIM
Sensor de gestos, postura e posição	Detecta os gestos, posturas e posição	Sensor de profundidade	SIM
		Giroscópio e acelerômetro	SIM
Sensor de emoções	Detecta emoções	Sensor de batimento cardíaco	SIM
		Sensor de profundidade	NÃO

Fonte: Autor

Foi analisado cada sensor para comprovar a viabilidade deles para este trabalho.

O **microfone** não é viável devido que é preciso mais de um sensor para conseguir obter a posição. Enquanto o **giroscópio**, **acelerômetro** e a combinação de ambos, eles não conseguem detectar se a arma está carregada. Para a arma será utilizado o **sensor de profundidade**, que pode capturar tanto a posição da arma, assim como se está carregada. Com um desenvolvimento de algoritmos de aprendizado de máquina utilizando o sensor de profundidade, é possível detectar quando o treinando está carregando a arma e é possível mediante algoritmos de reconhecimento de objetos detectar a posição da arma.

Tendo em conta os critérios estabelecidos anteriormente, também foi selecionado o sensor de profundidade para a detecção das posturas e posição. Esta decisão foi tomada pelo fato de que o dispositivo de captura pode ficar longe do treinando enquanto o acelerômetro ou giroscópio devem ir acoplados. Outro fator é que o mesmo sensor capturaria diferentes dados, o que reduziria o custo final do sistema.

Se conclui que o sensor de profundidade pode ser utilizado para rastrear a arma, comprovar que esteja carregada, assim como para a detecção de postura e posição do treinando.

Na literatura, é utilizado o sensor de profundidade para avaliar algumas emoções. No nosso caso não é viável devido a que o êxito dos reconhecimentos de emoções com este sensor se encontra na distância em que é colocado o

sensor em relação à face. Nos experimentos estudados são colocadas a menos de 1 metro de distância utilizando o sensor Kinect.

A priori, para capturar emoções, devem ser utilizados dispositivos menos complexos, como a captura de **batimento cardíaco**. Para trabalhos futuros se recomenda analisar a variação da frequência respiratória, a resposta galvânica da pele, e a temperatura dos dedos das mãos, que são outros indicativos de emoções.

O sensor de batimento cardíaco selecionado foi a cinta torácica. Para isso, foi realizada uma entrevista a Johnny Mascarenhas de Queirós, especialista e gerenciamento de Crises, para escolher o dispositivo mais confortável durante o treinamento. Durante a entrevista foi determinado que o dispositivo adequado seria a cinta torácica sem fio. Dentro da faixa de baixo custo foram determinadas várias marcas como Ant, Garmin e Sunding. É importante destacar que a tem alguns sensores de profundidade como o Kinect V2 que é capaz de ler o batimento cardíaco segundo Gambi et al. (2017). Para trabalhos futuros também se recomenda testar a possibilidade de detectar emoções utilizando esse sensor e verificar o nível de precisão na detecção. Por fim, verificar se é compatível essa precisão com as exigências durante o treinamento.

Foi selecionado o **microswitch** para o coldre devido ao preço 10 vezes menor que o sensor indutivo, e o sistema é mais simples e fácil de trabalhar. Como observação se deve controlar o Efeito Bouncing durante a leitura do sensor de chave mecânica.

Para o gatilho foi selecionado o **sensor de proximidade capacitivo**. Este sensor é mais sensível, não precisa exercer pressão sobre o gatilho para detectar a presença do dedo. Não tem desgaste mecânico. Em casos de alterações de temperatura ambiente o **sensor resistivo** é mais propenso a ter variações.

Para a comparação dos preços e as características dos sensores foram realizadas pesquisas nos seguintes sites: Mouser Electronics (2020); FILIPEFLOP Componentes Eletrônicos (2020); Botnroll (2019).

5.3 Sistema proposto

Nesta seção vai se propor um sistema final tanto para sistemas com tela de projeção como para sistemas de óculos. Os sensores que compõem o sistema final são apresentados na tabela 5-3.

Tabela 5-3 Quadro resumo da proposta dos sensores com preços.

Requisito	Sensor	Proposta	Figura	Preço Aprox (R\$)	Tamanho Aprox (mm)
Sensor da arma e de postura	Sensor de profundidade	Kinect ou semelhante		200.00	280*75*60
Sensor do gatilho	Sensor de proximidade capacitivo	Touch Capacitivo TTP223B		6.90	10*10
Sensor do coldre	Micro-switch	KW11-3Z-5-3T		1.18	20*10*3
Sensor de emoções	Sensor de batimento cardíaco	Ant Bluetooth		134.00	Ajustável

Fonte: Autor

Sendo um dos requisitos do trabalho criar um sistema de avaliação de baixo custo que seja acoplado num simulador, a proposta realizada foi com base nesses objetivos, selecionando assim, sensores de uma faixa de preço baixa, totalizando os 5 sensores R\$ 342,08 aproximadamente.

O sensor de profundidade, que poderia ser Kinect ou semelhante, terá a função de fazer a detecção de posturas e da arma. O desenvolvimento do modulo de postura é apresentado no capítulo 6. O sensor capacitivo de proximidade detectará se o dedo do treinando está ou não no gatilho da arma e este será acoplado ao gatilho. O *microswitch* fará a detecção da arma no coldre, sendo que a arma está ainda no coldre quando o *microswitch* está acionado e vice-versa. Por fim, o sensor de batimento cardíaco de sem fio emitirá a frequência cardíaca, que será medida e avaliada para a análise das emoções do treinando.

Como resultado o sistema final para cenários com tela de projeção mostra-se na figura 5-1. O sistema final para cenários com óculos se apresenta na figura 5-2.

Figura 5-1: Sistema de dispositivos e sensores para sistemas de projeção de RV.

Fonte: Autor

Figura 5-2: Sistema de dispositivos e sensores para sistemas de óculos.

Fonte: Autor

A proposta dos sensores será acoplada num sistema de treinamento de realidade virtual já existente, especificamente ao sistema TIS, que está composto por: tela de projeção, projetor, arma com ponteiro laser da marca laserlyte, computador e Kinect.

Para brindar conforto ao treinando se propõe incorporar um sistema sem fio, colocando um módulo transceptor, de transmissão e recepção de sinal. Para a proteção dos dados durante a transmissão acoplar um codificador e decodificador no módulo, além da bateria para alimentação. Se propõe utilizar dois módulos transceptores, um para o sensor do gatilho e outro para o sensor do coldre.

Com a proposta do sistema finalizada, o próximo capítulo abordará o desenvolvimento do módulo de detecção de postura e o experimento realizado.

Capítulo 6

6 Experimento e desenvolvimento do módulo de postura

Neste capítulo serão apresentados os experimentos relacionados ao desenvolvimento do módulo de reconhecimento de posturas. Para o desenvolvimento deste módulo foram avaliados diferentes algoritmos de classificação de aprendizado supervisionado mediante uso do sensor de profundidade *Kinect*. Foram comparados diferentes classificadores mediante testes e o algoritmo com melhores resultados enquanto acurácia, precisão, *recall* e F1-score foi proposto para ser implementado no simulador TI.

6.1 Comitê de ética

Para conseguir realizar o experimento envolvendo pessoas foi necessário enviar o protocolo do experimento para um rígido comitê de ética através da Plataforma Brasil (2020).

Foi enviado o protocolo com o título “Captura de posturas de segurança utilizando o sensor de movimentos corporais” ao Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo (IBUSP) e durante o processo de revisão foram atendidas todas as pendências solicitadas para a aprovação do experimento. Também foi criado o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) como consta no Apêndice B.

Finalmente foi aprovado como consta no último parecer na data de 18 de setembro de 2019 com o número de registro CAAE 18322819.1.0000.5464.

6.2 Hipótese

As hipóteses a seguir se referem ao sistema de reconhecimento que a ser treinado e aos resultados do experimento para a captura das coordenadas.

H1: O sistema de reconhecimento será capaz de reconhecer as posturas com um percentual de acerto superior a 90%.

H2: O classificador Support Vector Machine (SVM) será o mais eficiente (CHOUBIK; MAHMOUDI, 2016a).

H3: O classificador será capaz de reconhecer quaisquer pessoas sem importar seus somatótipos.

6.3 Objetivos

Para o desenvolvimento do módulo de reconhecimento de postura foi necessário realizar um experimento com o objetivo primário de automatizar o processo de avaliação de 6 posturas para os treinamentos de agentes de segurança em um simulador de RV.

Se os classificadores de posturas conseguirem reconhecer com uma precisão superior de 90% as posturas realizadas, será possível realizar exercícios de treinamento automatizados, sendo que um dos parâmetros avaliados seja fazer a postura certa num momento predeterminado. Por exemplo, que o sistema seja capaz de identificar como errado que o treinando colocou a postura de atirar quando não era necessário, ou que era necessário utilizar a postura 2 quando o treinando estava fazendo a postura 0.

Como objetivos secundários temos:

- Obter os dados das coordenadas do corpo mediante o sensor de movimentos corporais
- Criar um banco de dados de coordenadas de posturas e disponibilizá-lo facilitando a pesquisa nesta área.
- Treinar e testar um classificador de reconhecimento de 6 posturas pré-estabelecidas.
- Selecionar o classificador mais eficiente dentro do cenário proposto.

6.4 Metodologia Proposta

Para realizar o experimento se implementou a comunicação entre o Kinect e o Visual Studio 2017, que foi o software selecionado para o desenvolvimento

utilizando a linguagem Python. O tutorial de comunicação entre Visual Studio e o Kinect se encontra no Apêndice C.

Para começar o experimento foram importadas todas as bibliotecas necessárias ao desenvolvimento do módulo de captura de posturas, conforme mostra a figura 8 do Apêndice D. Utilizando a função *draw_skeletons* apresentada na Figura 9 do Apêndice D, o sistema do sensor no Kinect é capaz de captar movimentos do corpo humano posicionado na sua frente numa distância de 2,5m com altura de 0,9m do chão como boas práticas em artigos relacionados. Logo na inicialização, o Kinect mapeia o ambiente e automaticamente ajusta as suas configurações para a melhor experiência possível. Em seguida, ele procura por 20 pontos do corpo de cada pessoa para formar uma réplica digital em 3D de seu esqueleto. Esse módulo de captura foi desenvolvido com o *Kinect* e a biblioteca *pykinect* que permite capturar e armazenar os pontos mapeados.

Esses pontos são armazenados em um arquivo .csv a ser utilizado no treinamento e teste de diferentes tipos de classificadores. Segundo alguns trabalhos relacionados, os classificadores com melhores resultados nesse contexto são SVM, KNN e RF.

Com as posturas definidas foram criadas as classes para cada uma delas (0,1,2,3,4,5) (Figura 6-1).

Figura 6-1: Guia de posturas para os experimentos.

Fonte: Autor

Para cada classificador foram testadas diferentes funções e variáveis para finalmente ficarmos com as de melhor resultado.

Para a validação foram utilizados os seguintes indicadores:

- **Acurácia:** é o número de predições certas do total de predições feitas, Equação 1.

$$Acurracy = \frac{\text{Predições certas}}{\text{Predições total}} \quad (1)$$

- **Precisão:** é o número de Verdadeiros Positivos (VP) dividido pelo número de Verdadeiros Positivos e Falsos Positivos (FP). Em outras palavras, é o número de previsões positivas dividido pelo número total de valores de classe positivos previstos, Equação 2.

$$Precisão = \frac{VP}{VP + FP} \quad (2)$$

- **Recall:** é o número de VP dividido pelo número de VP e o número de Falsos Negativos (FN). Em outras palavras, é o número de previsões positivas dividido pelo número de valores de classe positivos nos dados de teste. Também é chamado de Sensibilidade ou Taxa Verdadeira Positiva, Equação 3.

$$Recall \text{ o } sensibilidade = \frac{VP}{VP + FN} \quad (3)$$

- **F1-Score:** transmite o equilíbrio entre a precisão e o *recall*, Equação 4.

$$F1 \text{ Score} = \frac{2 * Precisão * Recall}{Precisão + Recall} \quad (4)$$

Serão realizadas as matrizes de confusão para conseguir diagnosticar onde podem ser os possíveis erros nas classificações das diferentes classes.

6.5 Materiais e métodos

Os materiais que foram utilizados para a realização do experimento são os seguintes:

- Sensor de movimentos corporais Microsoft Kinect® for Xbox360;
- Fonte adaptadora para o sensor Microsoft Kinect®;
- Computador com processador Intel(R) Core (TM) i5 – 5200U CPU @2.20GHz, memória RAM 8,00 GB, sistema operacional Windows 10, 64-bit;
- Software Visual Studio 2017
- Sala com dimensão mínima de 4m de comprimento e iluminação adequada.

Para o desenvolvimento do software usado no experimento foi utilizado o Python do Visual Studio e foi necessário instalar os seguintes programas e pacotes:

- CPython 2.7 32-bit
- Pygame: <http://www.pygame.org/download.shtml>
- Kinect SDK 32-bit: <http://kinectforwindows.org/>
- PyKinect: é um pacote de Python disponível em PyPI.

O experimento foi realizado em duas etapas. A primeira etapa tinha um tamanho total de amostra previsto inicial de 20 pessoas. Os dados obtidos na primeira etapa foram utilizados para o treinamento dos 3 classificadores (SVM, KNN e RF) e a validação deles utilizando a matriz de confusão e dados de acurácia, precisão, *recall* e *F1-score*. Na primeira etapa fez-se necessário que as pessoas sejam experientes na área para que reproduzam as posturas de forma correta. Para cada postura (6 posturas no total) foram capturadas 5 amostras, de forma a se obter 630 amostras no total. Além das posturas certas, foram introduzidas no classificador posturas erradas como parte do processo do treinamento. Foram capturadas 30 amostras desta nova classe que abrange várias possíveis posturas erradas como apresentadas na figura 6-2. O objetivo é treinar o classificador com posturas certas e erradas e que ele consiga

identificar quando a postura não é parte do procedimento. Com essa nova postura finalmente os classificadores terão 7 classes. Depois do treinamento e com os resultados dos testes foi selecionado o melhor classificador.

Figura 6-2: Capturas das posturas 'erradas' da classe 7 durante o experimento.

Fonte: Autor

A segunda etapa é destinada a validar o classificador selecionado da etapa anterior. Foi necessário fazer capturas com voluntários, os quais não precisam ser experientes na área, realizando as posturas certas e erradas. A validação foi feita durante a realização das posturas pelo instrutor experiente Johnny Mascarenhas de Queirós, que validou se as posturas realizadas e os resultados obtidos pelo simulador correspondem.

Nas duas etapas do experimento foi entregue para cada participante a guia com as 6 posturas apresentadas na figura 6-1. Cada participante precisou imitar as posturas frente ao sensor Kinect para que pudessem ser capturadas as coordenadas de pontos chave do corpo.

6.6 Critérios de inclusão e exclusão

Como o método do experimento está dividido em duas etapas os critérios de inclusão e exclusão também, devido que em cada etapa os critérios são diferentes.

Critérios de Inclusão comuns nas duas etapas

- Idade entre 18 e 65 anos
- Pessoas com diferentes somatótipos
- Inclui ambos sexos
- Assinatura do TCLE, incluindo autorização de divulgação dos dados em publicações científicas, com preservação do anonimato.

Critérios de Inclusão exclusivos na primeira etapa

- Pessoas experientes na área de segurança pública e / ou privada

Critérios de Exclusão comuns nas duas etapas

- Pessoas fora da faixa etária estabelecida
- Pessoas com deficiência física que comprometa os movimentos corporais

Critérios de Exclusão exclusivos na primeira etapa

- Pessoas com desconhecimento nas posturas

6.7 Riscos e benefícios

Não há potencialmente riscos importantes. De qualquer forma os participantes foram orientados a reportar qualquer desconforto durante o experimento. Nesse caso os participantes foram orientados a interromper imediatamente o experimento.

Enquanto aos benéficos do experimento foram encontrados os seguintes:

- Contribuir ao desenvolvimento dos simuladores nesta área.

- Criar um sistema de reconhecimento de posturas automatizado
- Diminuir os custos dos treinamentos na área de segurança
- Apoiar ou refutar as hipóteses da pesquisa

6.8 Roteiro

Os experimentos foram realizados na Guarda Municipal de Jandira no dia 15/01/2020. O local foi preparado com os equipamentos e as condições necessárias para obter os melhores resultados.

Primeiramente os participantes assinaram o TCLE, o qual lhes foi entregue antes de se iniciar o experimento.

Foi fornecida aos participantes uma explicação do experimento apresentando-lhes a guia de posturas que devem ser realizadas (Figura 6-1).

Entrou na sala um participante por vez. Havia um instrutor na sala que explicava o posicionamento e dava as instruções das posturas. Os participantes não utilizaram uma arma real durante o experimento, sendo utilizada uma réplica. Foram tomadas 5 capturas por cada postura diferente. As capturas foram tomadas pela pesquisadora principal quando o participante lograva fazer a postura certa. No total, fizeram-se 6 posturas, finalizando 30 amostras por participante. Finalmente agradecemos a presença dos participantes.

6.9 Resultados

Para realizar a primeira parte do experimento foram capturadas 630 amostras utilizando o código anexado no Apêndice D. Para isso participaram 22 voluntários da Guarda Municipal de Jandira com somatótipos diferentes apresentadas de forma resumida na Tabela 6-1 e na Figura 6-3.

No	Idade	Esta- tura (cm)	Peso (kg)	Gênero
1	52	168	78	M
2	45	165	87	M
3	40	186	88	M
4	52	170	64	M
5	47	176	71	M
6	39	181	86	M

No	Idade	Esta- tura (cm)	Peso (kg)	Gênero
12	32	169	78	M
13	36	167	80	M
14	45	174	92	M
15	40	170	74	F
16	41	190	100	M
17	41	189	92	M

7	42	168	70	M	18	47	175	80	M
8	42	182	110	M	19	50	162	100	F
9	35	163	93	F	20	37	184	95	M
10	42	161	86	F	21	37	167	80	M
11	32	166	78	M	22	28	175	84	M

Tabela 6-1 Dados dos participantes enquanto idade, estatura, peso e gênero.

Fonte: Autor

(a)

(b)

(c)

(a) (b) Imagens do momento das capturas

(c) Instrutor guiando o voluntario durante o experimento

Figura 6-3: Imagens durante os experimentos

Fonte: Autor

Na figura 6-4, se apresentam capturas tomadas no momento da primeira parte do experimento. Na tela direita fica: o quadro desenhado para delimitar e estandardizar a posição dos voluntários sendo esse quadro a região de interesse; o voluntário; e o desenho do esqueleto com os pontos chave dele. Na tela esquerda aparecem os pontos capturados e um comando para entrar o número da postura realizada. Os pontos chave capturados foram salvos em um arquivo .csv para realizar o treinamento dos 3 classificadores escolhidos.

Figura 6-4: Captura dos pontos chaves do corpo durante a primeira parte do experimento.

Fonte: Autor

Para cada classificador foram testados diferentes funções e parâmetros explicados na seção 2.3 e finalmente para o treinamento foram selecionados os que demonstraram um melhor resultado (Tabela 6-2). Cada um deles foi explicado na seção 2.4 e o código se apresenta na Figura 11 do Apêndice E:

Tabela 6-2 Funções e variáveis utilizadas durante os treinamentos dos classificadores.

Classificador	Função e variável
SMV	kernel='poly' degree=8
KNN	K-neighbors=2
Random Forest	n_estimators=10 max_depth=10

Fonte: Autor

Para realizar o treinamento foram utilizadas 80% das amostras e 20% para os testes do classificador de forma aleatória. O código utilizado para o treinamento e testes se apresenta no Apêndice E, nas Figuras 12 e 13. Na figura 6-5 se apresentam os resultados obtidos depois do treinamento durante a etapa dos testes referente a acurácia, precisão, recall e F1-Score.

Classificadores	Accuracy	Precision	Recall	F1_Score
SVM	99.25	99.40	99.35	99.36
KNN	98.51	97.99	98.70	98.29
RF	98.51	98.76	98.60	98.66

Figura 6-5: Resultado dos testes dos classificadores SVM, KNN e RF com 20% das amostras.

Fonte: Autor

As matrizes de confusão para cada classificador se apresentam na figura 6-6, são tabelas que mostram as frequências de classificação para cada classe do modelo, neste caso, das 7 classes:

SVM <pre>[[23 0 0 0 0 1 0] [0 19 0 0 0 0 0] [0 0 22 0 0 0 0] [0 0 0 23 0 0 0] [0 0 0 0 15 0 0] [0 0 0 0 0 21 0] [0 0 0 0 0 0 10]]</pre>	KNN <pre>[[23 0 0 0 0 0 0] [0 19 1 0 0 0 0] [0 0 21 0 0 0 0] [0 0 0 23 0 0 0] [0 0 0 0 15 0 0] [0 0 0 0 0 21 0] [0 0 0 0 0 1 10]]</pre>	Random Forest <pre>[[23 0 0 0 0 0 0] [0 18 0 0 0 0 0] [0 1 21 0 0 0 0] [0 0 1 23 0 0 0] [0 0 0 0 15 0 0] [0 0 0 0 0 22 0] [0 0 0 0 0 0 10]]</pre>
---	---	---

Figura 6-6: Matrizes de confusão para cada classificador.

Fonte: Autor

Segundo os resultados alcançados se pode concluir que o classificador com o maior número de acurácia e de precisão é como esperado o SVM como apresentado na figura 6-5. Se apresenta na figura 6-6 que a matriz de confusão indica para o SVM só um resultado errado classificando a postura 0 como 5.

Na segunda parte do experimento foi validado o classificador com 30 amostras e os resultados da validação são apresentados na tabela 6-3 e na figura 6-7, a confiabilidade apresentada nessa tabela é da função `svclassifier.predict_proba` que retorna a probabilidade da amostra para cada classe no modelo. A equação 5 define como é calculado internamente essa confiabilidade, sendo $f(X)$ a distância assinada de uma amostra do hiperplano.

$$P(y|X) = \frac{1}{(1 + \exp(A * f(X) + B))} \quad (5)$$

No caso do voluntário fazer alguma postura definida como a postura 6 (grupo de posturas erradas) o sistema deve devolver 'Postura: Não definida como se apresenta na Figura 6-7g.

Tabela 6-3 Resultados de confiabilidade do processo de validação utilizando o SVM.

No	Postura Realizada	Postura Reconhecida	Confiabilidade (%)	No	Postura Realizada	Postura Reconhecida	Confiabilidade (%)
1	0	0	93.06	16	1	1	96.25
2	1	1	93.74	17	5	5	88.75
3	4	4	96.39	18	0	0	91.30
4	3	3	91.56	19	2	2	97.67
5	0	0	90.86	20	4	4	98.20
6	5	5	98.18	21	3	3	91.56
7	0	0	94.25	22	4	4	95.40
8	3	3	89.25	23	2	2	90.20
9	4	4	98.10	24	1	1	98.25
10	1	1	94.25	25	5	5	96.40
11	2	2	93.20	26	2	2	97.55
12	0	5	45.85	27	5	5	91.25
13	5	5	93.54	28	4	4	99.50
14	1	1	97.45	29	2	2	95.45
15	3	3	96.20	30	3	3	94.25

Fonte: Autor

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

(f)

(g)

- a) Reconhecimento da postura 0
- b) Reconhecimento da postura 1
- c) Reconhecimento da postura 2
- d) Reconhecimento da postura 3
- e) Reconhecimento da postura 5
- f) Reconhecimento da postura 6
- g) Reconhecimento da postura não definida

Figura 6-7: Resultados da validação do classificador.

Fonte: Autor

6.10 Análise dos resultados

Na seção anterior foram apresentados os principais resultados do experimento. Se pode observar na tabela dos participantes que as amostras capturadas foram de voluntários com diferentes somatótipos, com isto se conseguiu que o reconhecimento das imagens seja feito de forma eficiente para diferentes pessoas.

Referente aos resultados dos classificadores o melhor de todos a partir dos 4 parâmetros avaliados foi o SVM com uma acurácia de 99,25%, embora os outros dois KNN e RF apresentaram 98,51%. Se pode ver na matriz de confusão realizada com o 30% das amostras separadas para os testes, que só teve 1 erro de reconhecimento. Este erro é relacionado a um falso negativo, sendo que era a postura 0 e ele reconheceu como a postura 5. Os outros dois classificadores tiveram erros relacionados a falsos negativos e falsos positivos.

As diferenças entre os 3 classificadores não são muito notórias quando o tamanho dos testes é de 20% do tamanho total da amostra. Mas se incrementarmos para 30% o classificador SVM continua sendo o mais eficiente dos três como se apresenta na Figura 6-8.

Classificadores	Accuracy	Precision	Recall	F1_Score
SVM	99.50	99.57	99.61	99.58
KNN	97.01	96.57	97.44	96.85
RF	98.01	98.15	98.21	98.08

Figura 6-8: Resultado dos testes dos classificadores SVM, KNN e RF com 30% das amostras.

Fonte: Autor

Sendo selecionado o SVM como classificador de posturas, passamos na próxima etapa de validar que a programação e os testes realizados na etapa anterior estejam feitos de forma correta. Na tabela 6-3 da seção anterior se apresentaram as amostras capturadas para a validação, sendo que 27 amostras do total foram reconhecidas com uma confiabilidade superior a 90%, e só duas amostras representaram valores de 89,25% (postura 3) e 88,75% (postura 5). De forma geral, fazendo uma média das confiabilidades finais obtidas por postura se pode ver na tabela 6-4, que exceto a postura 0, os valores estão acima do 90% de confiabilidade.

Tabela 6-4 Média das confiabilidades por postura.

Postura realizada	Média Confiabilidade (%)
0	83,06
1	95,98
2	94,83
3	92,56
4	97,51
5	93,62

Fonte: Autor

Na postura 0 de forma geral, todos os reconhecimentos foram bem acima de 90%, mas esta média geral se viu afetada devido ao erro de reconhecimento detectado na amostra #12 da tabela 6-3. Este único erro de reconhecimento coincide com o erro identificado na matriz de confusão. A confiabilidade desse reconhecimento foi baixa de 45.85%, sendo que se poderia programar que para

reconhecimentos inferiores ao 50% seja um erro na leitura da postura, e que é necessário repetir a postura realizada para aumentar a confiabilidade do resultado.

Se pode concluir que a postura com maior sucesso de reconhecimento é a postura 4. Isto pode ser devido que durante a captura das amostras, esta postura era a mais dominada pelos voluntários. Conseguimos perceber que para o resto das posturas o instrutor teve que ajudar mais para a imitação sendo que com a postura 4 eles já tinham um domínio prévio. Além disso, os pontos chave desta postura diferem com o resto das posturas, sendo outra possível causa dos bons resultados.

Para melhorar os resultados do classificador referente à postura 0, se recomenda aumentar o número das amostras e fazer o treinamento com um maior conjunto de amostras de postura 0 e 5, sempre controlando estas quantidades para não ter problemas de *overfitting* nos resultados.

7 Conclusões e trabalhos futuros

Nesta dissertação, foi apresentada uma proposta de um sistema automático de avaliação de baixo custo baseado em sensores para serem acoplados ao simulador TIS. Foi realizada uma análise de viabilidade de diferentes tipos de sensores baseados em alguns trabalhos levantados e finalmente foram selecionados 5 sensores de baixo custo totalizando R\$ 419,80 para compor o sistema final: sensor de profundidade, sensor de proximidade capacitivo, laser, sensor de batimento cardíaco e *microswitch*. Estes sensores conseguirão capturar os dados necessários para avaliar se o treinando está qualificado ou não para exercer a função dele.

Para conseguir selecionar os sensores foi necessário fazer um levantamento dos parâmetros e requisitos que são avaliados hoje na polícia civil. Foram levantados um total de 6 procedimentos com seus indicadores de falhas associados, 5 parâmetros e por fim as 6 posturas associadas aos procedimentos.

Uma vez realizada a proposta do sistema, foi desenvolvido especificamente o módulo de reconhecimento de postura. Para isso foi selecionado o sensor de profundidade Kinect que consegue capturar pontos chave do corpo humano conseguindo fazer uma simulação do esqueleto de uma pessoa. Com esses dados e os recursos da inteligência artificial foi possível desenvolver o módulo. Para isso foi realizado um experimento com 22 participantes obtendo mais de 600 amostras para fazer os treinamentos em um total de 3 classificadores SVM, KNN e RF. Finalmente, depois dos treinamentos e com os testes realizados, a melhor acurácia foi obtida utilizando o SVM sendo de 99,25%.

A postura com maior dificuldade de reconhecimento durante a etapa de validação foi a postura 1 por causa de ser muito parecida à postura 5. O resto das posturas tem um percentual de confiabilidade do resultado acima do 90%.

Para trabalhos futuros se recomenda fortemente testar o sistema em funcionamento com todos os sensores. Para isso é necessário fazer a programação de cada um dos sensores para obter deles os resultados esperados em cada caso. Se recomenda também fazer a integração do módulo

de reconhecimento de postura realizado nesta pesquisa em algum treinamento do simulador TIS.

Também se recomenda para o módulo de reconhecimento de postura, capturar mais amostras com a postura 1 para aumentar a confiabilidade do simulador, além de incluir nas amostras pessoas canhotas e também, armas longas, sendo que nesta pesquisa foi usada a pistola.

Se recomenda incluir a análise da variação da frequência respiratória, a resposta galvânica da pele, e a temperatura dos dedos das mãos, que são outros indicativos de emoções durante o sistema de treinamento final.

Referências

360VIRTU. Disponível em: <<http://360virtu.com/simulador-de-tiro-tela/>>. Acesso em: 8 fev. 2018.

AEL Sistemas. Disponível em: <<http://www.ael.com.br/treinamento-e-simulacao-seguranca-publica.html>>. Acesso em: 9 fev. 2018.

AFONSO, M. B.; BERGAMASCO, L. C. C.; NUNES, F. L. S. Implementação de técnicas de estereoscopia em aplicações de realidade virtual: uma Revisão sistematica. In: VIII Workshop de Realidade Virtual e Aumentada - IFTM, **Anais...**2011.

AGARWAL, S. Data mining: Data mining concepts and techniques. In: Proceedings - 2013 International Conference on Machine Intelligence Research and Advancement, ICMIRA 2013, **Anais...**2014.

ALMEIDA, R. L. A.; AGUILAR, P. A. WatchAlert: Uma evolução do aplicativo fAlert para detecção de quedas em smartwatches. In: Workshop de Ferramentas e Aplicações, **Anais...**2016.

AN, Q.; ISHIKAWA, Y.; NAKAGAWA, J.; KURODA, A.; OKA, H.; YAMAKAWA, H.; YAMASHITA, A.; ASAMA, H. Evaluation of wearable gyroscope and accelerometer sensor (PocketIMU2) during walking and sit-to-stand motions. **Proceedings - IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication**, p. 731–736, 2012.

ARAUJO, REGINA BORGES DE KIRNER, C. **Especificação e Análise de um Sistema Distribuído de Realidade Virtual**, 1996. . Disponível em: <<http://ce-resd.facom.ufms.br/sbrc/1996/p19.pdf>>.

AWREJCEWICZ, J.; KORUBA, Z. Classical Mechanics. v. 30, 2012. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/978-1-4614-3978-3>>.

AZUMA, R.; BEHRINGER, R.; FEINER, S.; JULIER, S.; MACINTYRE, B. Recent Advances in Augmented Reality. **IEEE Computer Graphics and Applications**, v. 2011, n. December, p. 1–27, 2001. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17691992>>.

BARELA, A.; DUARTE, M. Utilização da plataforma de força para aquisição de dados cinéticos durante a marcha humana. **Braz J Mot Behav**, v. 6, n. 1, p. 56–61, 2011. Disponível em: <<http://demotu.org/pubs/BJMB11.pdf>>.

BARLES, J.; DRAS, M.; KAVAKLI, M.; RICHARDS, D.; TYCHSEN, A. An Overview of Training Simulation Research and Systems. In: AAMAS Workshop, **Anais...**2005.

BHAGAT, K. K.; LIOU, W. K.; CHANG, C. Y. A cost-effective interactive 3D virtual reality system applied to military live firing training. **Virtual Reality**, v. 20, n. 2, p. 127–140, 2016.

BOGATINOV, D.; LAMESKI, P.; TRAJKOVIK, V.; TRENDOVA, K. M. Firearms training simulator based on low cost motion tracking sensor. **Multimedia Tools and Applications**, v. 76, n. 1, p. 1403–1418, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11042-015-3118-z>>.

BONOTTO SILVA, C. **Criação de um Sistema ótico de captura de movimento 3D em tempo real**. 2009. 2009. Disponível em: <https://biblioteca.unilasalle.edu.br/docs_online/tcc/graduacao/ciencia_da_com>

putacao/2009/cbsilva.pdf>.

Botnroll. Disponível em: <<https://www.botnroll.com/>>. Acesso em: 9 fev. 2020.

BOUTEN, C. V.; KOEKKOEK, K. T.; VERDUIN, M.; KODDE, R.; JANSSEN, J. D. A triaxial accelerometer and portable data processing unit for the assessment of daily physical activity. **IEEE transactions on bio-medical engineering**, v. 44, n. 3, p. 136–147, 1997.

CÁRDENAS, S.; LOACHAMÍN, M.; CALDERÓN, M. P. VR-System ViPoS: VR System with Visual and Postural Stimulation Using HMDs for Assessment Cybersickness in Military Personnel. (Á. Rocha, T. Guarda, Eds.) In: Developments and Advances in Defense and Security, Cham. **Anais...** Cham: Springer International Publishing, 2018.

Cartilha de Armamento e Tiro — Polícia Federal. Disponível em: <<http://www.pf.gov.br/servicos-pf/armas/cartilha-de-armamento-e-tiro.pdf/view>>. Acesso em: 13 set. 2017.

CAVALCANTE, R. C. Safe - Sistema Anti-Furto Para Equipamentos Eletrônicos. n. 1, p. 1–8, 2005.

CHOUBIK, Y.; MAHMOUDI, A. Machine Learning for Real Time Poses Classification Using Kinect Skeleton Data Machine learning for real time poses classification using Kinect skeleton data. n. October 2017, 2016a.

CHOUBIK, Y.; MAHMOUDI, A. Machine Learning for Real Time Poses Classification Using Kinect Skeleton Data. In: 2016 13th International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualization (CGiV), **Anais...**IEEE, mar. 2016b. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7467728/>>.

CRUZ, L. F. Da; BERNARDON, C.; SANTOS, E. V. M.; WALTER, C. S. S. Um sistema para monitoramento de sinais fisiológicos baseado em hardware de baixo custo com acesso via WEB. **Sbrc**, p. 9, 2016.

DALE, E. **Audiovisual methods in teaching**NY: Dryden Press, 1969. . Disponível em: <http://www.eric.ed.gov/ERICWebPortal/search/detailmini.jsp?_nfpb=true&_ERICExtSearch_SearchValue_0=ED043234&ERICExtSearch_SearchType_0=no&accno=ED043234>.

DOMÍNGUEZ FERREIRO, R. Desarrollo de simulador de armas y su integración en una cueva de realidad virtual-CAVE. 2016.

EBTS. Disponível em: <<https://ebtsbr.wixsite.com/ebts-new>>. Acesso em: 8 fev. 2018.

EDUARDO, J.; SALVATORE, J.; OSIO, M.; MORALES. Detección de objetos utilizando el sensor Kinect. **12 th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology**, p. 1–10, 2014.

Edwin Robotics. Disponível em: <<https://shop.edwinrobotics.com/grove-system/1026-grove-finger-clip-heart-rate-sensor-with-shell.html>>. Acesso em: 11 maio. 2018.

EIHARA, B. R.; SILVA, D. C. L.; SANTOS, E. F. Esteira para separação automática de material reciclado. **Revista de Gestão & Tecnologia**, v. 2, n. 2, 2015. Disponível em: <<http://www.revista.unisal.br/lo/index.php/reget/article/view/139/99>>.

EMOND, B.; FOURNIER, H.; LAPOINTE, J.-F. Applying advanced user models and input technologies to augment military simulation-based training. **Proceedings of the 2010 Spring Simulation Multiconference on - SpringSim '10**, p. 1, 2010. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1878537.1878576>>.

Empresa Cientistas. Disponível em: <www.tis.cientistas.com.br>. Acesso em: 1 maio. 2017.

Empresa Dynamic Animation System, Inc. Disponível em: <<http://www.d-a-s.com/VICE>>. Acesso em: 16 abr. 2017.

Empresa Indra. Disponível em: <<http://www.indracompany.com/es/sistemas-entrenamiento>>. Acesso em: 17 abr. 2017.

Empresa Meggit Training System. Disponível em: <<http://meggitttrainingsystems.com/Commercial-ranges/Commercial-simulation-equipment/FATS-L7>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

Empresa Ti Training. Disponível em: <<http://www.titraining.com/>>. Acesso em: 16 abr. 2017.

Empresa VirTra. Disponível em: <<http://www.virtra.com/>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

EROGLU S., TOPRAK S., URGAN O, MD, OZGE E. ONUR, MD, ARZU DENIZBASI, MD, HALDUN AKOGLU, MD, CIGDEM OZPOLAT, MD, EBRU AKOGLU, M. **Sensors: A Comprehensive Survey**. [s.l: s.n.]v. 8

Federal Defender. Disponível em: <<http://www.federaldefenderbr.com.br/>>. Acesso em: 8 fev. 2018.

FELDER, R.; SILVERMAN, L. Learning and teaching styles in engineering education. **Engineering education**, v. 78, n. June, p. 674–681, 1988. Disponível em: <<http://www.academia.edu/download/31039406/LS-1988.pdf>>.

FENAVIST. Estudo do Setor da Segurança Privada. p. 1–104, 2016.

FERRERO, C. A. Algoritmo KNN para previsão de dados temporais: funções de previsão e critérios de seleção de vizinhos próximos aplicados a variáveis ambientais em limnologia. p. 101, 2009.

FILIFELOP Componentes Eletrônicos. Disponível em: <<https://www.filieflop.com/>>. Acesso em: 9 fev. 2020.

FOERSTER, F.; SMEJA, M.; FAHRENBERG, J. Detection of posture and motion by accelerometry: a validation study in ambulatory monitoring. **Computers in Human Behavior**, v. 15, n. 5, p. 571–583, 1999.

FÓRUM BRASILEIRO DE SEGURANÇA PÚBLICA. Anuário Brasileiro de Segurança Pública 2016. **Brasil. Segurança Pública**, 2016. Disponível em: <http://www.forumseguranca.org.br/wp-content/uploads/2017/01/Anuario_Site_27-01-2017-RETIFICADO.pdf>.

FREITAS, M.; PEREIRA, A.; DA SILVA, F. Proposta de um sistema para avaliação da postura sentada. In: Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica., **Anais...**2012.

GAMBI, E., AGOSTINELLI, A., BELL, A., BURATTINI, L., CIPPITELLI, E., FIORETTI, S., PIERLEONI, P., RICCIUTI, M., SBROLLINI, A., & SPINSANTE,

S. (2017). Heart Rate Detection Using Microsoft Kinect: Validation and Comparison to Wearable Devices. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 17(8), 1776. <https://doi.org/10.3390/s17081776>

GIANSANTI, D.; MACCIONI, G. Comparison of three different kinematic sensor assemblies for locomotion study. **Physiological Measurement**, v. 26, n. 5, p. 689–705, 2005.

GIANSANTI, D.; MACELLARI, V.; MACCIONI, G.; CAPPOZZO, A. Is it feasible to reconstruct body segment 3-D position and orientation using accelerometric data? **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, v. 50, n. 4, p. 476–483, 2003.

GRAEF MULLER, F.; DOS SANTOS, E.; PEYRE TARTARUGA, L.; CELSO DE LIMA, W.; MARTINS KRUEL, L. F. Comportamento da frequência cardíaca em indivíduos imersos em diferentes temperaturas de água 1. n. 1, p. 7–23, 2001.

GUO, Y.; HAZAS, M. Localising speech, footsteps and other sounds using resource-constrained devices. **Proceedings of the 10th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks, IPSN'11**, n. 2, p. 330–341, 2011. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-79959297255&partnerID=40&md5=c3111d54e743579291afaf7c48521354>>.

HAN, J.; SHAO, L.; XU, D.; SHOTTON, J. Enhanced computer vision with Microsoft Kinect sensor: A review. **IEEE Transactions on Cybernetics**, v. 43, n. 5, p. 1318–1334, 2013.

HANSSON, G.; ASTERLAND, P.; HOLMER, N.-G.; SKERFVING, S. Validity and reliability of triaxial accelerometers for inclinometry in posture analysis. **Medical & Biological Engineering & Computing**, v. 39, n. 4, p. 405–413, 2001. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/BF02345361>>.

HOFLINGER, F.; GAMM, G. U.; ALBESA, J.; REINDL, L. M. Smartphone remote control for home automation applications based on acoustic wake-up receivers. **2014 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings**, p. 1580–1583, 2014. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6861012>>.

HOKURIKU. Tactile Switches. p. 5–6, 2007.

IVANQUI, J. Esteira Eletrônica Com Velocidade Controlada Por Lógica Fuzzy. 2005.

JERALD, J. **The VR Book. Human-Centered Design for Virtual Reality**. [s.l.: s.n.]

JOVANOVIĆ, E.; HANISH, N.; COURSON, V.; STIDHAM, J.; STINSON, H.; WEBB, C.; DENNY, K. Avatar - A multi-sensory system for real time body position monitoring. **Proceedings of the 31st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society: Engineering the Future of Biomedicine, EMBC 2009**, p. 2462–2465, 2009.

KARANTONIS, D. M.; NARAYANAN, M. R.; MATHIE, M.; LOVELL, N. H.; CELLER, B. G. Implementation of a real-time human movement classifier using a triaxial accelerometer for ambulatory monitoring. **IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine**, v. 10, n. 1, p. 156–167, 2006.

KINGKANGWAN, K.; CHALAINANONT, N.; KUMSAP, C. Gun identification

using image synchronization for DTI's virtual shooting range. **2016 2nd Asian Conference on Defence Technology, ACDT 2016**, p. 32–35, 2016.

KOŹLAK, M.; NAWRAT, A.; KURZEJA, A. Virtual Reality simulation technology for military and industry skill improvement and training programs. **Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe**, n. 2 (35), p. 5–12, 2014. Disponível em: <http://www.obrum.hekko.pl/spg/214/01_Kozlak.pdf>.

KWON, B.; KIM, J.; LEE, K.; LEE, Y. K. O. O.; PARK, S.; LEE, S.; MEMBER, S. Implementation of a Virtual Training Simulator Based on 360 ° Multi-View Human Action Recognition. **IEEE Access**, v. 5, p. 12496–12511, 2017.

KWON, B.; KIM, J.; LEE, S. An enhanced multi-view human action recognition system for virtual training simulator. **2016 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA)**, p. 1–4, 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7820895/>>.

LABR, M.; HAGARA, L. Open source possibilities of analyzing and measuring shooting skills. **ICMT 2017 - 6th International Conference on Military Technologies**, p. 61–65, 2017.

LANCIONI, G. E.; O'REILLY, M. F.; OLIVA, D.; COPPA, M. M. Using multiple microswitches to promote different responses in children with multiple disabilities. **Research in developmental disabilities**, v. 22, n. 4, p. 309–18, 2001. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11523954>>5Cnhttp://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0891422201000749>.

LE, T.-L. L.; NGUYEN, M.-Q. Q.; NGUYEN, T.-T.-M. T. M. Human posture recognition using human skeleton provided by Kinect. **2013 International Conference on Computing, Management and Telecommunications (ComManTel)**, p. 340–345, 2013.

LEE, S.; PARK, S.; CHUNG, K.; CHO, C. Kinematic skeleton based control of a virtual simulator for military training. **Symmetry**, v. 7, n. 2, p. 1043–1060, 2015.

LEITE, A. J. M.; GOMES, G. A. M.; CHICCA, N. A.; SANTOS, A. D. Dos; VIDAL, C. A.; CAVALCANTE-NETO, J. B.; GATTASS, M. System model for shooting training based on interactive video, three-dimensional computer graphics and laser ray capture. **Proceedings - 2012 14th Symposium on Virtual and Augmented Reality, SVR 2012**, p. 254–260, 2012.

LELE, A. Virtual reality and its military utility. **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**, v. 4, n. 1, p. 17–26, 2013. Disponível em: <<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs12652-011-0052-4.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2017.

LI, S. The design and implementation of shooting system simulation platform for police college. **International Conference on Scalable Computing and Communications - The 8th International Conference on Embedded Computing, ScalCom-EmbeddedCom 2009**, p. 566–570, 2009.

LIMA, K. A.; ARÊDES, S. V.; BARBOSA, F. W. B. Monitor Cardíaco Para Fetos. p. 1–4, 2003.

LOPES, T. D.; GOEDEL, A.; PALACIOS, R. H. C.; GODOY, W. F. Aplicação do Algoritmo Random Forest como Classificador de Padrões de Falhas em rolamentos de Motores de Indução. **XIII Simpósio Brasileiro de Automação**

Inteligente, 2017. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/sbai17/papers/paper_98.pdf>.

LORENA, A. C. **Introdução às Máquinas de Vetores Suporte**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <http://conteudo.icmc.usp.br/CMS/Arquivos/arquivos_enviados/BIBLIOTECA_113_RT_192.pdf>.

LUINGE, H. J.; VELTINK, P. H. Measuring orientation of human body segments using miniature gyroscopes and accelerometers. **Medical and Biological Engineering and Computing**, v. 43, n. 2, p. 273–282, 2005.

MANRIQUE BRAOJOS, J. Simulación: la realidad, más barata. **Revista española de Defensa**, v. 25, n. 283, p. 6, 2012.

Manual do Vigilante — Polícia Federal. Disponível em: <http://www.pf.gov.br/servicos-pf/seguranca-privada/legislacao-normas-e-orientacoes/manual-do-vigilante/manual_vigilante.zip/view>. Acesso em: 13 set. 2017.

MARTINS DOS ANJOS, A.; TORI, R. Avaliação de habilidade sensório-motoras em ambientes de realidade virtual para treinamento médico: uma revisão sistemática. v. 4, n. 1, p. 28–34, 2012.

MARTONO, K. T. Shooting Simulator System Design Based on Augmented Reality. p. 377–382, 2016.

MAXWELL, D.; OSTER, E.; LYNCH, S.; MAXWELL, D.; OSTER, E.; LYNCH, S. Evaluating the Applicability of Repurposed Entertainment Virtual Reality Devices for Military Training. **ModSim 2018**, n. 0028, p. 1–10, 2018.

MAYAGOITIA, R. E.; NENE, A. V.; VELTINK, P. H. Accelerometer and rate gyroscope measurement of kinematics: An inexpensive alternative to optical motion analysis systems. **Journal of Biomechanics**, v. 35, n. 4, p. 537–542, 2002.

MAZZAROPPI, M.; VICENTE BRITO MOREIRA, M. DE; SC OUMAR DIENE, D.; SAMI HAZAN, S. Sensores De Movimento E Presença. 2007. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10001369.pdf>>.

MICRO SWITCH TM Basic Switches Line Guide. **Honeywell**, 2009.

Mouser Electronics. Disponível em: <https://br.mouser.com/?gclid=CjwKCAiAj_xBRBjEiwAmRbqYkJMra_zRav80DaevURfGoDJVp12-fclr1jx2oTxmfzO41wX4Wmx4BoCPpUQAvD_BwE>. Acesso em: 6 fev. 2020.

NETTO, A. V. Desempenho de profissionais da área de segurança Aplicação de treinamento simulado para medir desempenho de profissionais da área de segurança Artigo técnico apresentado à Associação. n. November, 2016.

NETTO, A. V. Desenvolvimento e implementação do protótipo de malha laser para simulador de treinamento na área de segurança. p. 73–82, 2017.

NGUYEN, D.; LE, H. Kinect Gesture Recognition : SVM vs RVM. **2015 Seventh International Conference on Knowledge and Systems Engineering (KSE)**, p. 395–400, 2015.

OBDRZALEK, S.; KURILLO, G.; OFLI, F.; BAJCSY, R.; SETO, E.; JIMISON, H.; PAVEL, M. Accuracy and robustness of Kinect pose estimation in the context of coaching of elderly population. **Proceedings of the Annual International**

Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS, p. 1188–1193, 2012.

OCETE, G. V. La realidad virtual y sus posibilidades didácticas. p. 1–17, 2003.

OLIVEIRA, M. De. Simulador de abordagem. **FAPESP**, p. 70–71, 2016.

OMNI. Disponível em: <<http://www.omniautomacao.com.br/sensor-capacitivo>>. Acesso em: 10 maio. 2018.

Omron. Disponível em: <<https://industrial.omron.mx/es/products/e2eq---il>>. Acesso em: 10 maio. 2018.

PATSADU, O.; NUKOOLKIT, C.; WATANAPA, B. Human Gesture Recognition Using Kinect Camera. p. 28–32, 2012.

PATSKO, L. F. Tutorial – Aplicações, Funcionamento e Utilização de Sensores. **Maxwell Bohr: Instrumentação eletrônica**, p. 84, 2006.

PINHEIRO, E. B.; GOMES, G. A. M.; ANTONIO, J. M. L.; COUTINHO, E. F.; VIDAL, C. A.; NETO, J. B. C. Requirements for Development of a Low Cost Portable Simulator for Shooting Skill Training. **Proceedings - 18th Symposium on Virtual and Augmented Reality, SVR 2016**, p. 234–238, 2016.

PINTO TAVARES, R. **Desenvolvimento de um dispositivo passivo para reabilitação motora de uma mão**. 2014. Disponível em: <http://www.fahor.com.br/publicacoes/TFC/EngMec/2014/Mauri_Rafael_Beck.pdf>. Acesso em: 10 de maio 2017>.

PIZZOL, L. D.; SANTA, U. F. De. O emprego da Realidade Virtual no treinamento policial para o enfrentamento de criminosos com ênfase nos chamados encontros mortais: Uma abordagem baseada na Teoria Geral de Sistemas. p. 1–146, 2014.

Plataforma Brasil. Disponível em: <<https://plataformabrasil.saude.gov.br/login.jsf>>. Acesso em: 9 fev. 2020.

POLANYI, M. **PERSONAL KNOWLEDGE Towards a Post-Critical Philosophy**. [s.l: s.n.]

Polar. Disponível em: <<https://www.polar.com/br/produtos>>. Acesso em: 11 maio. 2018.

POLLOCK, B.; WINER, E.; GILBERT, S.; DE LA CRUZ, J. LVC interaction within a mixed-reality training system. **Proc. SPIE**, v. 8289, p. 82890K–82890K–10, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1117/12.912193>>.

RAMÍREZ LEÓN, Y. del V.; ROSAS ESPÍN, D. Aplicación de la teoría de estilos de aprendizaje al diseño de contenidos didácticos en entornos virtuales. **Etic@net**, v. 2, n. 14, p. 8, 2014. Disponível em: <<http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4942225&info=resumen&idioma=SPA>>.

RANKIS, I.; KIPLOKS, J.; VJATERS, J. Shooting Simulator System. v. 8, n. 8, p. 1–6, 2008.

RAVI, N.; DANDEKAR, N.; MYSORE, P.; LITTMAN, M. M. L. Activity Recognition from Accelerometer Data. **Proceedings, The Twentieth National Conference on Artificial Intelligence and the Seventeenth Innovative Applications of Artificial Intelligence Conference**, p. 1541–1546, 2005. Disponível em:

<<http://www.aaai.org/Papers/IAAI/2005/IAAI05-013>>.

RODRIGUES DA SILVA, C. G. Avaliação da qualidade da informação na área da saúde: Aplicação de algoritmos de aprendizado de máquina. p. 1–14, 2017.

RODRIGUES PG, P. C. Realidade Virtual: Conceitos, Evolução, Dispositivos E Aplicações. **Interfaces Científicas**, p. 97–109, 2013.

RUIZ, C. Sistemas De Seguridad: DEDALO. p. 1–7, 2012. Disponível em: <http://www.isa-spain.org/images/biblioteca_virtual/redundancia_sist..pdf>.

S. BEEBY, G. ENSELL, M. KRAFT, N. W. **MEMS Mechanical Sensors**. [s.l.: s.n.].v. 53

SAHA, S.; GHOSH, S.; KONAR, A. Gesture Recognition From Indian Classical Dance Using Kinect Sensor. 2013.

SAHA, S.; PAL, M.; KONAR, A.; BHATTACHARYA, D. Automatic Gesture Recognition for Health Care Using ReliefF and Fuzzy kNN. (J. K. Mandal, S. C. Satapathy, M. Kumar Sanyal, P. P. Sarkar, A. Mukhopadhyay, Eds.) In: Information Systems Design and Intelligent Applications, New Delhi. **Anais...** New Delhi: Springer India, 2015.

SCATT Shooter Training Systems. Disponível em: <<http://www.scatt.com/>>. Acesso em: 24 nov. 2017.

Scikit-learn 0.22.1 documentation. Disponível em: <<https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.ensemble.RandomForestClassifier.html>>. Acesso em: 23 jan. 2020.

SENTURIA, S. D. Chapter 21: A piezoelectric rate gyroscope. **Microsystem Design**, v. 1952, 1952.

SHUMAKER, R.; LACKEY, S. Augmented Reality Training of Military Tasks: Reactions from Subject Matter Experts. **Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)**, v. 9179, n. November, 2015.

SILVA, M. « a Simulação Como Parte Do Treino Operacional ». 1999.

SILVA, M. L.; MARTUCCI, H. N.; SANTI, R. M. De; FRÈRE, A. F. Determinação automática da ansiedade por detecção computadorizada de sinais biológicos. p. 118–119, 2007.

Simulogica. Disponível em: <<http://www.simulogica.com.br/services>>. Acesso em: 8 fev. 2018.

Sintres. Disponível em: <http://www.sintres.com/simulador_de_tiro.htm>. Acesso em: 9 fev. 2018.

SLATER, M.; WILBUR, S. A framework for immersive virtual environments (FIVE): Speculations on the role of presence in virtual environments. **Presence: Teleoperators and Virtual Environments**, v. 6, n. 6, p. 603–616, 1997.

SOARES, S. Creation , validation , and reliability of a shooting simulator instrument for reaction time evaluation. p. 277–282, 2016.

SOETEDJO, A.; ASHARI, M. I.; MAHMUDI, A.; NAKHODA, Y. I. Camera-based shooting simulator using color thresholding techniques. **Proceedings of 2013 3rd International Conference on Instrumentation, Control and Automation, ICA 2013**, p. 207–211, 2013.

SOETEDJO, A.; MAHMUDI, A.; ASHARI, M. I.; NAKHODA, Y. I. Low cost shooting simulator based on a single board computer. **American Journal of Applied Sciences**, v. 12, n. 2, p. 130–141, 2015.

SOETEDJO, A.; MAHMUDI, A.; IBRAHIM ASHARI, M.; NAKHODA, Y. I. Detecting laser spot in shooting simulator using an embedded camera. **International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems**, v. 7, n. 1, p. 423–441, 2014.

SOETEDJO, A.; NURCAHYO, E.; NAKHODA, Y. I. Development of a cost-effective shooting simulator using laser pointer. **Proceedings of the 2011 International Conference on Electrical Engineering and Informatics, ICEEI 2011**, n. July, 2011.

SOUSA, F. E. Monitorização de Provas de Educação Física. 2009.

STONE, R. The virtual trainer. **Nature**, v. 477, p. 406, 2011.

TALHAN, A.; JEON, S. Pneumatic Actuation in Haptic-Enabled Medical Simulators: A Review. **IEEE Access**, v. 4, n. c, p. 1–1, 2017. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/8240585/>>.

TAYLOR, G. S.; BARNETT, J. S. Evaluation of Wearable Simulation Interface for Military Training. **Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society**, v. 55, n. 3, p. 672–690, 2013. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0018720812466892>>.

Tecnologia Intel® RealSense™. Disponível em: <<https://www.intel.com.br/content/www/br/pt/architecture-and-technology/realsense-overview.html>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

Tekscan. Disponível em: <<https://www.tekscan.com/product-group/embedded-sensing/force-sensors>>. Acesso em: 10 maio. 2018.

TENG, Y.; ZENG, Y. B. Application of UML in military communication simulation training system. **2009 International Conference on Signal Processing Systems, ICSPS 2009**, p. 38–41, 2009.

TONG, K.; GRANAT, M. H. A practical gait analysis system using gyroscopes. **Medical Engineering and Physics**, v. 21, n. 2, p. 87–94, 1999.

TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. **Fundamentos e tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**. [s.l.: s.n.]

TROIANO, R.; BERRIGAN, D.; DODD, K.; MÂSSE, L.; TILERT, T.; MCDOWELL, M. Physical activity in the United States measured by accelerometer. **Med Sci Sport Exer**, v. 40, n. 1, p. 181–188, 2008.

VALERIO NETTO, A. Application of interactive technology for training in the security area. **2015 Xvii Symposium on Virtual and Augmented Reality**, p. 127–132, 2015.

VIEIRA DOS REIS, A.; GONÇALVES, B.; SANTOS GARCI, F. L. Um Estudo em Interfaces Tangíveis: Avaliação de Usabilidade de um Simulador de Armas de Fogo. **Human Factors in Design**, p. 4–22, 2014. Disponível em: <<http://www.revistas.udesc.br/index.php/hfd/article/view/5050>>.

VILLAREJO, C. A.; JUAN, M. C.; GONZÁLEZ, C. **Simulador de Tiro con captura laser**. 2015. 2015.

WALLACE, J.; KAMBOURIS, S. Realism in Modeling and Simulation with Implications for Virtual Reality, Augmented Reality, and Immersive Environments. **MODSIM World**, p. 42–48, 2017. Disponível em: <http://www.modsimworld.com/papers/2017/Realism_in_Modeling_and_Simulation_with_Implications_for_VR_AR_and_IE.pdf>.

WARD, D. S.; EVENSON, K. R.; VAUGHN, A.; RODGERS, A. B.; TROIANO, R. P. Accelerometer use in physical activity: Best practices and research recommendations. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 37, n. 11 SUPPL., 2005.

WENDLING, M. Sensores. **Unesp**, v. 2, p. 19, 2010. Disponível em: <<http://www2.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/4---sensores-v2.0.pdf>>.

WONG, W. Y.; WONG, M. S.; LO, K. H. Clinical applications of sensors for human posture and movement analysis: A review. **Prosthetics and Orthotics International**, v. 31, n. 1, p. 62–75, 2007.

WU, G.; LADIN, Z. The study of kinematic transients in locomotion using the integrated kinematic sensor. **IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering**, v. 4, n. 3, p. 193–200, 1996.

Xbox. Disponível em: <<https://www.xbox.com/en-US/xbox-one/accessories/kinect>>. Acesso em: 14 maio. 2018.

YOSHIDA, E. A.; CASTRO, M. L. A.; MARTINS, V. F. Virtual Reality and Fetal Medicine – A Systematic Review. 2017.

ZAMBONI, A. B.; THOMMAZO, A. D.; HERNANDES, E. C. M.; FABBRI, S. C. P. F. StArt – Uma ferramenta para apoio ao processo de revisão sistemática. **Brazilian Conference on Software: Theory and Practice - Tools session**, p. 2005, 2010.

ZHANG, H.; DU, W.; LI, H. Kinect Gesture Recognition for Interactive System. p. 1–5, 2012.

Apêndice A – Revisão Sistemática Da Literatura

O objetivo desta revisão foi agrupar os trabalhos relacionados para identificar os tipos de simuladores, as suas características, os desafios e seu impacto atual. Também é de interesse determinar se incluem ferramentas de avaliação no próprio simulador, em caso de que fosse assim, identificar quais indicadores são avaliados.

O processo de revisão sistemática foi dividido em quatro fases. Na primeira fase é realizada uma pesquisa inicial exploratória para detectar pesquisas preliminares, palavras-chave, fontes de busca de impacto neste tema, desafios e lacunas. Na fase seguinte é realizado um planejamento no qual se determina o objetivo da pesquisa, as fontes de busca, as línguas do estudo, as variáveis que serão pesquisadas, as questões de pesquisa, os critérios de inclusão-exclusão, as palavras-chave e as strings de busca. Na fase de condução, é realizada a busca e são selecionados os artigos utilizando os critérios determinados na fase anterior. Na última fase, são extraídos os dados importantes para a pesquisa, facilitando a análise dos resultados.

Pesquisa Inicial Exploratória

Realizou-se uma revisão sistemática da literatura sobre o uso de Simuladores de Realidade Virtual nos treinamentos na área de segurança após uma pesquisa inicial exploratória da literatura. Para facilitar a revisão foi utilizado o software StArt (State of the Art through Systematic Review) (ZAMBONI et al., 2010), que permite organizar a pesquisa e apoia com relatórios de resultados.

Durante a pesquisa inicial foi utilizado o Google Acadêmico por meio do qual foram levantados vários artigos em espanhol, português e inglês. Esta pesquisa inicial ajudou a direcionar a revisão, localizando as palavras-chave e as fontes de busca mais relevantes, na formação de conceitos e na construção da visão da pesquisa.

Durante a pesquisa inicial exploratória foi detectada a relevância da simulação virtual no treinamento e durante o aprendizado na área de segurança e defesa. A simulação virtual é segura, já que a arma do simulador não utiliza

munição e, portanto, não oferece risco de acidentes durante o treino. A simulação também permite redução dos custos, devido a não utilização de munições e simplificação da logística. As armas utilizadas durante o treino virtual são as mesmas de um treinamento real, o que aumenta o nível de realismo durante os exercícios. Permite a avaliação detalhada tendo em conta um maior número de parâmetros de estudo como o tempo de reação, respostas a incidências e a capacidade de resposta. O treinamento pode ser em qualquer hora e não importa as condições ambientais. Podem ser simuladas situações que no treinamento real não podem ser simulados, desta forma os agentes podem estar treinados para situações extremas. Elimina-se o sensível problema do impacto ambiental provocado pela exercitação de forças nos campos (SILVA, 1999; OLIVEIRA, 2016).

Na pesquisa inicial desenvolvida no mês de maio de 2018, utilizando-se as palavras-chave e nas bases bibliográficas apresentadas na Tabela 3-2, não foi detectado nenhum artigo ou trabalho de revisão sistemática sobre simuladores de treinamento na área de segurança. Os trabalhos relacionados encontrados realizam uma visão geral, não profunda, do uso dos simuladores na área de treinamento militar.

Neste contexto, Lele (2013) apresenta uma avaliação sobre a relevância da RV para os militares. São tratadas as diferentes aplicações da Realidade Virtual na área militar em diferentes momentos como no treinamento marítimo, na aviação, design de engenharia, aplicações médicas e por último, simulações de guerras. São analisados de forma geral a relevância e as vantagens do uso para treinar e preparar aos militares para os eventos reais.

Devido à pouca existência de trabalhos relacionados a esta área, pesquisou-se em outras áreas semelhantes e foram detectados trabalhos de revisões com interesses muito similares à nossa pesquisa. Barles et al. (2005) analisam a história e as tendências dos simuladores que são desenvolvidos atualmente na indústria, especificamente centram-se em identificar quais aspectos foram muito explorados, como tecnologias gráficas e de áudio e planejamento de cenários, e aqueles menos explorados, como outras modalidades de interação e comportamentos de agentes, incluindo linguagem e adaptabilidade.

Na área médica existem vários artigos de revisões devido ao grande volume de pesquisas nessa área. O uso de simuladores com dispositivo háptico (TALHAN; JEON, 2017), o uso de simuladores com técnicas em estereoscopia (AFONSO; BERGAMASCO; NUNES, 2011), a medicina fetal (YOSHIDA; CASTRO; MARTINS, 2017), avaliação de habilidades sensório-motoras (ANJOS; TORI, 2012), entre outras.

Na área da indústria Koźlak (2014) realiza uma visão geral da utilidade dos simuladores para treinar procedimentos complexos e evitar os erros na produção, devido a seu potencial para desenhar treinamentos e soluções educacionais.

Planejamento e condução

A busca eletrônica foi realizada mediante as seguintes bases: IEEEExplore, ACM, Web of Science, Scopus, Portal do Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade de São Paulo (SIBiUSP) e Science Direct. Durante o estudo buscadas respostas para as seguintes questões de pesquisa: Quais as principais características de simuladores de realidade virtual para treinamento na área de segurança? Há avaliação automatizada? Quais parâmetros são avaliados?

Foram incluídos os artigos escritos em quaisquer dos três idiomas, Espanhol, Inglês e Português, que apresentassem a descrição do simulador utilizado, ou técnicas para sistemas de simulação focadas no treinamento de tiro ou abordagem na área de segurança. Os artigos excluídos do estudo foram os que não usam tecnologia de Realidade Virtual, aqueles de áreas diferentes de militar, policial ou de segurança. Não foram selecionados textos no formato de: cartas, editoriais, notícias, comentários de profissionais, estudos de caso e artigo sem resumo.

Para a revisão inicial, foram selecionados os artigos analisando o título e as palavras-chave, verificando assim se há relação com a nossa pesquisa. No caso de não ficar claro o tema do artigo com a análise do título, foi analisado o resumo do trabalho.

As *strings* de busca utilizadas são apresentadas na Tabela 1. Para a determinação das *strings* de busca foram analisadas as palavras-chave

relacionadas com a nossa pesquisa formando *strings* abrangentes devido ao escasso referencial existente nesta área.

Tabela 1. Bases de busca e as strings utilizadas.

Base de dados	Busca em	String
IEEE Xplore	Metadata	((Virtual AND Training AND Simulator) AND ((Military) OR (Police) OR (Security))) OR ("Firearm simulator") OR ("Approach simulator") OR ("shooting simulator")
ACM	Resumo	((Virtual AND Training AND Simulator) AND ((Military) OR (Police) OR (Security))) OR ("Firearm simulator") OR ("Approach simulator") OR ("shooting simulator")
Web Of Science	Metadata	((Virtual AND Training AND Simulator) AND ((Military) OR (Police) OR (Security))) OR ("Firearm simulator") OR ("Approach simulator") OR ("shooting simulator")
Scopus	Título Resumo Palavras-chave	((Virtual AND Training AND Simulator) AND ((Military) OR ("Police") OR ("Security"))) OR ("Firearm simulator") OR ("Approach simulator") OR ("shooting simulator")
Science Direct	Título Resumo Palavras-chave	((military AND training AND virtual AND simulator) OR (firearm AND simulator))

Fonte: Autor

Extração de dados

Como explicado na seção anterior, para realizar a revisão sistemática foi implementada a metodologia explicada no fluxograma da Figura 1. Primeiramente foi realizada a pesquisa nas bases de dados mencionadas acima, e foram encontrados um total de 643 artigos com as strings anteriores. Desse total foi aplicada a revisão inicial ficando um total de 119 artigos, descartando 365 devido a que o título, palavras-chaves ou resumo, não coincidem com o objetivo da pesquisa. Com os artigos aceitos se procedeu a aplicar os critérios de inclusão e exclusão. No total foram aceitos 27 artigos que cumpriram com os critérios de inclusão antes expostos.

Figura 1: Processo de Revisão Sistemática.

Fonte: Autor.

Os resultados da pesquisa realizada podem ser observados na Tabela 2. Foi calculado o *index rate*, sendo a relação dos artigos aceitos para incluir no estudo e o total dos inclusos. Também se mostra o índice de precisão que é a relação entre os artigos inclusos e do total recuperado.

Tabela 2. Resumo dos resultados da Revisão Sistemática nas fontes de busca.

Data-base	Encontrados	Revisão Inicial			Critérios de inclusão/exclusão		Index rate	Precisão rate
		Aceitos	Rejeitos	Duplicados	Aceitos	Rejeitos		
IEEE	93	17	43	33	7	10	0,259	0,05
ACM	102	21	77	4	2	19	0,074	0,019
Web of Science	136	29	67	40	6	23	0,222	0,044
Scopus	303	49	173	81	12	37	0,444	0,039

Science Direct	9	3	5	1	0	3	0,000	0,000
Total	643	119	365	159	27	92	1,000	0,041

Fonte: Autor.

As três fontes de busca que ofereceram maior quantidade de artigos relacionados ao tema pesquisado são: Scopus, IEEE e WoS.

As duas fontes que obtiveram maior nível de precisão durante a busca foram IEEE e WoS, o que significa que realizam uma busca mais precisa e exata do conteúdo pesquisado.

As variáveis de estudo foram: Fonte de dados, Objetivo da pesquisa, tipo de simulador e nível de imersão (Tabela 3).

Os simuladores foram classificados em: tiro e abordagem. Os simuladores tiro são os que se centram em treinar o acerto do tiro. Dentre os simuladores de abordagem há várias classificações que serão explicadas a seguir.

- Abordagem “Tomada de decisão” é quando, mediante o uso do simulador, são representados exercícios ou atividades que levam o treinando a realizar uma tomada de decisão entre duas ou várias alternativas de reação, avaliando assim suas habilidades e julgamento.
- Abordagem “Postura” é um sistema que captura e avalia a posição do treinando, utilizado quando as posturas e os gestos são significativos para a avaliação e para o treinamento, tendo em conta que nem todos os exercícios ou cenários é necessário avaliar as posturas.
- Abordagem “Ações humanas” refere-se um sistema que capture e classifique uma ação completa.
- Abordagem “Comunicação” centra-se em métodos para implementar comunicação durante os sistemas de treinamento com simulação.
- Abordagem “*Cybersickness*” é utilizada quando o estudo ou o cenário planejado é para medir os efeitos do **cybersickness** no uso de dispositivos de Realidade Virtual.

- Abordagem “Geral”, é quando o estudo se centra no desenvolvimento de técnicas, metodologias ferramentas para melhorar de alguma forma os simuladores de abordagem.

O nível de imersão vai ser classificado em dois parâmetros: Imersivo ou não imersivo. De acordo com Valerio Netto et. al (2002) o sistema imersivo está definido por um sistema utilizando óculos de RV em um ambiente controlado que brinde sensação de presença no cenário criado. Não imersivo são os sistemas criados com telas de projeção, onde o treinando não sente presença na cena projetada.

Tabela 3. Lista dos 27 artigos selecionados.

Autor(es)	Fonte	Objetivo do trabalho	Tipo de simulador	Sistema de imersão
(VALERIO NETTO, 2015)	Web of Science	Apresentar uma aplicação de simuladores de segunda geração para treinamento na área de segurança.	Abordagem Tomada de decisão	Não imersivo
(KOŽLAK; NAWRAT; KURZEJA, 2014)	Scopus	Apresenta como a tecnologia de RV e Computação Gráfica (CG) é usada hoje pela indústria, assim como para o treinamento militar e apoio de tropas	Abordagem Tomada de decisão	Imersivo
(PIZZOL; SANTA, 2014)	Scopus	Descrever um sistema de treinamento que permita reproduzir, em um ambiente virtual, o treinamento policial para o enfrentamento de criminosos com ênfase nos chamados encontros mortais.	Abordagem Tomada de decisão	Não imersivo
(KWON; KIM; LEE, 2016)	Web of Science	Propor um sistema melhorado multiview de reconhecimento de ações humanas num protótipo de simulador de treinamento militar virtual.	Abordagem Postura	Não imersivo
(BOGATINOV et al., 2017)	Scopus	Apresentar uma visão geral do simulador de armas de baixo custo com base no sensor de movimento Kinect que fornece resultados altamente correlacionados com resultados reais ao vivo.	Tiro	Não imersivo
(KWON et al., 2017)	IEEE	Prover um ambiente de treinamento interativo utilizando múltiplos sensores Kinect para o reconhecimento de gestos e posturas humanas, aumentando os graus de liberdade na mobilidade do treinando.	Abordagem Ações Humanas	Não imersivo
(LEE et al., 2015)	Web of Science	Propor um controle de parâmetros de estimação de algoritmo para o simulador de treinamento virtual usando dois tipos de sensores de captura de movimento e apresentar os resultados experimentais.	Abordagem Ações Humanas	Não imersivo
(EMOND; FOURNIER; LAPOINTE, 2010)	ACM	Apresentar o estado atual da especificação de requisitos para um ambiente de treinamento virtual de táticas baseado em iniciativa. A metodologia de coleta de requisitos seguiu três processos simultâneos de análise de tarefas,	Abordagem Tomada de decisão	Imersivo

		especificação de armas simuladas e modelagem cognitiva.		
(SHUMAKER; LACKEY, 2015)	Scopus	Avaliar a eficácia do treinamento utilizando o sistema de Treinamento de Equipe em (Augmented Immersive) (AITT). Sendo uma solução portátil de treinamento de realidade aumentada. Foi avaliado a utilidade do treino, usabilidade, satisfação, presença, imersão e adequação das dicas fornecidas pelo sistema.	Abordagem Tomada de decisão	Imersivo
(SOETEDJO et al., 2013)	Scopus	Apresentar um simulador de tiro baseado em câmera. Consiste numa câmera anexada à arma que capturar a imagem do tiro projetada pelo laser disparado da arma.	Tiro	Não imersivo
(SOETEDJO et al., 2015)	Scopus	Propor um sistema de baixo custo incorporando uma câmera no sistema de armas usado como o simulador de tiro. O computador de placa única é usado como o processador principal, e o OpenCV é implementado para o processamento da imagem. O objetivo da câmera é detectar a posição dos marcadores no alvo e no ponto laser.	Tiro	Não imersivo
(SOARES, 2016)	Scopus	Criar, desenvolver e validar um instrumento de simulador para avaliar o tempo de reação de disparo em um simulador.	Tiro	Não imersivo
(SOETEDJO et al., 2014)	Scopus	Aplicar um sistema de câmera embutida para detectar pontos de laser no simulador de tiro. O simulador de disparo proposto usa uma caixa de destino específica onde o alvo é montado, a câmera embutida é instalada dentro da caixa para capturar a imagem do ponto laser.	Tiro	Não imersivo
(SOETEDJO; NURCAHYO; NAKHODA, 2011)	IEEE	Apresentar o desenvolvimento de um simulador de tiro rentável, empregando sensores de fotodiodo para detectar o laser. Para diminuir o custo, os sensores são dispostos em linhas e colunas. Também é desenvolvida uma ferramenta eficaz para monitorar o processo de gravação.	Tiro	Não imersivo
(LABR; HAGARA, 2017)	IEEE	Fornecer um simulador de tiro de plataforma gratuita e de código aberto LASER, ferramentas de medição e acessos disponíveis para os atiradores e pessoas interessadas em disparar.	Tiro	Não imersivo
(PINHEIRO et al., 2016)	Web of Science	Propor os requisitos para uma implementação de modelo praticável de simulador de tiro portátil e de baixo custo, enquanto mantém o nível de imersão e se concentra no treinamento de um grande número de estagiários simultâneos.	Tiro	Não imersivo
(VILLAREJO; JUAN; GONZÁLEZ, 2015)	Manual	Criar um simulador de tiro que capture um laser mediante uma câmera web utilizando essa captura como ponto de referência para representar um disparo em um mundo virtual.	Tiro	Não imersivo
(TAYLOR; BARNETT, 2013)	Web of Science	Avaliar a efetividade do treinamento de uma nova interface de simulação, um computador portátil identificado no equipamento de carga de um soldado.	Tiro	Não imersivo

(KINGKANGWAN; CHALAINANT; KUMSAP, 2016)	Web of Science	Fornecer o conceito de desenvolver um algoritmo para classificar a identificação de armas para os treinamentos em grupo.	Tiro	Não imersivo
(POLLOCK et al., 2012)	Web of Science	Discutir um sistema de ambiente imersivo, o desenvolvimento de hardware para interações live-virtual, com rastreamento em ambientes ocluídos e uma arquitetura que suporta a transferência de informações de entidades em tempo real em muitos sistemas para capacitar a interação LVC em um ambiente reconfigurável e misto de realidade.	Abordagem Tomada de decisão	Imersivo
(NETTO, 2017)	Scopus	Desenvolvimento de um protótipo de Sistema de malha laser para a captura dos projéteis de um simulador de tiro.	Tiro	Não imersivo
(MARTONO, 2016)	IEEE	Discutir o design de ambientes virtuais em um sistema de simulador de tiro, utilizando a tecnologia de Realidade Aumentada.	Tiro	Não imersivo
(RANKIS; KIPLOKS; VJATERS, 2008)	Web of Science	Descrever sistemas comuns de simulação de tiro e sua análise atualmente utilizada nas forças armadas. A descrição e os principais conjuntos de requisitos para os sistemas de tiroteio de pelotão, suas propriedades e falhas. Contém informações sobre partes principais de simuladores de tiro e dados sobre o simulador de disparo SAIKU-8.	Tiro	Não imersivo
(TENG; ZENG, 2009)	IEEE	Desenvolver um método científico e eficaz para a implementação do sistema de treinamento de simulação de equipamentos de comunicação militar.	Abordagem Comunicação	Não imersivo
(CÁRDENAS; LOACHAMÍN; CALDERÓN, 2018)	Scopus	Desenvolver um Sistema de RV para avaliar os sintomas associados à cybersickness na área militar e se podem ser aliviados.	Abordagem cybersickness	Imersivo
(MAXWELL et al., 2018)	Scopus	São estudados os dispositivos de óculos de Realidade Virtual de baixo custo dentro dos treinamentos na área militar, demonstrando que introduz deficiências visuais que comprometem o desempenho de algumas tarefas.	Abordagem cybersickness	Imersivo
(WALLACE; KAMBOURIS, 2017)	Scopus	Esclarecer os requisitos para o realismo; elucidar o significado do realismo no que se refere a diferentes comunidades; e enquadrar conceitos-chave na representação da realidade.	Abordagem Geral	Imersivo

Fonte: Autor

Na National Institute of Technology (ITN) da Indonésia (SOETEDJO et al., 2013) foi desenvolvido no ano 2013 um sistema de câmera móvel para disparar ao simulador, onde a câmera e o ponteiro laser estão conectados na mesma arma. Para detectar o *laser* e o alvo foi realizado um experimento utilizando a técnica de limiar da cor vermelha, em que os resultados finais foram satisfatórios. Soetedjo et al. (2015) acoplaram uma câmera para a detecção do *laser*, neste caso utilizando o módulo Raspberry Pi para executar as tarefas de

processamento de imagem. No experimento o desempenho na detecção de tiro foi superior a 85% e o erro de detecção de alvo inferior a 0,8%.

Soetedjo et.al (2011) desenvolveram um simulador de tiro com um sensor de fotodiodo para detectar o *laser*. Neste caso, como no anterior, o sensor está acoplado ao alvo de padrão circular. Foram utilizados 183 sensores de fotodiodo espalhados no alvo, e para validar a proposta foi realizado um experimento com diferentes condições de luminosidade. Os resultados foram satisfatórios para condições entre 7 – 5000 luxes, no entanto, entre 6000 – 7000 luxes falha a detecção do laser. Soetedjo et.al (2014) apresentaram um sistema de câmera embutido que detecta os pontos de laser no simulador de tiro. A câmera embutida (CMUCam4) é instalada dentro de uma caixa para capturar o alvo de padrão circular e a imagem do laser. A partir dos experimentos resultou que o sistema é capaz de localizar o alvo e detectar ponto laser em tempo real a 30fps. Os erros no cálculo da pontuação do disparo e a detecção do ponto laser foram de 3,82% e 0,68% respectivamente, sendo resultados muito precisos.

Soares (2016) desenvolveu uma ferramenta simples e de baixo custo envolvendo velocidade, precisão e tarefas de tiro de decisão que pode ser usada para fins de pesquisa ou para fins de treinamento militar. Consiste em uma arma eletrônica sem fio compatível com Windows Vista ou XP e qualquer tipo de monitor. O software foi desenvolvido na plataforma Java SE 7, usando imagens projetadas na tela do computador. Os resultados do experimento realizado foram satisfatórios embora não exista um valor de referência para fazer as comparações.

Villarejo et. al (2015) desenvolveram um simulador de tiro com captura laser para treinar pontaria e capacidade de reação. O simulador é composto por uma câmera web (OptiTrack V-120), a qual visualiza um ambiente virtual emitido pelo projetor e detecta o ponto laser disparado, enviando as imagens para um ordenador para seu processamento. Neste caso foi utilizado o método de umbralização para detectar o ponto *laser*. Este método encarrega-se de separar o fundo dos objetos encontrados (neste caso o ponto *laser*).

Bogatinov et al. (2017) utilizaram o sensor Kinect para desenvolver um simulador de baixo custo, que seja capaz de detectar o ponto *laser*. É utilizado o aplicativo Microsoft Kinect SDK para calcular o ponto de mira na tela, por meio da entrada dos sensores incorporados do Kinect. Foram criados três módulos

para fazer os testes utilizando diferentes pontos de calibração e estruturas matemáticas para a transformação com precisão o ponto de direcionamento do tiro na coordenada de pixel adequada. O experimento também avalia duas distâncias, de 2,5 e 3,5 metros. Como resultado, o terceiro módulo, é o mais efetivo com um coeficiente de correlação de Pearson de 0,82 baseados nos resultados do treinamento real. Este módulo utiliza equações não lineares em uma distância de 2,5 m.

Lábr e Hagara (2017) desenvolveram um simulador de baixo custo livre e de código aberto chamado LASER. São utilizados componentes de hardware e software para fazer as práticas de tiro utilizando o simulador proposto. Hit Analyzer é o principal software do projeto e sua função é avaliar o disparo em tempo real provendo um feedback ao atirador, utilizando os dados da webcam e do ponteiro laser acoplado a arma. Outros softwares como Shooting Analyzer, Weapon Sensors, Data Downloader e Analyzer são para visualizar os dados da posição do tiro, e sincronizar os dados em tempo real. Como componentes de hardware são utilizados a arma real, o sensor acoplado, com a duração do raio *laser* superior a 35 milissegundos devido a uma webcam comum, demora 33 milissegundos em capturar a imagem. O autor também comenta fatores que afetam a precisão de um disparo como desencadeamento, agitação da arma, batimento cardíaco e a respiração, mas o simulador só analisa as duas primeiras.

Alguns autores dirigem sua pesquisa para simuladores que sejam, além de baixo custo, portáteis e que garantam simultaneidade. Neste contexto, Pinheiro et. al (2016) propõem os requisitos necessários para implementá-lo. Os requisitos identificados como essenciais foram: laser vermelho, câmera comum, projetor multimídia, computador, estande de tiro fechado ou de tiro aberto, simulação com vídeo, calibrador do *laser*, adição de vídeos, configuração das simulações e integração por módulos. Como requisito opcional a tela de projeção e como desejáveis, o sistema de som e o cadastro de atiradores. Finalmente foram identificados como requisitos não funcionais o tempo de operação do *laser*, disponibilidade do servidor e o tempo de treinamento. Para tornar este simulador portátil foi substituído a comum luz infravermelha, por um feixe de luz vermelha, que possui menor custo de aquisição e não requer um ambiente controlado como o caso da luz infravermelha, assim os autores conseguiram garantir também a portabilidade do simulador.

Outro experimento que garante simultaneidade é desenvolvido por Kingkangwan et. al (2016). O objetivo desse projeto de pesquisa é provar o conceito de desenvolver um algoritmo para classificar a identificação de armas para ajudar a criar módulos de treinamentos coletivos. A técnica de sincronização de imagem foi utilizada para interagir o disparo com um módulo de microcontrolador. Os resultados mostraram que o sistema conseguiu identificar os disparos corretamente.

Um experimento envolvendo simuladores portáteis foi apresentado por Taylor e Barnett (2013). O objetivo era integrar uma nova interface *wearable* de simulação com um dispositivo portátil de simulação ao equipamento do treinando desenvolvido pela Quantum3D chamado ExpeditionDI. Esta nova interface foi comparada mediante dois experimentos com um simulador de *desktop*. Os principais resultados foram que a nova interface *wearable* era mais difícil de usar e provocava sintomas mais fortes. Não houve diferença significativa na retenção do treinamento entre os métodos (*wearable* ou *desktop*). A interface usável proporcionou pouca usabilidade, por tanto foi a ferramenta de treinamento menos efetiva.

Outro desenho de sistema portátil é apresentado por Shumaker e Lackey (2015) utilizando técnicas de Realidade Aumentada (RA). Nesse caso, o simulador proposto utiliza elementos de Realidade Aumentada para treinar tarefas militares mediante o uso de óculos. Foram realizados 7 questionários para medir: Utilidade na execução de tarefas; Satisfação; Usabilidade; Fidelidade; *Sickness*; Presença e Imersão. De forma geral o simulador teve bons resultados, e foram determinadas recomendações de uso para evitar doenças (utilizar o simulador um tempo inferior a 30 minutos) e aumentar o sentimento de imersão e presença.

Continuando no contexto de RA, Martono (2016) propõe um simulador de tiro usando componentes de RA. Para o desenvolvimento do experimento foi utilizado uma webcam, a arma e computador. Foram utilizadas as bibliotecas OpenGL, ARToolKit e VRMLpad, via Visual Studio com a linguagem C++. O processo de detecção foi a base de marcadores e como resultado se determinou que para o marcador ser reconhecido é necessária uma distância mínima de 20cm e máxima de 300cm.

Desde o ano 1990 foi encontrada uma patente utilizando dispositivos mais avançados para avaliar diferentes aspectos no treinamento (HALL, 1990). Além da avaliação do acerto do tiro, são incorporados outros sensores no sistema para avaliar outros fatores de interesse, como sensores de posição e sensor no colete. Rankins et.al (2008) comenta que é importante descobrir fatores físicos dos atiradores como o pulso, o nível de tremor biológico e menciona dois sensores (sensor de tremor e sensor de pulso) utilizados no simulador russo SCATT para medir esses indicadores.

No ano 2010, no Institute for Information Technology (IIT) (EMOND; FOURNIER; LAPOINTE, 2010), foi desenvolvido um projeto com intenção principal de permitir que os formandos adquiram habilidades de táticas baseadas em iniciativa em um ambiente tão parecido quanto possível as condições operacionais. Para lograr isso são apresentadas situações, condições, procedimentos e requisitos necessários para avaliar durante o treinamento. São propostos alguns elementos como o deslocamento, os movimentos do corpo, a varredura (movimento da cabeça), a fala, para ser avaliados mediante sensores espalhados pela sala de treinamento.

Netto (2015) acoplou um dispositivo de verbalização (comando de voz) ao simulador para medir a conduta verbal e comprovar que a verbalização foi efetuada de forma correta. É utilizado para treinar a tomada de decisão nos poucos segundos que antecederem uma ação e capacitar à percepção do usuário no momento de um confronto. Teng e Zeng (2009), utilizaram a técnica UML (Unified Modeling Language) para o desenvolvimento de um sistema de treinamento de comunicação militar, para ajudar a extensão e atualização de todo o sistema de equipamentos de comunicação virtual.

Além dos esforços dedicados na melhora dos sistemas em quanto hardware, há muitas pesquisas focadas em aumentar o conforto e realismo na modelagem incrementando o nível de imersão e presença durante o desenvolvimento de ambientes virtuais nas simulações (WALLACE; KAMBOURIS, 2017). Incluso pesquisas atuais na área militar também estão tendo em conta o fato dos efeitos do cybersickness e realizam pesquisas para diminuir estes efeitos e aumentar o conforto durante os treinamentos

(CÁRDENAS; LOACHAMÍN; CALDERÓN, 2018). Continuando neste contexto, Maxwell et al. (2018) advertem sobre as consequências dos treinamentos militares usando óculos de Realidade Virtual de baixo custo. Sua qualidade baseada no baixo custo, introduz deficiências visuais comprometendo o desenvolvimento de algumas tarefas durante o treino, tais como detectar sinais de dispositivos explosivos a distância.

Estas pesquisas são úteis e de grande valor para melhorar o estado do treinando, o engajamento e a imersão durante o processo de aprendizado e treinamento.

Discussão

Existe uma ampla quantidade de países pesquisando sobre este tema, embora a maior prevalência de artigos é em Estados Unidos, Indonésia e Brasil. Na Figura 2 são apresentadas algumas estatísticas referentes (a) aos principais países pesquisadores deste tema e (b) aos anos das publicações. Pode-se observar no gráfico que o tema do estudo é de relevância atual, concentrando a maior parte dos artigos nos últimos 5 anos, além de demonstrar a importância mundial do estudo.

(a) Países dos artigos aceitos

(b) Anos dos artigos aceitos estudado

Figura 2: Estatísticas resultantes da revisão sistemática.

Fonte: Autor.

A América Latina possui poucas pesquisas nesse assunto, representando só 22% das pesquisas totais com a presença de 3 países, Brasil, México e Equador de um total de 20 países representando esta zona. Por outro lado, América do Norte, com só 3 países, Estados Unidos, México e Canada, tem uma representação maior de pesquisas nesta área, com 26%. As pesquisas na Europa diminuem a 15%, e a maior parte das pesquisas pertencem à Ásia representando 41% das pesquisas totais.

Esta diversidade de países interessados em pesquisar e implementar este tipo de simuladores é motivado pelas inúmeras vantagens que proporcionam. É um fato conhecido que a tecnologia é extremamente importante para a eficácia militar para qualquer estado-nação. O uso dos simuladores virtuais para a simulação da realidade é essencial pela razão de que não pode haver um “treinamento no trabalho”. Nos treinamentos reais torna-se extremamente difícil simular ou demonstrar ao pessoal militar os desafios mentais e físicos que são expostos no seu dia-dia (LELE, 2013). Outro motivo de êxito dos simuladores é o potencial para praticar tiro de baixo custo, sem investir em munições, aluguel de stand de tiro real, diminuir os altos custo de deslocamento da equipe ao stand. Permite além repetitividade dos treinamentos fixando as técnicas ensinadas para aprimoramento do conhecimento (NETTO, 2015). Provê economia de dinheiro e tempo; alta disponibilidade; possibilidade de padronização; e mecanismos de avaliação (PINHEIRO et al., 2016).

Para demonstrar a eficiência do uso do simulador para os treinamentos Netto realizou um experimento (NETTO, 2015) onde comparou os resultados de dois grupos no treinamento do stand de tiro real. Um dos dois grupos tinha realizado um treinamento prévio no simulador de tiro virtual. Como resultado o grupo que treinou a priori no simulador de tiro virtual teve um maior desempenho no treinamento de tiro real, medido pelos acertos nos disparos.

Devido ao êxito do uso dos simuladores para os treinamentos nesta área, existiu um avanço de geração nesta tecnologia. Os primeiros simuladores (primeira geração) permitem o treinamento de tiro, atualmente existem simuladores de segunda geração que mediante técnicas mais avançadas conseguem treinar a abordagem mediante a voz e a movimentação do corpo.

Este simulador permite não só treinar a ação, mas também a fala onde o treinando consegue se envolver mais com a situação de forma psicológica e física, aumentando assim seu nível de imersão, sentindo uma sensação maior de realidade no fato que esteja acontecendo na simulação (NETTO, 2015).

Os artigos analisados, em sua maior parte, tentam desenvolver simuladores de baixo custo (SOETEDJO; NURCAHYO; NAKHODA, 2011; SOETEDJO et al., 2013, 2014, 2015; VILLAREJO; JUAN; GONZÁLEZ, 2015; PINHEIRO et al., 2016; SOARES, 2016; BOGATINOV et al., 2017; LABR; HAGARA, 2017) devido ao alto preço dos simuladores comerciais. O foco dos trabalhos é principalmente a captura. A seguir são analisadas algumas técnicas e ferramentas utilizadas para desenvolver simuladores de tiro de baixo custo. Na prática, atualmente é muito difícil obter uma alta experiência de RV em dispositivos de baixo custo, principalmente devido a limitações técnicas, poder de processamento e resolução de imagens, dificultando o processo de imersão. No entanto, espera-se que essas limitações sejam superadas com o uso de processadores e tecnologias de imagem mais eficientes e econômicos ao longo do tempo.

Hoje em dia, os sistemas RV e os equipamentos de visualização ultrapassam muitas limitações anteriormente existentes e permitem que os usuários se comuniquem e cooperem entre si no mundo digital, bem como reduzir os custos e o número de exercícios reais necessários para o treinamento de pessoal militar. Durante os exercícios militares padrão, a vida do soldado geralmente não está em perigo, o que torna muito difícil estudar sua característica comportamental individual, sua capacidade de analisar ameaças, identificar situações emergentes e processo de tomada de decisão em uma ameaça à vida situação. A RV permite organizar condições de combate perigosas em um ambiente potencialmente seguro.

Analisando os resultados da pesquisa sistemática, e os dados capturados referentes aos anos e países das pesquisas pode-se concluir que este é um tema atual que está sendo pesquisado por diversos países ao redor do mundo e note-se um aumento destes artigos nos últimos anos.

Na prática, atualmente é muito difícil obter uma alta experiência de realidade virtual em dispositivos de baixo custo, principalmente devido a limitações técnicas, de poder de processamento e resoluções de imagem, dificultando o processo de imersão. No entanto, espera-se que essas limitações sejam eventualmente superadas pelo uso de tecnologias de processador e imagem mais eficientes e econômicas ao longo do tempo.

O principal foco dos trabalhos estudados são os simuladores de tiro, demonstrado em 52% dos artigos. A maior parte foca-se em criar simuladores de baixo custo, devido aos altos preços no mercado. Além de ser o principal foco, do total dos artigos que falam do termo baixo custo, 90% deles não explicam qual é o significado do baixo custo. Este dado pode variar dependendo do país, do impacto do projeto e das diferentes economias das pessoas. Acho que seria conveniente uma análise mais profunda definindo o que é baixo custo durante a pesquisa.

Existem poucas pesquisas referentes a sistemas de avaliação, 13 pesquisas, representando 48% das pesquisas estudadas como mostrado na Figura 3.

Figura 3: Classificação dos simuladores.

Fonte: Autor.

Incluir nos simuladores um sistema de avaliação automatizado diminui os erros humanos nas avaliações e a subjetividade. Avaliações de posturas, emoções, respiração, fala, localização são alguns dos indicadores propostos que podem determinar se um treinando está capacitado para desempenhar uma tarefa. Incorporar aos simuladores exercícios para treinar a tomada de decisão pode ajudar a determinar as atitudes dos treinando.

Nos artigos analisados referentes a simuladores de abordagem, Figura 4, a maior parte das pesquisas centra-se em simuladores de Abordagem Tomada de decisão (46%), representando quase a metade das pesquisas relacionadas aos simuladores de abordagem. Quanto ao sistema de simulação utilizado, 74% das pesquisas utilizam sistemas não imersivos com telas de projeção, sendo só 26% utilizando sistema de imersão com óculos de Realidade Virtual, sendo a escassez de pesquisa que utilizam sistemas imersivos, uma lacuna nesta área (Figura 5). Sugere-se incrementar as pesquisas com sistemas mais imersivos, e fazer testes e sistemas para avaliar o nível de imersão e de realismo durante os treinamentos. Isto auxilia a qualidade dos treinamentos e do aprendizado.

Figura 4: Sistemas de avaliação implementados.

Fonte: Autor.

Figura 5: Sistema de imersão.

Fonte: Autor.

Durante o estudo foi percebido que somente 29% do total de artigos realizam experimentos práticos em campo para avaliar os parâmetros do simulador. De forma geral, 81% dos artigos estudados mensuram indicadores quantitativos do simulador, a maioria acertos do tiro, sendo apenas 37% dos artigos estudados que falam de indicadores qualitativos, como posturas, ansiedade, nível de tremor, imersão. Nenhum artigo apresentado apresenta metodologias de ensino nem se focou propriamente na educação, no impacto que traz a simulação durante o processo de aprendizagem. Na maioria dos artigos os autores afirmam que é uma ferramenta útil e de relevância para o processo de ensino e treinamento, pero só 1 dos artigos estudados realizaram experimentos para comprovar essa afirmação.

Conclusões

Na área de segurança (segurança pública ou privada) uma atitude inadequada do profissional pode gerar um impacto negativo diante dos clientes e da sociedade. Essas ocorrências de erros na abordagem podem até ser suscetíveis a processos judiciais para reparação de danos morais e trabalhistas.

Mesmo assim, o treinamento de segurança é realizado em pequena quantidade e espaçado no tempo, principalmente devido aos altos custos envolvidos com a logística de transporte, pagamento de horas extras e com a mobilização de grupos de funcionários que precisam ir a um estande de tiro para realizar atividades práticas no caso de manipulação de armas de fogo. Além disso, essas atividades não permitem grande interatividade, pois são usados alvos de papel inanimados e fixos. Profissionais são colocados principalmente na frente de um alvo e isso não transmite um senso de realidade que simule a realidade que eles irão encarar na sua rotina de trabalho.

Ainda há um agravamento, pois há muitos profissionais para treinar e poucos instrutores treinados. Os estandes de tiro estão cada vez mais longe da base e em pequena quantidade e hoje em dia para realizar um treinamento extra na própria empresa, não existem ferramentas, o que o tornem praticamente inviável. Os simuladores de abordagem permitem um treinamento mais efetivo, permitindo um maior envolvimento psicológico com a ação, passando ao senso de realidade, onde a reação, o recuo, o som, a iluminação, "transportarão" tanto

o policial quanto o vigilante para o momento real. Esse tipo de sistema virtual propõe a quebra de paradigma no processo de treinamento contínuo. Além disso, é importante lembrar que os simuladores podem atender à necessidade da atual doutrina policial e também da segurança privada que é o uso de uma arma de fogo como último recurso diante de uma situação crítica. Antes de disparar, há todo um processo que vai desde a presença do profissional de segurança realizando uma observação, memorização e descrição de uma situação-problema, passando pela verbalização, até chegar a um tiro de arma de fogo.

Os principais componentes e requisitos para o desenvolvimento de um simulador de baixo custo foram identificados. Diferentes tipos de projeções foram usados em *display*, projetor e óculos. Assim, diferentes designs para a captura foram apresentados: câmeras integradas na arma, câmera embutida no alvo e sensores de movimento. Diferentes técnicas foram utilizadas para detectar o laser, como o uso do sensor fotodiodo.

Analisando os resultados da pesquisa sistemática, e os dados capturados para os anos e países da pesquisa permite que este seja um tema atual sendo pesquisado por vários países ao redor do mundo e um aumento destes artigos tem sido verificado nos últimos anos. O foco principal dos estudos são os simuladores de tiro, demonstrados em 52% dos artigos. A maioria se concentra na criação de simuladores de baixo custo, devido aos altos preços de mercado. Além de ser o foco principal do total de artigos que falam do termo "baixo custo", 90% dos autores não explicam o que o termo significa. Este termo pode variar dependendo do país, do impacto do projeto e das diferentes situações econômicas. Uma análise mais aprofundada seria apropriada para definir o "baixo custo" de um simulador de treinamento. Especialmente se aplicado na área de defesa e na área de segurança pública e privada.

Finalmente, é importante enfatizar que a formação contínua é fundamental para permitir que o profissional desempenhe adequadamente suas atividades, bem como para entender a real segurança de sua capacidade de reagir a uma situação de risco. Com um simulador, não se treina apenas a memória muscular, mas a capacidade mental de uma reação instintiva. Além disso, é importante que, uma situação de confronto, seja conduzida por uma

ação conclusiva que não exija o uso de força extrema. Como por exemplo, o uso de tiros de armas de fogo no calor de uma ação com a adrenalina em alta e sem qualquer preparação dificilmente será o adequado.

Apêndice B – Termo de consentimento livre e esclarecido

Prezado(a) Participante,

Você está sendo convidado(a) para participar voluntariamente de um projeto de pesquisa intitulado **Captura de posturas de segurança utilizando o sensor de movimentos corporais**. A pesquisa é realizada pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), orientada pelo Prof. Dr Romero Tori e coordenada pela pesquisadora mestranda Claudia de Armas de Armas. **O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética CAAE 18322819.1.0000.5464.**

Esta pesquisa tem como objetivo principal automatizar o processo de avaliação de 6 posturas para os treinamentos de agentes de segurança em um simulador de Realidade Virtual. Como objetivos secundários obter os dados das coordenadas do corpo mediante o sensor de movimentos corporais; treinar e testar um classificador de reconhecimento de 6 posturas pré-estabelecidas; criar um banco de dados de coordenadas de posturas e disponibilizá-lo facilitando a pesquisa nesta área e selecionar o classificador mais eficiente dentro do cenário proposto.

A pesquisa contribuirá com o desenvolvimento dos simuladores de Realidade Virtual nessa área, e permitirá a criação de um sistema de reconhecimento de posturas automatizado que apoie o trabalho do instrutor para avaliações mais confiáveis e eficientes. Para isso, a **sua participação é muito importante**, e ela se dará da seguinte forma: Primeiramente os participantes devem assinar o termo de consentimento livre e esclarecido, o qual lhes será entregue antes de se iniciar o experimento. Será fornecida aos participantes uma explicação do experimento exibindo-lhes a guia de posturas que devem ser realizadas. Entrará na sala um participante por vez. Haverá um ajudante na sala que explicará o posicionamento e dará as instruções das posturas. Durante o experimento o participante não utilizará arma de fogo real, será utilizada uma réplica. Serão tomadas 5 capturas de coordenadas por cada postura diferente. As capturas serão tomadas pelo ajudante do experimento quando o participante lograr fazer a postura certa. No total, devem-

se fazer 6 posturas, sendo tomadas 30 amostras por participante. As posturas serão filmadas para utilizar os vídeos para validar o classificador com assessoria de instrutores capacitados.

Durante o experimento não há potencialmente riscos importantes.

De qualquer forma por favor reportar qualquer desconforto durante o experimento. Nesse caso, será necessário interromper imediatamente o experimento.

Gostaríamos de esclarecer que sua participação é totalmente voluntária, podendo você recusar-se a participar ou desistir a qualquer momento, sem que isto acarrete qualquer ônus ou prejuízo à sua pessoa. Não há custos de nenhuma espécie na participação da pesquisa e nenhum dano está associado à participação.

Informamos que os dados coletados serão utilizados somente para os fins desta pesquisa, e serão tratados com o mais absoluto sigilo e confidencialidade, de modo a preservar a sua identidade.

Informamos, ainda, que a sua participação no procedimento será filmada e que as imagens poderão ser divulgadas, se autorizado.

O principal local da pesquisa será no Laboratório de Tecnologias Interativas (Interlab), localizado em Av. Prof. Luciano Gualberto travessa 3, no. 158, sala C2-45, São Paulo, no prédio de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP). Outras salas do mesmo edifício também poderão ser utilizadas.

Este termo deverá ser preenchido em duas vias de igual teor, sendo uma delas, devidamente preenchida e assinada, entregue a você. Além da assinatura nos campos específicos pelo pesquisador e por você, solicitamos que sejam rubricadas todas as folhas deste documento. Isto deve ser feito por ambos (pelo pesquisador e por você, como sujeito ou responsável pelo sujeito de pesquisa) de tal forma a garantir o acesso ao documento completo.

Agradecemos, desde já, a sua valiosa colaboração.

Eu,,
portador do documento de
identidade,....., declaro que fui
devidamente esclarecido e concordo em participar VOLUNTARIAMENTE da
pesquisa intitulada “Captura de posturas de segurança utilizando o sensor
de movimentos corporais”.

São Paulo, _____ de _____ de 20__

Assinatura do participante

Assinatura do(a) Pesquisador(a)

Qualquer dúvida com relação à pesquisa poderá ser esclarecida com o
pesquisador, conforme o endereço abaixo:

Claudia de Armas de Armas

Av. Prof. Luciano Gualberto travessa 3, no. 158

Prédio da Engenharia Elétrica - sala C2-45

Cidade Universitária

CEP 05508-010

São Paulo – SP

TEL (11) 3091-5282

E-mail: claudiadearmas92@usp.br

Qualquer dúvida com relação aos aspectos éticos da pesquisa poderá ser
esclarecida com o Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos do
CEP-IB, Instituto de Biociência no endereço abaixo:

CEP- IB - USP

Endereço: Rua do Matão, Travessa 14, nº 321, CEP 05.508-090, São Paulo/SP

Tel: (11) 3091-8761

E-mail: cepibusp@ib.usp.br

Apêndice C – Tutorial comunicação Kinect – Visual Studio

Este apêndice contém as informações necessárias para o completo funcionamento e acesso aos dados fornecidos pelo sensor *Microsoft Kinect®* no Visual Studio. Abaixo são listados os equipamentos utilizados:

- *Sensor Microsoft Kinect® for Xbox360;*
- *Fonte adaptadora para o sensor Microsoft Kinect®;*
- *Computador com processador Intel(R) Core(TM) i5 – 5200U CPU @2.20 GHz, memória RAM 8,00 GB, sistema operacional Windows 10, 64-bit;*
- *Software Visual Studio 2017*

Tem que garantir que seus dispositivos Kinect estejam conectados corretamente e que o dispositivo possa reconhecê-lo (Figura 6).

Gerenciamento do computador → Gerenciador de dispositivos → *Kinect for Windows*

Figura 6: Verificação de dispositivos conectados

Fonte: Autor

Para o desenvolvimento foi utilizado o Python dentro do Visual Studio e foi necessário instalar os seguintes programas e pacotes:

- CPython 2.7 32-bit
- Kinect SDK 32-bit: <http://kinectforwindows.org/>
- Pygame: <http://www.pygame.org/download.shtml>
- PyKinect: é um pacote de Python disponível em **PyPI**

Uma vez instalado, pode-se começar um novo projeto Pygame usando o Pykinect como apresentado na Figura 7.

Figura 7: Começar um novo projeto usando PyKinect.

Fonte: Autor.

Apêndice D – Código para as capturas de coordenadas

```
import thread
import itertools
import ctypes
import pykinect
import pygame
import cv2
import csv
import sklearn
import panda
import time
from Tkinter import *
from pykinect.nui import JointId
from pygame.color import THECOLORS
from pygame.locals import *
from matplotlib import pyplot as plt
from sklearn.externals import joblib
import Treinamento as class
```

Figura 8: Importações das bibliotecas necessárias para a captura de dados.

Fonte: Autor

```
def draw_skeletons(skeletons):
    global isDrawSkeletonExec
    if isDrawSkeletonExec:
        return;
    isDrawSkeletonExec = True

    pygame.draw.rect(screen, (0, 0, 255), pygame.Rect(155, 20, 280, 440), 5)

    for index, data in enumerate(skeletons):
        HeadPos = skeleton_to_depth_image(data.SkeletonPositions[JointId.Head], dispInfo.current_w, dispInfo.current_h)
        if HeadPos != (0.0, 0.0):
            body = [LEFT_ARM, RIGHT_ARM, LEFT_LEG, RIGHT_LEG, SPINE]
            global print_points
            if print_points == True :
                line = []
                for el in data.SkeletonPositions:
                    pos = str(el)
                    pos = re.findall("->[0-9]+\.", pos)
                    pos = pos[0], pos[1], pos[2]
                    line += pos

                pos_eva = Evaluar(line)

                Resultado(str(pos_eva[0]), str(pos_eva[1]))

            print_points = False
```

```

else:
    None
global csv_points
if csv_points == True :
    print(str(skeletons))
    with open('dataset.csv', mode='a') as dataset_file:
        dataset_writer = csv.writer(dataset_file, delimiter=';', quotechar='\"', quoting=csv.QUOTE_MINIMAL)
        line = []
        for el in data.SkeletonPositions:
            pos = str(el)
            pos = re.findall("-?\d+\.\d+", pos)
            pos = pos[0], pos[1], pos[2]
            print(pos)
            line += pos
        line += raw_input("Entre com o numero da postura: ")
        dataset_writer.writerow(line)
        print("Saved")
    csv_points = False
else:
    None

draw_skeleton_data(data, index, SPINE, 10)
pygame.draw.circle(screen, SKELETON_COLORS[index], (int(HeadPos[0]), int(HeadPos[1])), 20, 0)

draw_skeleton_data(data, index, LEFT_ARM)
draw_skeleton_data(data, index, RIGHT_ARM)
draw_skeleton_data(data, index, LEFT_LEG)
draw_skeleton_data(data, index, RIGHT_LEG)
isDrawSkeletonExec = False

```

Figura 9: Função principal para capturar e salvar os dados no csv.

Fonte: Autor.

Apêndice E – Código para os treinamento e testes dos classificadores

```
import pandas as pd
import numpy
import pickle
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.svm import SVC
from sklearn.metrics import classification_report, confusion_matrix
from sklearn.linear_model import LogisticRegression
from sklearn.multiclass import OneVsRestClassifier
from sklearn.neighbors import KNeighborsClassifier
from sklearn.ensemble import RandomForestClassifier
from sklearn.neural_network import MLPClassifier
from sklearn.metrics import accuracy_score
from sklearn import metrics
from sklearn.metrics import recall_score
from sklearn.metrics import f1_score
from sklearn.externals import joblib
```

Figura 10: Importações das bibliotecas necessárias para o treinamento e classificação.

Fonte: Autor

```
data = pd.read_csv("dataset.csv", delimiter=';')
data.head()

X = data.drop('Classe', axis=1)
y = data['Classe']
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size = 0.30, random_state=42)

#SVM (Support vector machine)
svclassifier = SVC(kernel='poly', degree=8, probability=True)
svclassifier.fit(X_train, y_train)
SVC_prediction = svclassifier.predict(X_test)

#KNN (K-Nearest Neighbor)
knn = KNeighborsClassifier(n_neighbors=2)
knn.fit(X_train, y_train)
KNN_prediction = knn.predict(X_test)

#Random Forest
rf = RandomForestClassifier(n_estimators=10, max_depth=10, random_state=42)
rf.fit(X_train, y_train)
rf_predictions = rf.predict(X_test)
```

Figura 11: Definição de parâmetros e treinamento dos classificadores.

Fonte: Autor

Figura 12 é a função que recebe por parâmetros a posição capturada pelo Kinect e retorna a postura classificada e a confiabilidade, chamando a função *pre* da outra classe. Esta outra função *pre* recebe os pontos da posição capturada com a estrutura correta para ser classificado utilizando o arquivo treinado como se apresenta na Figura 13, sendo só realizado para o SVM.

```
def Avaliar (pos_eva):
    new_str = eval('[' + str(pos_eva) + ']')
    var = class.pre(new_str)
    predict_proba1 = var[1]
    predict = var[0]
    return predict, predict_proba1
```

Figura 12: Função que retorna a postura classificada e a confiabilidade.

Fonte: Autor

```
joblib.dump(svclassifier, 'train_rbf_SVM.pkl',1)

def pre (pr):
    fittedModel = joblib.load('train_rbf_SVM2.pkl')
    aynew = svclassifier.predict(pr)
    apynew = svclassifier.predict_proba(pr)
    arr0=numpy.array(apynew)
    maxElementSVR = numpy.amax(arr0)*100
    return aynew, maxElementSVR
```

Figura 13: Função que realiza a classificação da postura e a confiabilidade.

Fonte: Autor