



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Eduardo Gabriel Queiroz Palmeira

**Técnica de Entrada de Texto por meio de um
Teclado Ambíguo Controlado por uma Mão para
Realidade Virtual Baseada em *Smartphones***

Uberlândia
2021

Eduardo Gabriel Queiroz Palmeira

**Técnica de Entrada de Texto por meio de um
Teclado Ambíguo Controlado por uma Mão para
Realidade Virtual Baseada em *Smartphones***

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Processamento da Informação
Linha de Pesquisa: Computação Gráfica

Orientador: Prof. Alexandre Cardoso, Dr.

Coorientador: Prof. Regis Kopper, Ph.D.

Uberlândia

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

P172t
2021
Palmeira, Eduardo Gabriel Queiroz, 1995-
Técnica de entrada de texto por meio de um teclado ambíguo controlado por uma mão para realidade virtual baseada em *smartphones* [recurso eletrônico] / Eduardo Gabriel Queiroz Palmeira. - 2021.

Orientador: Alexandre Cardoso.

Coorientador: Regis Kopper

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.5569>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Engenharia elétrica. I. Cardoso, Alexandre, 1964-, (Orient.). II. Kopper, Regis, 1978-. III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. IV. Título.

CDU:621.3

Glória Aparecida
Bibliotecária - CRB-6/2047

EDUARDO GABRIEL QUEIROZ PALMEIRA

**TÉCNICA DE ENTRADA DE TEXTO POR MEIO DE UM
TECLADO AMBÍGUO CONTROLADO POR UMA MÃO PARA
REALIDADE VIRTUAL BASEADA EM *SMARTPHONES***

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador:

Prof. Dr. Alexandre Cardoso
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

Coorientador:

Prof. Dr. Regis Kopper
University of North Carolina at Greensboro (UNCG)

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Marcelo Barros de Almeida
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

Prof. Dr. Leandro Resende Mattioli
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG)

Uberlândia, 28 de Julho de 2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 3N - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902

Telefone: (34) 3239-4707 - www.posgrad.feelt.ufu.br - copel@ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Engenharia Elétrica				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 761, PPGEELT				
Data:	Vinte e oito de julho de dois mil e vinte um	Hora de início:	14:00	Hora de encerramento:	16:30
Matrícula do Discente:	11922EEL001				
Nome do Discente:	Eduardo Gabriel Queiroz Palmeira				
Título do Trabalho:	Técnica de entrada de texto por meio de um teclado ambíguo controlado por uma mão para realidade virtual baseada em smartphones				
Área de concentração:	Processamento da informação				
Linha de pesquisa:	Computação gráfica				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Título: Metodologias para desenvolvimento de Jogos/Jogos Sérios Agência Financiadora: CAPES - Início 2014 Término __/__/__ No. do Projeto na agência: Professor Coordenador: Alexandre Cardoso.				

Reuniu-se por meio de videoconferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, assim composta: Professores Doutores: Marcelo Barros de Almeida - FEELT/UFU; Leandro Resende Mattioli - CEFET/MG; Alexandre Cardoso - FEELT/UFU, orientador(a) do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr(a). Alexandre Cardoso, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado(a).

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Marcelo Barros de Almeida, Professor(a) do Magistério Superior**, em 28/07/2021, às 16:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alexandre Cardoso, Professor(a) do Magistério Superior**, em 28/07/2021, às 16:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Leandro Resende Mattioli, Usuário Externo**, em 29/07/2021, às 12:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2936545** e o código CRC **4970041C**.

*Este trabalho é dedicado ao meu tio Gecione Silva.
Saudades eternas.*

Agradecimentos

Faço um agradecimento primeiramente à Deus que, em sua graça e misericórdia, me deu o sonho, a oportunidade e a capacitação. Sou grato, também, ao meu pai, Eduardo Telles Palmeira e à minha mãe, Odaque Queiroz Palmeira, pelo amor, investimento e confiança. Agradeço de modo particular ao meu pai, que teve sua formação acadêmica na primeira turma de Engenharia Elétrica com ênfase em Computação da UFU (1990) e me apresentou aos meus orientadores. Ainda, agradeço à ele pela colaboração nesse projeto.

Agradeço, também, especialmente à minha irmã Anna Carollina Queiroz Palmeira, que admiro muito, pelos conselhos de vida e inspiração. À minha noiva Aline Megumi Matsushita, por compartilhar seus sonhos comigo. Ao meu sogro, Raul Matsushita, pelos conselhos sobre a carreira acadêmica que escolhi seguir. À minha tia, Maria Cione Chrisóstomo, por me apoiar e abrigar em sua casa por alguns meses. Aos meus primos, Lucas Gonçalves e Isabella Telles, pela companhia e suporte. Aos meus amigos de laboratório, Victor Saint Martin, Ígor Moraes, Victor Barbosa, Júlio Melazzo, Leonardo Nery e Gustavo Pacheco, pela colaboração e amizade. Agradeço também aos professores Alexandre Cardoso, Edgard Lamounier e Regis Kopper pelos ensinamentos e orientações; a todos do Grupo de Realidade Virtual e Aumentada (GRVA) da UFU, por seus eventuais conselhos; e a todos que, mesmo não estando citados aqui, indiretamente tornaram possível a realização desse trabalho — sem vocês nada disso seria possível.

Por fim, agradeço ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por fornecer o fomento necessário para a realização do meu projeto.

“...devemos procurar aproveitar as características humanas e o poder computacional para desenvolvermos sistemas interativos que melhorem a vida das pessoas, trazendo bem-estar, aumentando sua produtividade, satisfazendo suas necessidades e desejos, e respeitando suas limitações e valores.”
(BARBOSA et al., 2021)

Resumo

A Realidade Virtual (RV) *mobile* é a forma mais acessível ao público geral. No entanto, apesar dessa acessibilidade, devido a limitações de *hardware* e falta de sensores, a RV *mobile* permite um rastreamento, desempenho e experiência gráfica inferior quando comparada à RV baseada em computadores de alto desempenho. A entrada de texto é um processo recorrente onde, geralmente, os caracteres desejados são apontados e, em sequência, selecionados individualmente por meio da técnica de seleção *ray-casting* (ponteiro virtual). Entretanto, esta técnica possui diversas limitações. Tais limitações existem com maior intensidade na RV *mobile* já que, nesta, se utiliza somente um controle de mão de RV com apenas 3 graus de liberdade (movimentos de rotação). Além disso, as técnicas de entrada de texto baseadas em reconhecimento de voz também possuem limitações; destacam-se limitações na edição de texto e na privacidade e imprecisão de uso em ambientes públicos. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo geral propor a associação de técnicas de teclados ambíguos como estratégia de interação para o processo de entrada de texto em ambientes de RV suportados por *smartphones*. Considera-se que, ao utilizar a técnica, o usuário utilizará o *headset* para visualização do Ambiente Virtual (AV), o controle de mão de RV para navegação no texto e interação com o AV e o teclado ambíguo para o processo de entrada de texto. Assim sendo, este trabalho apresenta a pesquisa em andamento do projeto e desenvolvimento de (1) um protótipo de teclado físico ambíguo (4x4) controlado por uma mão e (2) uma técnica de entrada de texto para RV *mobile* usando o método da *Design Science Research*. Esta técnica mostrou possuir o potencial de ser uma alternativa ou extensão para o processo de entrada de textos curtos para RV *mobile*. Ainda assim, foi identificada a necessidade de aprimoramentos e comparações empíricas como importantes etapas futuras deste trabalho.

Palavras-chave: Realidade Virtual. Entrada de Texto. Interação Humano-Computador.

Abstract

Mobile-based Virtual Reality (VR) is the most affordable way for the general public. However, despite this affordability, due to hardware limitations and lack of sensors, mobile VR enables an inferior tracking, performance, and graphical experience compared to high-end personal computer-based VR. Text input is a frequent process where, usually, the desired characters are pointed and then selected individually through the ray-casting selection technique (virtual pointing). Nevertheless, this technique has several limitations. Such limitations exist with greater intensity in mobile VR since only one VR hand controller with just 3 degrees of freedom (rotation movements) is used. Furthermore, the speech-based text entry techniques also have limitations; it is worthy of highlighting limitations regarding text editing, as well as privacy issues and inaccuracy when used in public environments. In this way, this work has as main objective propose the association of ambiguous keyboards' techniques as an interaction strategy for the text entry process in VR environments supported by smartphones. It is considered that, when using the technique, the user will use the headset for Virtual Environment (VE) visualization, the VR hand controller for navigating within the text and interaction with the VE, and the ambiguous keyboard for the text entry process. Therefore, this work presents the research in progress of the design and development of (1) a one-handed ambiguous physical keyboard prototype (4x4) and (2) a text entry technique for mobile VR using the Design Science Research method. This technique showed to have the potential to be an alternative or extension to the short-term text input process for mobile VR. Nevertheless, the need for improvements and empirical comparisons was identified as important future steps of this work.

Keywords: Virtual Reality. Text Input. Human-Computer Interaction.

Publicações

São publicações resultantes deste trabalho:

1. PALMEIRA, E.; MORAES, Í.; TELLES, E.; MARTIN, V.; GONÇALVES, V.; KOPPER, R.; LAMOUNIER JR., E.; CARDOSO, A. One-handed text entry in mobile-based virtual reality: An ambiguous keyboard technique. In: AHRAM, T; FALCÃO, C. (Eds.). **Advances in Usability, User Experience, Wearable and Assistive Technology**. Cham: Springer, 2021. p. 310-318. ISBN 978-3-030-80091-8. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-80091-8_36>.
2. PALMEIRA, E.; KOPPER, R.; LAMOUNIER JR., E.; CARDOSO, A. Using a design science research methodology process to design a text entry technique for mobile VR. In: **1st Student Workshop - VII Iberoamerican Conference on Human-Computer Interaction (HCI)**. CEUR-WS, 2021. No prelo.
3. PALMEIRA, E.; MARTIN, V.; MORAES, Í.; KOPPER, R.; LAMOUNIER JR., E.; CARDOSO, A. O uncanny valley das mãos virtuais em aplicações de realidade virtual imersiva: Uma revisão sistemática da literatura. **RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação**, v. 2020, n. E31, p. 497-512, 2020. Disponível em: <<https://www.proquest.com/docview/2496338859>>.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Processamento do sistema de Realidade Virtual.	24
Figura 2 – Sistema de Realidade Virtual não-imersiva.	25
Figura 3 – Sistema de Realidade Virtual imersiva.	25
Figura 4 – Sistema de Realidade Virtual imersiva utilizando a caverna digital para visualização do ambiente virtual.	27
Figura 5 – <i>Headset</i> e controle de mão de Realidade Virtual <i>mobile</i> da Samsung Gear VR.	28
Figura 6 – Sistema de interação integrado no <i>Headset</i> Samsung Gear VR.	28
Figura 7 – <i>Headset</i> de Realidade Virtual <i>mobile</i> da Google Cardboard.	29
Figura 8 – Técnica de seleção <i>ray-casting</i>	30
Figura 9 – Técnica <i>ray-casting</i> usando dois controles de mão de Realidade Virtual e usando a orientação da cabeça (<i>headset</i>).	30
Figura 10 – A representação de Mori do fenômeno do <i>uncanny valley</i> em relação aos robôs/animatrônicos.	33
Figura 11 – Diferentes tipos de representações de mãos virtuais.	35
Figura 12 – Síntese dos conceitos e fundamentos da <i>Design Science Research</i>	39
Figura 13 – Método fundamentado da <i>Design Science Research</i>	42
Figura 14 – Processo de seleção de trabalhos correlatos.	46
Figura 15 – Processo de entrada de texto da técnica <i>RingText</i>	48
Figura 16 – Processo de entrada de texto da técnica <i>DepthText</i>	48
Figura 17 – Processo de entrada de texto da técnica de Realidade Mista baseada em <i>smartphones</i> de Knierim et al. (2020).	50
Figura 18 – Base e placa de circuito impresso utilizadas no protótipo do teclado ambíguo.	54
Figura 19 – <i>Switch</i> de alto <i>feedback</i> tátil utilizado no protótipo do teclado ambíguo.	55
Figura 20 – Protótipo do teclado ambíguo com as teclas circulares brancas impressas em 3D acopladas nos <i>switches</i>	55

Figura 21 – Captura de tela do teste de visão computacional rastreando quais teclas estão sendo oclusas pelos dedos do usuário.	57
Figura 22 – <i>Sub-layouts</i> da técnica de entrada de texto.	59
Figura 23 – Cenário virtual da aplicação de Realidade Virtual <i>mobile</i> desenvolvida.	62
Figura 24 – Exemplo de <i>feedbacks</i> visuais da representação visual do teclado ambíguo.	63
Figura 25 – Visão computacional do sistema rastreando a posição dos dedos do usuário em relação ao teclado ambíguo.	64
Figura 26 – Tela de captura da aplicação desenvolvida para Realidade Virtual <i>mobile</i>	65

Lista de tabelas

Tabela 1 – Critérios de Inclusão (CI), Critérios de Exclusão (CE) e suas descrições	44
Tabela 2 – Termos de busca utilizados na pesquisa avançada de cada base bibliográfica	45
Tabela 3 – Lista de estudos incluídos como trabalhos correlatos	47
Tabela 4 – Comparação de características específicas entre os trabalhos correlatos, as técnicas padrão e a técnica proposta pelo presente trabalho	52

Lista de siglas

AM Aprendizagem de Máquina

AV Ambiente Virtual

DSR *Design Science Research*

GdL Graus de Liberdade

HMD *Head-Mounted Display*

IHC Interação Humano-Computador

IMUs Sensores de Medição Inercial

RS Revisão Sistemática

RM Realidade Mista

RV Realidade Virtual

RVI Realidade Virtual Imersiva

Sumário

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Contextualização	18
1.2	Motivação	19
1.3	Objetivos	20
1.3.1	Objetivo Geral	20
1.3.2	Objetivos Específicos	20
1.4	Contribuições	21
1.5	Organização da Dissertação	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1	Realidade Virtual	23
2.1.1	Realidade Virtual Não-Imersiva	24
2.1.2	Realidade Virtual Imersiva	24
2.1.3	Realidade Virtual Baseada em <i>Smartphones</i>	26
2.2	Técnica de Entrada de Texto <i>Ray-Casting</i>	29
2.3	Experiência do Usuário em Sistemas de Realidade Virtual Imersiva	31
2.3.1	O <i>Uncanny Valley</i>	32
2.4	Conclusão	37
3	MÉTODO DE PESQUISA	38
3.1	<i>Design Science e Design Science Research</i>	38
3.2	Método Fundamentado na <i>Design Science</i>	40
3.3	Conclusão	41
4	TRABALHOS CORRELATOS	43
4.1	Metodologia	43
4.2	Etapas da Revisão Sistemática	44
4.2.1	Identificação	44

4.2.2	Triagem	45
4.2.3	Elegibilidade	46
4.2.4	Inclusão	46
4.3	Trabalhos Correlatos	47
4.4	Conclusão	50
5	PROJETO E DESENVOLVIMENTO DA TÉCNICA	53
5.1	Descrição do Protótipo	53
5.2	<i>Feedback</i> Visual e Tátil	54
5.3	<i>Layout</i>	57
5.4	Conclusão	58
6	DEMONSTRAÇÃO DA TÉCNICA	60
6.1	Dispositivos Utilizados	60
6.2	Aplicação Desenvolvida para Demonstração	61
6.3	Conclusão	65
7	CONCLUSÃO	66
7.1	Principais Contribuições	66
7.2	Limitações	67
7.3	Trabalhos Futuros	68
7.3.1	Aprimoramentos da Técnica	69
7.3.2	Estudo de Avaliação	69
7.4	Considerações Finais	73
	REFERÊNCIAS	74

Introdução

1.1 Contextualização

Nas últimas décadas, pode-se destacar a Realidade Virtual (RV) como uma das interfaces modernas de maior relevância. Por meio desta tecnologia de potencial imersivo, ambientes da vida real podem ser fielmente simulados virtualmente por meio de ambientes interativos tridimensionais gerados por computador (CARDOSO et al., 2007). Além disso, representações interativas do imaginário podem ser criadas e experienciadas em tempo real. Conseqüentemente, suas aplicações são inúmeras, sendo alguns dos exemplos consideráveis nas áreas de treinamento, educação, entretenimento e saúde (TORI; HOUNSELL; KIRNER, 2020).

Além das interações exclusivas que a própria RV proporciona, existem dispositivos projetados, de forma complementar a esta “interface avançada do usuário”, que possibilitam diferentes tipos de interação com o Ambiente Virtual (AV) (TORI; KIRNER, 2006; MACHADO; CARDOSO, 2006; COSTA; KAYATT; BOGONI, 2020). Neste sentido, a entrada de texto é um processo recorrente que pode ser realizado usando diversos dispositivos e técnicas (DUBE; ARIF, 2019). No entanto, esse processo em RV é um desafio devido a complexidade em projetar interações e dispositivos que sejam não somente eficientes, mas também, centradas no usuário.

Tradicionalmente, pelo uso dos controles de mão de RV, os caracteres desejados — exibidos na representação do teclado virtual no AV — são apontados e, em sequência, selecionados individualmente por meio da técnica de seleção *ray-casting* (ponteiro virtual) (BOWMAN et al., 2004). Entretanto, esta técnica de entrada de texto possui limitações relacionadas à tentativa de mirar no caractere desejado — por exemplo, devido ao tremor das mãos (KOPPER et al., 2010) — e à fadiga causada por utilizar ambas as mãos para digitar rapidamente (BOLETSIS; KONGSVIK, 2019).

Vale ressaltar que, além da dificuldade ao tentar mirar utilizando esta técnica de seleção (principalmente em objetos virtuais pequenos), os usuários precisam manter

a mira estável “atravessando” o objeto desejado até que a seleção seja confirmada pelos próprios usuários (pressionando um botão) ou pelo próprio sistema (tempo pré-determinado de permanência sobre o objeto). Assim, considerando que não há um suporte físico para que sejam apoiadas as mãos dos usuários, esta tarefa se torna ainda mais difícil (TU et al., 2019). Consequentemente, vários estudos têm sido desenvolvidos a fim de apresentar alternativas ao método padrão de entrada de texto para sistemas de RV (DUBE; ARIF, 2019).

1.2 Motivação

A RV baseada em *smartphones* é a forma mais barata e acessível ao público geral que deseja experienciar esta tecnologia (ZORZAL, 2020). Assim sendo, requer apenas um *smartphone* com capacidade de *hardware* e resolução de tela minimamente desejáveis, um *headset*¹ para acoplar o *smartphone* ao rosto do usuário, e um controle de mão de RV — alguns *headsets* proporcionam controle simplificado por meio de um *touchpad* em sua lateral (técnica de seleção controlada pela cabeça).

Apesar dessa acessibilidade, devido a limitações de *hardware* e falta de sensores, a RV *mobile* permite um rastreamento, desempenho e experiência gráfica inferior (SHARMA, 2015) — quando comparada à RV baseada em computadores de alto desempenho. Além disso, a RV *mobile* tem limitações relacionadas à visualização e controle, possuindo apenas 3 Graus de Liberdade (GdL) em cada uma — movimentos de rotação. Alternativamente, a RV de alto desempenho, por meio do uso de computadores de alto desempenho, *Head-Mounted Display* (HMD) — capacete de visualização — e controles de RV com rastreamento de movimento, possibilitam precisamente todos os 6 GdL — movimentos de rotação e translação. Desta forma, na RV *mobile*, as direções em que o usuário olha e aponta — com o *headset* e controle de mão de RV — são rastreadas, todavia, as posições da cabeça e mãos do usuário no espaço tridimensional, não são.

Limitações relacionadas à entrada de texto existem com maior intensidade na RV baseada em *smartphones* já que, nesta, geralmente se utiliza apenas um controle de mão de RV, enquanto na RV de alto desempenho, dois. Esta condição reduz ainda mais a velocidade de entrada de texto baseada na técnica de seleção *ray-casting*. Além disso, é recorrente que durante uma experiência imersiva na RV *mobile*, o usuário receba e envie mensagens — direcionadas ao *smartphone* utilizado — pela própria interface do sistema, fazendo com que seja desnecessário sair do mundo virtual para trocar mensagens. Esta característica destaca ainda mais a importância de se projetar novas técnicas e abordagens para a entrada de textos curtos que focam em aspectos

¹ Para os propósitos deste trabalho, a RV baseada em *smartphones* é referida como aquela experienciada apenas por meio de *headsets* ativos (ver subseção 2.1.3).

como desempenho e experiência do usuário. Do mesmo modo, a questão da manipulação deve ser considerada, já que apenas uma mão — a que segura o controle de RV — é utilizada durante a interação, enquanto a outra permanece sem uso. Por fim, vale mencionar que as técnicas de entrada de texto baseadas em reconhecimento de voz também possuem limitações (GRUBERT et al., 2018b); destacam-se limitações na edição de texto, no reconhecimento de siglas e na privacidade e imprecisão de uso em ambientes públicos.

Tais particularidades da RV *mobile* se apresentam como oportunidades para pesquisadores: a possibilidade de se projetar dispositivos inéditos de entrada de texto que sejam controlados somente pela mão disponível. Como resultado, os usuários não precisarão trocar dispositivos “cegamente” enquanto estão imersos no mundo virtual e possuem sua visão do mundo real bloqueada pelo *headset* e, ainda, poderão ter seu desempenho e experiência de digitação aprimorados.

1.3 Objetivos

Os objetivos deste trabalho seguem os conceitos do *design* de interação e da *design science* (ver Capítulo 3). O *design* de interação tem como objetivo projetar produtos interativos que apoiam a forma como as pessoas interagem e se comunicam (ROGERS; SHARP; PREECE, 2013); já a *design science* (ciência do projeto), como um novo paradigma epistemológico para condução de pesquisas, tem como objetivo “projetar e produzir sistemas que ainda não existem e modificar situações existentes para alcançar melhores resultados com foco na solução de problemas.” (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015). Desta forma, a partir das lacunas existentes na motivação do trabalho (seção 1.2), esta pesquisa propõe uma nova solução para os problemas identificados focando em fatores humanos e experiência do usuário.

1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral propor a associação de técnicas de teclados ambíguos como estratégia de interação para o processo de entrada de texto em ambientes de RV suportados por *smartphones*.

1.3.2 Objetivos Específicos

São os objetivos específicos deste trabalho:

- a) Desenvolver o protótipo de teclado ambíguo controlado por uma mão, e, a partir deste, uma técnica de entrada de texto com o foco de fornecer maior desempenho e experiência de digitação ao usuário.

- b) Desenvolver um sistema provisório de detecção de toque para fornecimento de *feedback* visual em tempo real.
- c) Desenvolver uma aplicação para RV *mobile* para demonstrar o funcionamento da técnica.
- d) Identificar limitações da técnica e do teclado ambíguo, e definir trabalhos futuros.

1.4 Contribuições

A *design science* não busca encontrar um resultado ótimo, e sim, um resultado satisfatório que solucione o problema. Assim, o artefato desenvolvido deve desempenhar uma determinada função e satisfazer uma determinada necessidade (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015). Nesse sentido, as soluções deste trabalho pressupõem otimizar a interação ao ocupar ambas as mãos do usuário e proporcionar um processo de entrada de texto mais natural, rápido e eficaz. Como citado anteriormente, este trabalho reflete o desenvolvimento de um protótipo de teclado ambíguo e demonstração de funcionamento da técnica, portanto, como será apresentado na seção 7.3, representa investigações iniciais de uma pesquisa maior.

Uma pesquisa baseada na *design science* deve ter aplicabilidade prática e deve contribuir para o campo teórico ao divulgar o conhecimento gerado para outros pesquisadores (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015). Desta forma, os achados deste projeto contribuem ao apresentar uma solução intuitiva e centrada no usuário, que objetiva fornecer *feedback* visual e tátil em tempo real, a fim de melhorar o desempenho e a experiência de digitação. Além disso, as contribuições deste projeto podem ser relevantes para incentivar pesquisadores a desenvolverem dispositivos controlados pela mão disponível e técnicas inéditas de entrada de texto para RV *mobile*.

1.5 Organização da Dissertação

A estrutura desta dissertação está organizada em sete capítulos. Neste primeiro capítulo, contextualizou-se o tema da pesquisa, descrevendo a motivação e as oportunidades evidenciadas, os objetivos e as contribuições do trabalho.

No Capítulo 2, referências bibliográficas são utilizadas para fundamentar o projeto de pesquisa. São abordados temas como: RV baseada em *smartphones*, processo de entrada de texto padrão para RV e experiência do usuário.

No Capítulo 3 é apresentado o método de pesquisa utilizado nesta dissertação. Neste sentido, conceitos do paradigma epistemológico *design science* e da abordagem metodológica *Design Science Research* (DSR) são apresentados.

No Capítulo 4, para compreender o estado da arte e identificar trabalhos correlatos, é apresentado o processo de revisão sistemática relacionado ao tópico desta pesquisa; descrevendo todo o processo de revisão da literatura e comparando os trabalhos correlatos com o presente trabalho.

No Capítulo 5 é descrito o projeto e desenvolvimento do protótipo de teclado ambíguo. Todas as características, processos e decisões relacionadas ao projeto e desenvolvimento do artefato são descritos e justificados.

No Capítulo 6 é apresentada a demonstração da técnica de entrada de texto por meio de uma aplicação para *RV mobile*. Assim, é demonstrado o uso do protótipo do teclado ambíguo, da técnica e suas características.

No Capítulo 7 é sumarizado o trabalho realizado. Além disso, são apresentadas as limitações do trabalho e, a partir disso, a descrição dos trabalhos futuros.

Fundamentação Teórica

Neste capítulo é apresentada a fundamentação teórica do trabalho. As definições e conceitos básicos apresentados guiaram o desenvolvimento da pesquisa e justificam decisões tomadas nos demais capítulos. Aqui, são abordados a RV e suas variações, a técnica de entrada de texto *ray-casting* e a experiência do usuário em sistemas de Realidade Virtual Imersiva (RVI).

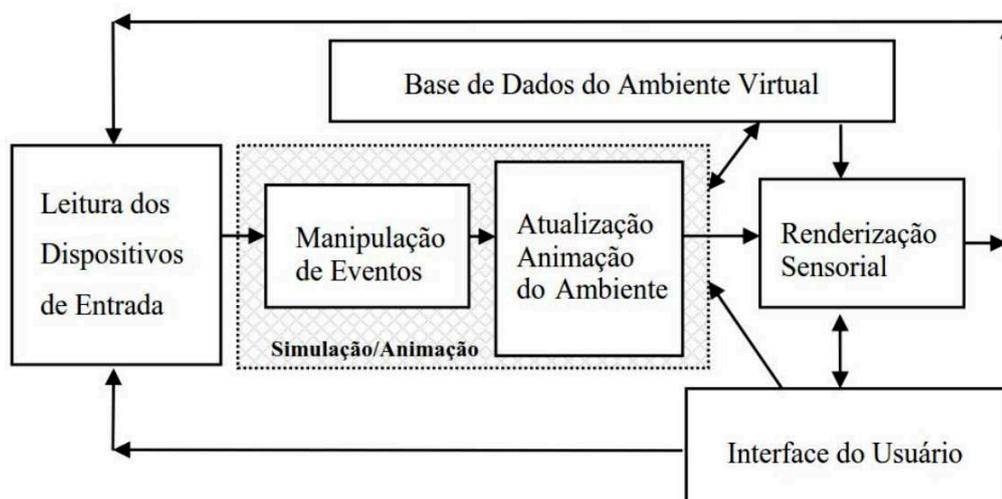
2.1 Realidade Virtual

Atualmente, devido ao avanço da tecnologia nas últimas décadas, existem diversos tipos de interfaces disponíveis. Diferentes interfaces possibilitam diferentes tipos de interações. Nesse contexto, a RV surge como uma “interface avançada do usuário” (TORI; KIRNER, 2006) que possibilita não somente simulações fiéis de ambientes reais, como também, representações do imaginário contempladas com imersão e interatividade. Ainda, por meio desta tecnologia, os usuários podem navegar e interagir, em tempo real, com ambientes tridimensionais gerados por computador (CARDOSO et al., 2007). Conseqüentemente, a RV tem o potencial de ter aplicações efetivas em diversas áreas, como: na educação, por exemplo, no ensino de línguas (PALMEIRA et al., 2020a); no treinamento, por exemplo, na evacuação de hospitais em incêndio (MARTIN et al., 2020); e na saúde, por exemplo, em terapias posturais (MORAES et al., 2020).

Os sistemas de RV, geralmente, são baseados em computadores de alto desempenho equipados com placas gráficas adequadas. Como pode ser observado na Figura 1, tais computadores devem ser capazes de integrar e coordenar de maneira apropriada a visualização e os sinais de entrada e saída em tempo real (menor tempo de latência possível) (TORI; HOUNSELL; KIRNER, 2020). Dependendo dos dispositivos de visualização, a RV pode ser dividida em imersiva (subseção 2.1.2) e não-imersiva (subseção 2.1.1). Além disso, por meio do uso de *smartphones* de última

geração, a RVI pode ser experienciada de forma mais acessível ao público geral (subseção 2.1.3).

Figura 1 – Processamento do sistema de Realidade Virtual.



Fonte: Tori, Hounsell e Kirner (2020)

2.1.1 Realidade Virtual Não-Imersiva

Na RV não-imersiva, o usuário não se isola totalmente do mundo real (Figura 2); assim, a interação é realizada por meio de dispositivos convencionais, como o próprio monitor do computador para visualização, e o teclado e o *mouse* — ou *joysticks* — para interação com os objetos virtuais e navegação (CARDOSO et al., 2007). Uma grande diferença entre as configurações é que os monitores convencionais proporcionam uma visualização monoscópica, enquanto os HMDs, estereoscópica (visão binocular) (COSTA; KAYATT; BOGONI, 2020; SISCOOTTO; SOARES, 2020). Deste modo, apesar de a RV não-imersiva ser mais acessível e barata por não requerer o uso de dispositivos de visualização e interação de maior custo, esta não assegura ao usuário uma sensação de profundidade e percepção de distância (SISCOOTTO; SOARES, 2020) — fatores determinante na imersão do usuário e na simulação fiel de visualização da vida real.

2.1.2 Realidade Virtual Imersiva

Como pode ser observado na Figura 3, a RVI tem como objetivo isolar o usuário por completo do mundo real (CARDOSO et al., 2007); esta imersão é gerada pela interação com objetos virtuais e suas manipulações, criando nos usuários uma sensação de que são parte do mundo virtual (MAGNENAT-THALMANN; THALMANN, 1994).

Figura 2 – Sistema de Realidade Virtual não-imersiva.



Fonte: DAILY ROUNDS (2016)

Figura 3 – Sistema de Realidade Virtual imersiva.



Fonte: ROAD TO VR (2021)

De fato, os sistemas sensoriais humanos, ao experimentarem os estímulos artificiais enviados por uma interação em RVI, percebem-nos da mesma forma como percebem estímulos do mundo físico (TORI; HOUNSELL; KIRNER, 2020). Portanto, após um pequeno intervalo de tempo experienciando a RVI, devido a sua imersão, o usuário é parcialmente levado a acreditar que o mundo virtual é o mundo real.

Interfaces de duas dimensões, às vezes, precisam se utilizar de metáforas de interface para que — por meio de identidades familiares — facilitem o entendimento dos usuários de como interagir com a interface em questão (ROGERS; SHARP; PREECE, 2013). Diferentemente, os sistemas de RVI proporcionam interações com objetos virtuais que, muitas vezes, assemelham-se às interações da vida real. Assim, são capazes de permitir até uma manipulação direta dos objetos virtuais — sem o uso de metáforas de interação. Neste sentido, os usuários compreendem facilmente como interagir com o AV e o fazem naturalmente como fariam na vida real.

Os aparatos tecnológicos mais conhecidos para visualização na RVI são o HMD (Figura 3) e a caverna digital¹ (Figura 4) (TORI; KIRNER, 2006; COSTA; KAYATT; BOGONI, 2020). Tais dispositivos de visualização impactam positivamente na sensação de presença — imersão e envolvimento (ver seção 2.3) — dos usuários, isolando-os do mundo real e imergindo-os em um virtual (MACHADO; CARDOSO, 2006). Vale mencionar que também existem dispositivos adicionais envolvendo outros sentidos (audição e tato, por exemplo), estes podem ser utilizados com o objetivo de integrar mais ainda os usuários no AV, fornecendo *feedback* em tempo real (CARDOSO et al., 2007).

2.1.3 Realidade Virtual Baseada em *Smartphones*

Nos anos 90, existia um alto custo relacionado aos periféricos (rastreadores, capacetes e luvas) necessários para experienciar a RVI (CARDOSO et al., 2007). Nas últimas décadas, no entanto, além da redução de custos de *hardware* para o uso de sistemas de RVI utilizando computadores, esta teve seu acesso ainda mais facilitado, podendo também ser experienciada por meio de *smartphones* de última geração (TORI; HOUNSELL; KIRNER, 2020; POWELL et al., 2016; STEED; JULIER, 2013), dispositivo de uso cotidiano para grande parte da população (WE ARE SOCIAL, 2017).

Além do benefício da portabilidade, sem a necessidade do uso de cabos, a *RV mobile* é a forma mais acessível e barata ao público geral de experienciar a RVI (ZORZAL, 2020). Todavia, possui menor capacidade de desempenho gráfico e de rastreamento devido às limitações de *hardware* (SHARMA, 2015; STEED; JULIER, 2013). Neste sentido, o rastreamento da cabeça e da mão (geralmente apenas uma) dos usuários ocorre em apenas 3 GdL. Isto porque os *smartphones* e controles de mãos de *RV mobile* se utilizam de Sensores de Medição Inercial (IMUs) (limitados a 3 GdL (SHERMAN; CRAIG, 2003)) para identificar a inclinação e direção em que o usuário está olhando — no caso dos *headsets* — e apontando — no caso dos controles de mão.

Na *RV mobile*, o *smartphone* do usuário é inserido dentro do *headset* e é utilizado

¹ Este é um sistema de projeção imersivo. Em inglês, a sigla completa é (CAVE).

Figura 4 – Sistema de Realidade Virtual imersiva utilizando a caverna digital para visualização do ambiente virtual.



Fonte: Mechdyne (2020)

como dispositivo de visualização. A tela do *smartphone* é dividida em duas, possibilitando uma visão estereoscópica. Mais do que isso, sua capacidade de processamento, capacidade gráfica e todos seus componentes de rastreamento de posição em 3 GdL (IMUs) são utilizados para executar a aplicação desejada. A RV *mobile* possui variações de configuração dependendo do tipo de *headset* e dos dispositivos adicionais utilizados. Em termos de visualização, diferentes *headsets* fornecem propriedades sem muitas distinções — isto porque a visualização depende mais da tela do *smartphone* utilizado; contudo, em termos de interatividade, possuem divergências diversas.

Um *headset* ativo, como o Samsung Gear VR (SAMSUNG, 2016) (Figura 5), proporciona uma exploração e interatividade ativa com o AV por meio dos seus componentes eletrônicos. Em alguns casos, o usuário pode interagir com o AV utilizando os botões e *touchpad* disponíveis na lateral do *headset* (Figura 6), em outros, pode utilizar um controle de mão de RV com diversos botões e rastreamento em 3 GdL (Figura 5); estes integram mais funcionalidades e tornam o processo de interação mais eficiente e confortável ao usuário (COSTA; KAYATT; BOGONI, 2020). Tais variações serão abordadas com mais detalhes na seção 2.2.

Figura 5 – Headset e controle de mão de Realidade Virtual *mobile* da Samsung Gear VR.



Fonte: Samsung (2016)

Figura 6 – Sistema de interação integrado no Headset Samsung Gear VR.



Fonte: Samsung (2016)

Diferentemente, um *headset* passivo, como o Google Cardboard (GOOGLE, 2014) (Figura 7), possui diversas limitações (POWELL et al., 2016) e consiste em um *headset* mais simples que proporciona majoritariamente apenas a visualização passiva de mídias em 360° (não-interativo). Nesta configuração, a tela do *smartphone*, único dispositivo disponível capaz de possibilitar interação, fica escondido dentro do *headset* (SMUS; RIEDERER, 2015) — por servir como o dispositivo de visualização. Por

este motivo, qualquer interação além da visualização do AV se torna inviável. Desta forma, já que o presente trabalho objetiva o desenvolvimento de uma técnica de entrada de texto (processo interativo) para AV interativos, será considerada como RV *mobile* apenas sistemas que se utilizam de *headsets* ativos.

Figura 7 – *Headset* de Realidade Virtual *mobile* da Google Cardboard.



Fonte: Google (2014)

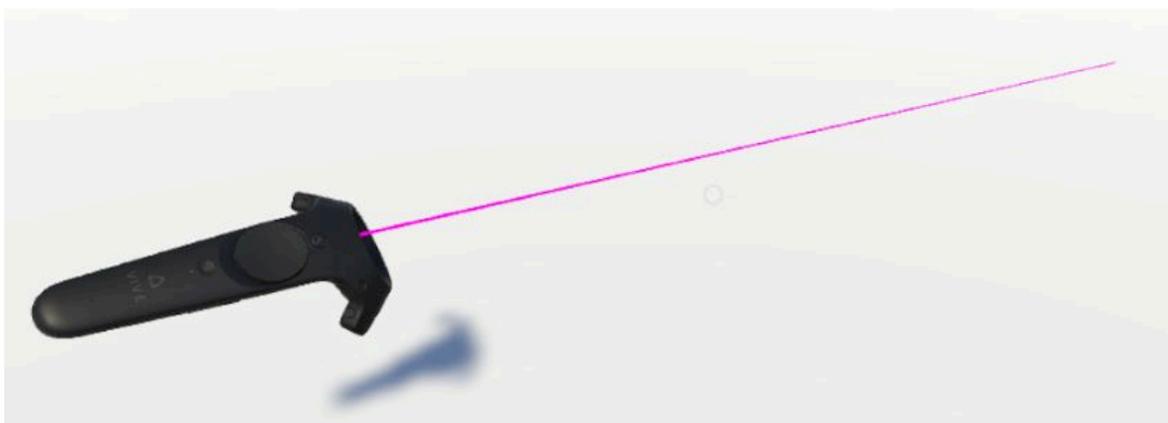
2.2 Técnica de Entrada de Texto *Ray-Casting*

Independente de ser a RVI baseada em *smartphones* ou em computadores de alto desempenho, a técnica *ray-casting* — ou ponteiro virtual — é o sistema mais comum para seleção de objetos virtuais (BOWMAN et al., 2004). Entretanto, por esta possuir limitações relacionadas a eficiência, experiência do usuário e fadiga (BOLETISIS; KONGSVIK, 2019; TU et al., 2019; KOPPER et al., 2010; YU et al., 2018; GRUBERT et al., 2018b), diversas técnicas alternativas de entrada de texto — baseadas em dispositivos ou teclados físicos, gestos, rastreamento dos olhos ou das mãos, entre outros — têm sido desenvolvidas para otimizar o processo (DUBE; ARIF, 2019). Por meio de técnicas alternativas, os usuários podem experimentar maior controle sobre o processo de entrada de texto. Todavia, tais técnicas, geralmente, são direcionadas à RVI baseada em computadores de alto desempenho; conseqüente, para a RV *mobile*, existem muitas poucas técnicas desenvolvidas — como será apresentado na seção 4.3, que apresenta os trabalhos correlatos desta pesquisa.

Na RVI baseada em computadores, a técnica *ray-casting* é geralmente utilizada por meio de dois controles de mãos de RV com 6 GdL (Figura 3). Já na RV *mobile*, a técnica *ray-casting* é geralmente utilizada por meio de um controle de mão de RV com

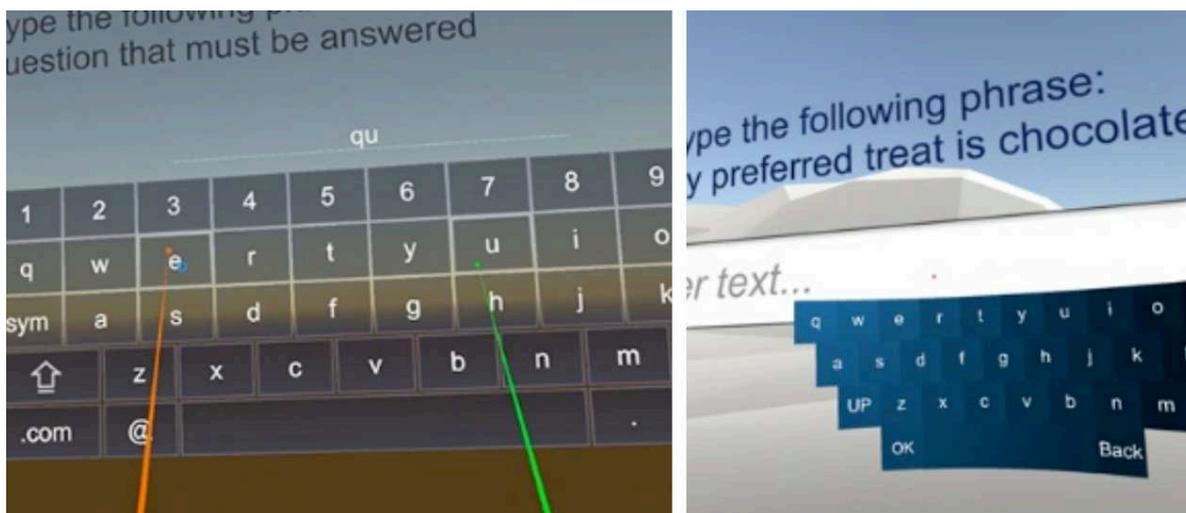
3 GdL (Figura 5) ou por meio da lateral do *headset* (Figura 6) em combinação com a direção que o usuário está olhando. Desta forma, nas configurações que possuem controle de mão de RV, o ponteiro virtual tem origem na extremidade do controle (Figura 8), enquanto, na sem controle, na cabeça (entre os dois olhos do usuário) — neste último caso, a direção é representada por um ponto no centro da tela e não por um “raio” (Figura 9).

Figura 8 – Técnica de seleção *ray-casting*.



Fonte: CIRCUIT STREAM (2018)

Figura 9 – Técnica *ray-casting* usando dois controles de mão de Realidade Virtual e usando a orientação da cabeça (*headset*).



Fonte: Adaptado de Boletsis e Kongsvik (2019)

Por fim, dada as informações anteriores sobre a técnica mais comum de seleção de objetos virtuais, o *ray-casting*, é válido explicitar como esta técnica é utilizada no

processo de entrada de texto. Neste processo, os objetos virtuais são as teclas do teclado virtual representado no AV. Desta forma, para inserir o caractere, o usuário precisa manter o “raio” atravessando a tecla desejada (1) até que confirme a seleção pressionando um botão ou (2) por um tempo pré-determinado pelo sistema (seleção automática).

2.3 Experiência do Usuário em Sistemas de Realidade Virtual Imersiva

A experiência do usuário pode ser descrita como a qualidade relacionada às emoções do usuário ao interagir com o sistema (ROGERS; SHARP; PREECE, 2013). Segundo Barbosa et al. (2021), a experiência é subjetiva (pessoal) ao usuário e por isso não pode ser totalmente controlada durante a interação. Entretanto, os principais objetivos do *design* de interação são: melhorar os aspectos positivos da experiência do usuário e, simultaneamente, reduzir os aspectos negativos (ROGERS; SHARP; PREECE, 2013). Deste modo, um projeto de sistema com foco em uma experiência do usuário positiva deve buscar promover boas emoções nos usuários e evitar provocar sensações desagradáveis (BARBOSA et al., 2021).

Para tentar assegurar uma experiência positiva ao usuário, alguns conceitos relacionados à interação com AVs imersivos — mencionados anteriormente (subseção 2.1.2) — devem ser priorizados em um projeto de sistema de RVI. Apesar de aparentarem ter significados semelhantes, são intrinsecamente distintos; tais conceitos são descritos a seguir:

- Imersão: pode ser considerada um estado psicológico no qual o usuário se sente envolvido, incluído e entretido com o AV (WITMER; SINGER, 1998). Esta, descreve o nível de ilusão de realidade que a tecnologia utilizada é capaz de fornecer (SLATER; WILBUR, 1997).
- Envolvimento: pode ser considerado o estado psicológico do usuário ao concentrar sua energia e atenção na interação com o AV. Assim, por exemplo, se o HMD for desconfortável, o envolvimento do usuário pode ser prejudicado (WITMER; SINGER, 1998).
- Presença: pode ser considerada o estado de consciência do usuário ao se sentir parte de um AV enquanto presente fisicamente em um ambiente físico (SLATER; WILBUR, 1997). Em outras palavras, a experiência do usuário de se sentir presente em um AV faz com que ele sinta que pode interagir diretamente, e não remotamente, com o mundo virtual. Além disso, quanto maior a imersão e o en-

volvimento sentido pelo usuário, maior também será sua sensação de presença no AV (WITMER; SINGER, 1998).

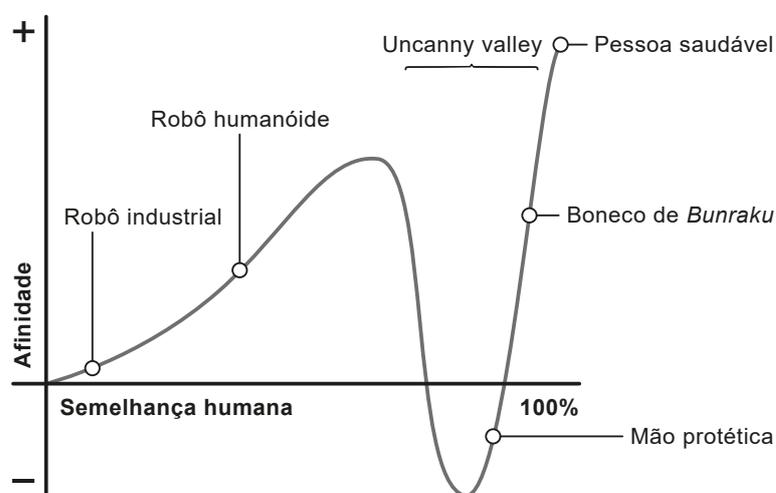
Como mencionado anteriormente, um dos diferenciais da RVI é proporcionar interações naturais e intuitivas — semelhantes às da vida real; neste sentido, pode-se considerar como aspectos positivos oferecidos pela RVI a sensação de presença — imersão e envolvimento — e o engajamento. Todavia, a RVI também está sujeita à ocorrência de aspectos negativos como o *cybersickness* e o *uncanny valley* (vale da estranheza). O *cybersickness* está associado ao uso dos HMDs, telas grandes e sistemas de telas curvas para visualizar o AV. Tal aspecto negativo é caracterizado pelo surgimento de fadiga ocular, dores de cabeça, náuseas e desorientação nos usuários (REBENITSCH; OWEN, 2016). No contexto deste trabalho, como se trata do processo de entrada de texto, o usuário permanece imóvel no AV enquanto digita (sem navegação); por isto a ocorrência do *cybersickness* é reduzida na maioria dos casos. Já o fenômeno *uncanny valley* — e suas consequências — é considerado com maior importância neste projeto devido a sua capacidade de se manifestar de várias formas em uma aplicação de RVI e de ser capaz de provocar sensações desagradáveis nos usuários.

2.3.1 O *Uncanny Valley*

A teoria do *uncanny valley* foi criada na década de 70, em um estudo sobre animatrônicos (MORI; MACDORMAN; KAGEKI, 2012). O pesquisador Mori investigou a reação das pessoas a animatrônicos que se assemelhavam aos humanos. O esperado, com base no senso comum, seria de que quanto mais o animatrônico fosse semelhante ao humano, maior seria a empatia sentida por parte das pessoas; no entanto, Mori teve uma hipótese diferente, de que, em algum momento, tal sensação de empatia poderia se transformar em estranheza e desgosto. Esta sensação desagradável ocorreria quando o animatrônico se assemelhasse ao humano em aparência e comportamento, porém de forma imperfeita, sem atender a expectativa humana. Em outras palavras, como pode ser observado na Figura 10, as pessoas sentem empatia por robôs que não tentam se assemelhar aos humanos ou por aqueles que se assemelham apenas até o momento anterior ao “vale da estranheza”.

A hipótese do *uncanny valley* se estende para além dos robôs e animatrônicos, e hoje, pode ser estudada também em qualquer objeto de semelhança humana, principalmente na computação gráfica. Devido ao sistema visual humano ser capaz de identificar e julgar anormalidades baseadas em experiências passadas, o rosto de um objeto de semelhança humana é um elemento capaz de induzir a ocorrência do *uncanny valley* (SEYAMA; NAGAYAMA, 2007). Além do mais, rostos com maior detalhamento geram maior estranhamento quando distorcidos (MACDORMAN et al., 2009).

Figura 10 – A representação de Mori do fenômeno do *uncanny valley* em relação aos robôs/animatrônicos.



Fonte: Adaptado de Mori, MacDorman e Kageki (2012)

Posteriormente, foi percebido que o *uncanny valley* também pode ocorrer em elementos distintos da aparência humana, como animais virtuais que se assemelham aos reais, mas de maneira imperfeita (SCHWIND et al., 2018a), ou simulações realísticas de ambientes e interações da vida real em RVI que, em algum elemento, não necessariamente visual, fica aquém em semelhança (HOWARD, 2017). Não obstante, Howard (2017) argumentou que este fenômeno pode ser investigado em qualquer estudo envolvendo a Interação Humano-Computador (IHC) — incluindo simulações em RVI.

No estudo de Geller (2008), os conceitos e a existência do *uncanny valley* são discutidos. Além disso, o autor apresenta estratégias, tecnologias e técnicas para evitar a ocorrência deste fenômeno. De maneira mais específica, Schwind, Wolf e Henze (2018) fornecem algumas instruções para que *designers* evitem a ocorrência do *uncanny valley* na criação de personagens virtuais e avatares. As principais reações negativas geradas pelo *uncanny valley* em personagens virtuais são a aversão, o desconforto e o estranhamento. Vale destacar que tal experiência negativa não tem como “gatilho” apenas a aparência visual dos personagens virtuais, mas também a personalidade, o comportamento ou a combinação inadequada dessas características (LATOSCHIK et al., 2017; ZIBREK; KOKKINARA; MCDONNELL, 2018; MAKLED et al., 2018; MOUSAS; ANASTASIOU; SPANTIDI, 2018). Além disso, existe o *uncanny valley* da mente, que é causado pela atribuição de mente a personagens virtuais. Por acreditarem que a mente é uma característica única dos seres humanos, os usuários sentem aversão por personagens virtuais com sinais de cognição social, emocional e empática, em contextos de interação social em RVI (STEIN; OHLER, 2017; STEIN;

LIEBOLD; OHLER, 2019).

Existem, na literatura, diversas estratégias para mitigar a ocorrência e os efeitos negativos do *uncanny valley*. Em relação aos avatares, de fato o uso de uma aparência realística proporciona no usuário uma maior sensação de pertencimento ao corpo virtual; porém, para reduzir o *uncanny valley*, é recomendado a utilização de tecnologias de escaneamento 3D de última geração para que o realismo ultrapasse o momento do *uncanny valley*, tornando a aparência do avatar mais fiel possível ao usuário (LATOSCHIK et al., 2017) — representado por “pessoa saudável” na Figura 10. Ainda segundo Latoschik et al. (2017), outra possível estratégia é utilizar uma aparência artificial (ex.: manequim de madeira) — que não tenta se assemelhar às características humanas; no entanto, nesse caso, a sensação de pertencimento ao corpo virtual é prejudicada.

Em relação aos agentes virtuais, de modo semelhante, a escolha por aparências realísticas — quando comparadas às aparências estilizadas — é encorajada pelos benefícios de serem preferidas e por aumentarem a percepção de vida dos mesmos pelos usuários (ZIBREK; KOKKINARA; MCDONNELL, 2017). Além das aparências, é sugerido combinar adequadamente o estilo de renderização do agente virtual com seu comportamento (ZIBREK; KOKKINARA; MCDONNELL, 2018) e garantir precisão na construção das animações e linguagem corporal dos personagens virtuais para percepções mais confortáveis, realísticas e naturais ao usuário (MAKLED et al., 2018).

Resumindo, o ideal seria optar por simular fielmente a realidade em todos os aspectos, porém, quanto mais realístico forem as aparências, mais os usuários possuem expectativas que tentam prever e comparar como deveriam ser, não somente as aparências, como também, os comportamentos e as movimentações dos personagens virtuais. Desta forma, deve-se optar (1) por aparências estilizadas ou (2) ultra-realísticas que ultrapassam o momento do “vale da estranheza”. Esta última opção requer mais tempo de trabalho, pesquisa e testes com usuários, a fim de reproduzir a realidade de forma mais real, mitigando, ao máximo, a possibilidade de quebra de expectativa do usuário (causadora da sensação de estranheza).

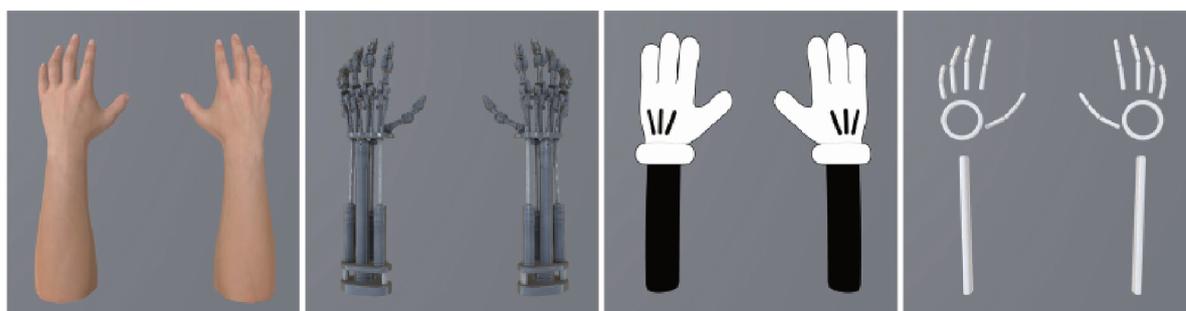
2.3.1.1 O *Uncanny Valley* das Mãos Virtuais

Considerando que o avatar é a auto-representação do usuário no mundo virtual, suas mãos virtuais são, geralmente, o meio principal de interação com o AV; além disso, um trabalho que busca fornecer uma boa experiência ao usuário deve considerar possíveis ameaças e, então, mitigá-las. Conseqüentemente, esta pesquisa reconheceu a necessidade de compreender as possibilidades de manifestações do *uncanny valley* por meio das mãos virtuais dos usuários e formas de reduzir as rea-

ções negativas causadas por elas².

Diferentes tipos e aparências de mãos virtuais podem ser responsáveis pelo *uncanny valley* (SINGH et al., 2018; SCHWIND et al., 2017a; SCHWIND et al., 2017b; GRUBERT et al., 2018a; KNIERIM et al., 2018; OGAWA; NARUMI; HIROSE, 2019). A literatura mostra que o *uncanny valley* causado pelas mãos virtuais podem causar, além da estranheza, a redução da sensação de presença do usuário no AV (SCHWIND et al., 2017a; SCHWIND et al., 2017b; SCHWIND et al., 2018b; DANIEAU et al., 2017; WHITMIRE et al., 2018; KNIERIM et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2019) e a redução da ilusão de posse de membro ou de pertencimento ao corpo virtual (LUGRIN et al., 2018; DANIEAU et al., 2017; JUNG; HUGHES, 2016; OGAWA; NARUMI; HIROSE, 2019).

Figura 11 – Diferentes tipos de representações de mãos virtuais.



Fonte: Adaptado de Schwind et al. (2018b)

Em concordância com informações anteriores, o uso de aparências realísticas nas mãos virtuais têm maiores chances de provocar quebra de expectativa nos usuários (SINGH et al., 2018). Desta forma, quando aparências realísticas são utilizadas para representar as mãos virtuais do usuário e, estas, apresentam pequenas imperfeições, o *uncanny valley* pode ocorrer (SCHWIND et al., 2017a; SCHWIND et al., 2017b). Vale notar que, para evitar a ocorrência do fenômeno, não se deve considerar as mãos virtuais de forma isolada. Isto porque a percepção do usuário em relação às suas “próprias mãos virtuais” podem, por exemplo, ser afetadas por outros elementos, como a presença ou ausência das representações de outros membros do corpo (LUGRIN et al., 2018; JUNG; HUGHES, 2016). Outro exemplo é que, se a aparência das mãos virtuais for realística, mas o cenário virtual não, o *uncanny valley* também pode ocorrer (OLIVEIRA et al., 2019). O ideal, neste sentido, é que o nível de realismo seja coerente entre todos os elementos, independente de se decidir utilizar todos os

² Para compreender este tópico em específico — essencial para algumas tomadas de decisão no desenvolvimento da aplicação de RV *mobile* desta pesquisa (Capítulo 6) — foi realizada uma revisão sistemática da literatura (PALMEIRA et al., 2020b). No entanto, neste trabalho, para não fugir do escopo, não é descrito o processo de condução da revisão da literatura, apenas é apresentada a interpretação e sumarização dos resultados obtidos.

elementos da aplicação de RVI de forma realística ou de forma estilizada. Alternativamente, outra opção — nem sempre viável — é inserir um cenário virtual que sirva como uma fase de calibração como estratégia para elevar a performance do usuário (EBRAHIMI et al., 2018). A literatura também apresenta estratégias para evitar o *uncanny valley* em tomadas de decisões recorrentes como em relação às representações de mãos virtuais humanas com menos de cinco dedos (SCHWIND et al., 2017a) e às representações das mãos de acordo com o gênero do usuário (JEUNET et al., 2018; SCHWIND et al., 2017b).

Devido à diversas possibilidades de escolhas em um projeto de aplicação de RVI, é necessário realizar uma análise de seus principais objetivos e da capacidade de *hardware* disponível. Caso se identifique uma limitação de processamento do *hardware* ou dispositivos utilizados, sugere-se considerar optar por uma aplicação com gráficos reduzidos ou estilizados (SINGH et al., 2018). Desta maneira, o *uncanny valley* pode ser evitado considerando que, ao tentar representar gráficos realísticos com sobrecarga de *hardware*, é muito provável que a reprodução fique aquém da realidade.

Sumarizando, apesar das mãos virtuais de aparência realística aumentarem a ilusão de pertencimento ao corpo virtual, dependendo dos objetivos da aplicação e da capacidade de *hardware* disponível, esta nem sempre é a melhor alternativa. Como mencionado algumas vezes, o uso de aparências realísticas aumenta a tentativa inconsciente de predição do usuário; deste modo, torna-os mais sensíveis e menos tolerantes a interações, movimentações, texturas e aparências que tentam simular a realidade, mas ficam aquém em semelhança devido a pequenas imperfeições, gerando o *uncanny valley* e suas consequências negativas à experiência do usuário. Para evitar a ocorrência desse fenômeno, *designers* e desenvolvedores podem optar por utilizar representações das mãos virtuais (i) com baixa fidelidade à realidade (estilizadas) ou (ii) com um super-realismo que pode até mesmo superar o *uncanny valley*. Contudo, a última opção exige tecnologias do estado da arte e a garantia de simulação fiel à realidade em todos os aspectos: aparência, movimentações e *feedback* háptico.

2.3.1.2 O *Uncanny Valley* Háptico das Mãos Virtuais

Outro tipo de *uncanny valley* que as mãos virtuais do usuário estão sujeitas é causado pela inadequação da percepção de sensações hápticas na manipulação de objetos virtuais. A sensação de estranheza pode ser causada quando as respostas hápticas e visuais da interação não coincidem no mundo virtual (D'ALONZO et al., 2019; WHITMIRE et al., 2018; PEPERKORN et al., 2016). Tal situação pode comprometer a sensação de presença do usuário, fazendo-o perceber — durante a imersão — que o ambiente que ele se encontra e interage se trata de um mundo virtual — e não do mundo real (WHITMIRE et al., 2018).

Sabe-se que a falta de *feedback* na aplicação e sensores de rastreamento sem sincro-

nia entre os movimentos do mundo real e virtual prejudicam a experiência do usuário (DANIEAU et al., 2017). Desta maneira, para que esta variação do *uncanny valley* não ocorra, não é suficiente garantir, isoladamente, somente a sensação tátil; é necessário que seja considerado a combinação precisa desta com os estímulos visuais enviados aos usuários (BERGER et al., 2018). O cérebro interpreta diferentes estímulos sensoriais como sendo um só, portanto, se algum estímulo tenta imitar a realidade com realismo e o outro permanece aquém, prejudica-se a impressão de realismo da aplicação de forma geral. Desta forma, a aplicação de RVI deve fornecer um *feedback* preciso e sincronizado da integração dos estímulos visuais e hápticos para que o cérebro do usuário interprete que ambos os estímulos possuem origem na mesma fonte e, assim, auxilie a imersão integrando os mesmos. Caso exista a possibilidade de conflito entre os dispositivos de rastreamento — em tempo real —, o rastreamento de alguns membros do corpo do usuário podem ser desconsiderados, priorizando-se, assim, as mãos (BORN; MASUCH, 2018).

2.4 Conclusão

Neste capítulo, foram apresentados brevemente os sistemas de RV, suas características e diferenças. Também, foram introduzidos alguns aparatos tecnológicos utilizados para aprimorar a experiência do usuário. Então, foi discutido a técnica de seleção por *ray-casting*, seu funcionamento e variações. Por fim, foram introduzidos conceitos de experiência do usuário em aplicações de RVI, dando-se destaque a possível ocorrência do *uncanny valley*. Considerando tal fenômeno, não se recomenda que *designers* e desenvolvedores assumam que, quanto mais as aparências e as sensações hápticas forem realísticas, melhor será a experiência do usuário. Distintivamente, deve-se reconhecer a complexidade desse fenômeno e os objetivos da aplicação que se deseja desenvolver, a fim de que sejam tomadas decisões conscientes centradas nos usuários. Por fim, espera-se que, com o contínuo avanço da tecnologia, seja possível simular mais precisamente as interações e as aparências biológicas da vida real, reduzindo a ocorrência do *uncanny valley*.

Método de Pesquisa

Como mencionado nos objetivos deste trabalho (seção 1.3), para a construção dos artefatos desta pesquisa (protótipo e técnica de entrada de texto), foi utilizado a DSR, que utiliza a *design science* como paradigma epistemológico (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015). Portanto, neste capítulo são apresentados os conceitos do paradigma epistemológico *design science* e da abordagem metodológica DSR. Além disso, é apresentado, descrito e relacionado ao presente trabalho, o método de Peffers et al. (2007) — formalizado para a condução de pesquisas relacionadas à DSR.

3.1 *Design Science e Design Science Research*

Em contextos onde é necessário projetar um novo artefato, diferente dos já existentes e voltado à solução de problemas, as ciências tradicionais podem apresentar limitações. Deste modo, enquanto os objetivos comuns de pesquisas sob os paradigmas das ciências tradicionais são explorar, descrever, explicar e prever fenômenos e suas relações, ou seja, compreender a realidade (MARCH; SMITH, 1995), a *design science* tem raízes na engenharia e nas ciências aplicadas e tem como objetivo prescrever soluções para resolver um determinado problema ou projetar um artefato inovador (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015; HEVNER et al., 2004). Neste sentido, ao invés de produzir conhecimento teórico de forma geral, um cientista que se utiliza da *design science* produz e aplica conhecimentos com o objetivo de projetar artefatos efetivos que aprimorem situações existentes (MARCH; SMITH, 1995). Em outras palavras, usando um artefato como objeto de estudo, um cientista que se utiliza da *design science* não tem como objetivo provar algo relacionado ao porquê ou como um artefato funciona, e sim, criar um artefato inédito e determinar o quão bem este funciona (enquanto solução) para o contexto em que foi projetado (HEVNER et al., 2004). Como pode ser observado na Figura 12, o objetivo do presente trabalho — projetar e construir artefatos — é um dos focos de pesquisas que se baseiam na DSR.

Figura 12 – Síntese dos conceitos e fundamentos da *Design Science Research*.

Fonte: Dresch, Lacerda e ANTUNES JR. (2015)

Em outras palavras, a DSR surge a partir da demanda por métodos de pesquisa alternativos — que assegurem pesquisas de natureza prescritiva — e visa a construção de artefatos inovadores que impactam positivamente na vida de pessoas (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015). Um artefato pode ser definido como algo construído por indivíduos que sirva de interface entre o ambiente interno e o ambiente externo de um determinado sistema. Por este motivo, para assegurar a aproximação entre a teoria e a prática, o processo de concepção dos artefatos utilizando a DSR deve garantir o entendimento adequado do problema e o cumprimento do propósito desejado (SIMON, 1996; DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015; VAN AKEN, 2011). Segundo Simon (1996), uma solução ótima, baseada em um mundo simplificado, raramente é definitivamente ótima no mundo real; assim, considerando a complexidade da reali-

dade, outra opção é desenvolver uma solução suficientemente boa (satisfatória), que seja prática e efetiva em um mundo mais próximo da realidade. Desta forma, a *design science* é “orientada à solução de problemas específicos, não necessariamente buscando a solução ótima, mas a solução satisfatória para a situação” (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015).

3.2 Método Fundamentado na *Design Science*

Entre os métodos formalizados para a condução das pesquisas fundamentadas nos conceitos da *design science*, foi utilizado como referência o processo proposto por Peffers et al. (2007). Tal processo é caracterizado por um modelo mental que guia a condução de pesquisas a partir da DSR. Por meio de uma abordagem de consenso, os autores Peffers et al. (2007) reuniram elementos comuns bem aceitos pela literatura acerca da DSR para propor um método que consiste em 6 atividades em sequências nominais e iterativas (Figura 13):

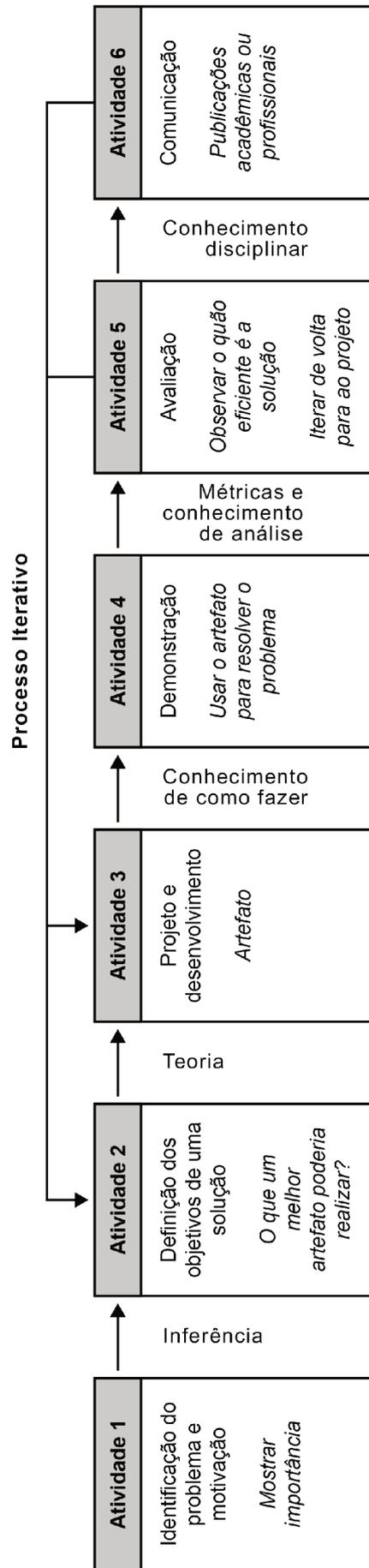
1. Identificação do problema e motivação: nesta atividade, os pesquisadores devem definir o problema específico da pesquisa e justificar o valor de uma solução para este contexto.
 - Esta atividade é evidenciada na contextualização (seção 1.1) e na motivação da pesquisa (seção 1.2). Informações relacionadas também podem ser encontradas na fundamentação teórica do trabalho (Capítulo 2).
2. Definição dos objetivos para uma solução: nesta atividade, os pesquisadores devem inferir os objetivos da solução a partir da análise da definição do problema. Para isso, é necessário conhecimento sobre o que é possível e viável de ser feito. Os objetivos podem ser, dependendo da pesquisa, qualitativos — por exemplo, ao descrever como é esperado que o artefato inédito auxilie soluções para problemas não abordados até então — ou quantitativos — por exemplo, ao prever em que a solução desejada seria melhor que as soluções existentes.
 - Esta atividade é evidenciada nos objetivos do trabalho (seção 1.3) e nos trabalhos correlatos (seção 4.3).
3. Projeto e desenvolvimento: nesta atividade, os pesquisadores devem projetar e criar o artefato em questão. A contribuição da pesquisa pode estar incorporada no próprio *design* do artefato. Esta atividade inclui, inicialmente, determinar a funcionalidade do artefato e, então, a sua criação.
 - Esta atividade é evidenciada no capítulo que descreve o projeto e desenvolvimento dos artefatos (Capítulo 5).

4. Demonstração: nesta atividade, os pesquisadores devem demonstrar como o uso do artefato pode solucionar o problema identificado. Isto pode ser realizado por meio de uma experimentação ou simulação.
 - Esta atividade é evidenciada no capítulo que descreve a demonstração dos artefatos (Capítulo 6).
5. Avaliação: nesta atividade, os pesquisadores devem observar e medir o quão bem o artefato auxilia na solução do problema. Esta atividade observa os resultados do uso do artefato na demonstração e compara com os objetivos da solução. É necessário conhecimento por parte dos pesquisadores sobre métricas relevantes e técnicas de análise relacionadas ao contexto estudado. A avaliação deve resultar em evidências empíricas apropriadas, seja por meio de métricas quantitativas ou qualitativas. Ao fim desta atividade, os pesquisadores podem decidir se iteram de volta à atividade 3 (projeto e desenvolvimento) para tentar aprimorar o artefato.
 - Esta atividade fará parte de trabalhos futuros (ver seção 7.3).
6. Comunicação: nesta atividade, os pesquisadores devem comunicar os conhecimentos resultantes da pesquisa, desde o problema e sua importância até o artefato, sua utilidade e ineditismo. Tal atividade pode ser satisfeita por meio da comunicação dos conhecimentos em forma de publicações acadêmicas ou profissionais.
 - Esta atividade é evidenciada pela documentação desta pesquisa em forma de dissertação e pelas publicações resultantes deste trabalho.

3.3 Conclusão

Este capítulo apresentou a definição de *design science* e DSR, e o processo do método formalizado, utilizado neste trabalho, para a condução de pesquisas relacionadas à DSR. Ainda, por meio deste capítulo, foi correlacionado todo o método apresentado com as partes desta dissertação. Vale notar que existem diferentes pontos de entrada de pesquisa, dependendo do tipo de trabalho que está sendo conduzido com base no método apresentado (PEFFERS et al., 2007). Considerando que a presente pesquisa corresponde a uma abordagem centrada no problema — já que sua ideia é resultante de observações pessoais do problema —, esta teve início na identificação do problema e motivação (Atividade 1) — base da sequência nominal.

Figura 13 – Método fundamentado da Design Science Research.



Fonte: Adaptado de Peffers et al. (2007)

Trabalhos Correlatos

A *design science* considera a Revisão Sistemática (RS) uma etapa fundamental da condução de pesquisas realizadas sob este paradigma (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015). Por meio desta etapa, artefatos existentes relacionados aos problemas que se deseja solucionar são evidenciados. Vale ressaltar que “identificar artefatos existentes pode auxiliar o pesquisador a ser mais assertivo em suas propostas de desenvolvimento de novos artefatos” (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015). Assim, antes de iniciar o desenvolvimento de uma pesquisa, é necessário conhecer o estado da arte e identificar trabalhos correlatos. Conseqüentemente, é possível conhecer o que já foi investigado até o momento presente e identificar lacunas que representem oportunidades para novas pesquisas. Desta forma, este capítulo apresenta os trabalhos correlatos desta pesquisa, acerca das técnicas de entrada de texto existentes para RV baseada em *smartphones*, por meio de um processo de RS.

4.1 Metodologia

A RS é um tipo de estudo secundário conduzido por uma metodologia bem definida. Por meio desta, estudos primários pertencentes ao estado da arte da literatura podem ser analisados e, suas evidências, sintetizadas (FELIZARDO et al., 2017; MUNZLINGER; NARCIZO; QUEIROZ, 2012). Assim, uma RS tem como objetivo identificar, analisar, selecionar, avaliar e sumarizar resultados de estudos relevantes a um determinado tópico de pesquisa (FELIZARDO et al., 2017). Ainda, uma RS se propõe a reduzir os vieses presentes em revisões da literatura tradicionais — que não seguem uma metodologia sistemática.

4.2 Etapas da Revisão Sistemática

O processo de RS conduzido neste trabalho foi dividido nas seguintes etapas: identificação, triagem, elegibilidade e inclusão. Tais etapas terão suas descrições detalhadas nas próximas subseções.

4.2.1 Identificação

A etapa de identificação é realizada com o uso dos critérios de inclusão (Tabela 1) e os termos de busca (Tabela 2). Os critérios de inclusão são requisitos mínimos que os estudos devem possuir para que sejam incluídos nas etapas de seleção posteriores. Como pode ser observado na Tabela 1, os critérios de inclusão foram: artigos publicados até o final do ano de 2020 e que relacionem os temas RV *mobile* e técnicas de entrada de texto.

Tabela 1 – Critérios de Inclusão (CI), Critérios de Exclusão (CE) e suas descrições.

Critério	ID	Descrição
Inclusão	CI.1	Estudos publicados até 31 de Dezembro de 2020
	CI.2	Estudos que relacionam os temas RV <i>mobile</i> e técnicas de entrada de texto
Exclusão	CE.1	Estudos que abordam o uso de <i>smartphones</i> como dispositivos de controle em RV baseada em computadores e não de visualização em RV <i>mobile</i>
	CE.2	Estudos que não apresentam técnicas alternativas de entrada de texto para RV <i>mobile</i>
	CE.3	Estudos que apresentam técnicas alternativas de entrada de texto para RV que não seja a baseada em <i>smartphones</i>
	CE.4	Estudos não-primários (outras revisões da literatura)
	CE.5	Estudos escritos em outra língua que não seja o inglês

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Os termos de busca são compostos por palavras-chave relevantes a um tópico de pesquisa. Por meio destes termos, pesquisas avançadas são realizadas em bases bibliográficas e motores de busca (FELIZARDO et al., 2017). Um termo de busca bem definido garante a inclusão de estudos relevantes para as etapas seguintes de seleção dos artigos. Para esta RS, os termos de busca foram utilizados na pesquisa avançada das seguintes bases bibliográficas: *ACM Digital Library* (base híbrida), *IEEE Xplore*, *ScienceDirect*, *Scopus* (motor de busca) e *Web of Science* (motor de busca). Para todas essas bases bibliográficas, os termos de busca foram pesquisados nos títulos, resumos e palavras-chave de indexação dos artigos. Devido à variação de sintaxe para cada base bibliográfica, os termos de busca foram adaptados adequadamente

contendo as palavras-chave: “*virtual reality*”, “*mobile*” e “*text input*”, juntamente com seus sinônimos — para tornar a busca ainda mais abrangente (ver Tabela 2).

Tabela 2 – Termos de busca utilizados na pesquisa avançada de cada base bibliográfica.

Base Bibliográfica	Termo de Busca
ACM Digital Library	Title:(“virtual reality” OR vr) AND Abstract:(“virtual reality” OR vr) AND Keyword:(“virtual reality” OR vr) AND Title:(mobile OR smartphone OR portable) AND Abstract:(mobile OR smartphone OR portable) AND Keyword:(mobile OR smartphone OR portable) AND Title:(“text input” OR “text entry”) AND Abstract:(“text input” OR “text entry”) AND Keyword:(“text input” OR “text entry”)
IEEE Xplore	(“All Metadata”:“virtual reality” OR “All Metadata”:vr) AND (“All Metadata”:mobile OR “All Metadata”:smartphone OR “All Metadata”:portable) AND (“All Metadata”:“text input” OR “All Metadata”:“text entry”)
ScienceDirect	Title, abstract, keywords: (“virtual reality” OR vr) AND (mobile OR smartphone OR portable) AND (“text input” OR “text entry”)
Scopus	TITLE-ABS-KEY ((“virtual reality” OR vr) AND (mobile OR smartphone OR portable) AND (“text input” OR “text entry”))
Web of Science	TS=((“virtual reality” OR vr) AND (mobile OR smartphone OR portable) AND (“text input” OR “text entry”))

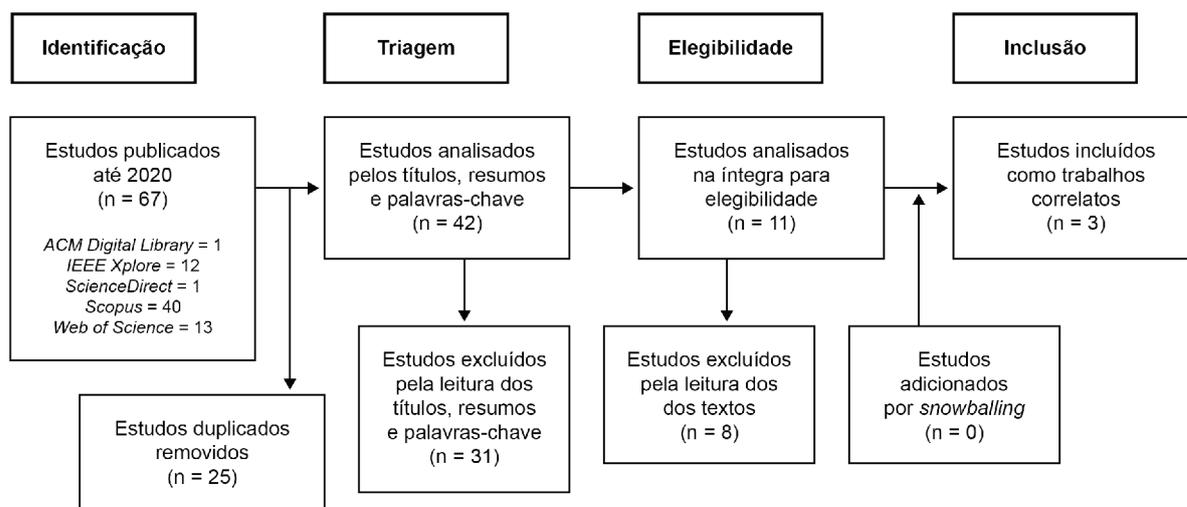
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

A realização das pesquisas avançadas utilizando os termos de busca resultaram na identificação de 67 estudos, sendo: 1 da *ACM Digital Library*, 12 da *IEEE Xplore*, 1 da *ScienceDirect*, 40 da *Scopus* e 13 da *Web of Science* (Figura 14). Utilizar diferentes bases bibliográficas pode resultar em estudos duplicados; deste modo, antes de iniciar a etapa de triagem, 25 estudos duplicados foram excluídos.

4.2.2 Triagem

A etapa de triagem é a primeira etapa com a função de filtrar os artigos identificados na primeira etapa utilizando os critérios de exclusão (Tabela 1). No entanto, diferente da próxima etapa (elegibilidade), nesta, os critérios de exclusão são utilizados com base apenas nos títulos, resumos e palavras-chave dos estudos. Por meio desta etapa, estudos não relacionados ao tópico de pesquisa — que por eventualidade possuam palavras-chaves dos termos de busca nos metadados — são excluídos. Esta é uma estratégia utilizada para manter apenas estudos relevantes. Em casos de dúvida sobre se um determinado estudo deveria ser removido ou mantido, este foi mantido para a etapa de elegibilidade para que, por meio de uma análise mais aprofundada, uma decisão mais coerente fosse tomada. Assim, nesta etapa, 31 estudos foram excluídos; restando assim, 11 estudos para a próxima etapa.

Figura 14 – Processo de seleção de trabalhos correlatos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

4.2.3 Elegibilidade

Na etapa de elegibilidade, os critérios de exclusão também são utilizados, todavia, baseados nos textos completos dos estudos. Nesta etapa, como pode ser observado na Tabela 1, foram excluídos estudos que não possuíam relação direta com o tópico de pesquisa por diversos motivos: por utilizarem o *smartphone* como dispositivo de interação e controle, e não de visualização; por não proporem técnicas alternativas de entrada de texto para *RV mobile*; ou por apresentarem técnicas alternativas, mas não direcionadas à *RV mobile*, e sim, à *RV* baseada em computadores de alto desempenho. Além desses critérios, foram excluídos estudos não-primários (ex.: revisões sistemáticas) e estudos escritos em outra língua que não seja o inglês. Desta forma, aplicando os critérios de exclusão na leitura e análise completa dos textos, entre os 11 estudos da etapa anterior, permaneceram apenas 3.

Após isto, a fim de garantir que estudos relevantes ao tópico de pesquisa não ficassem de fora dos trabalhos correlatos, foi realizado um *snowballing* (bola de neve) (WOHLIN, 2014). Utilizando este processo, a lista de referências dos artigos selecionados até então ($n = 3$) foi analisada com o intuito de identificar estudos relevantes adicionais que, também por eventualidade, não foram encontrados por meio da pesquisa avançada utilizando os termos de busca. Apesar deste esforço, não foi encontrado nenhum estudo relevante adicional dentro das listas de referências em questão.

4.2.4 Inclusão

Em suma, muitos estudos não foram incluídos por serem técnicas de entrada de texto alternativas para *RV* baseada em computadores de alto desempenho ou técni-

cas que utilizavam o *smartphone* como dispositivo de controle e não de visualização, em conjunto com a RV baseada em computadores — como exemplo a técnica *HoVR-Type* (KIM; KIM, 2017). O processo de seleção de trabalhos correlatos evidenciou como ainda se apresenta escasso em quantidade trabalhos propondo técnicas inéditas de entrada de texto para *RV mobile* — apesar de esta ser a forma mais acessível ao público geral de se experienciar esta tecnologia. Notou-se também que os trabalhos relacionados identificados são recentes, podendo indicar o surgimento de uma tendência acerca deste tópico de pesquisa. Desta forma, como pode ser verificado na Figura 14, após todas as etapas do processo de seleção, apenas 3 estudos foram considerados fortemente adequados como trabalhos correlatos. A Tabela 3 lista os artigos selecionados e identificados como contendo alta adequação ao foco deste trabalho.

Tabela 3 – Lista de estudos incluídos como trabalhos correlatos.

ID	Ano	Autores	Título
1	2019	XU et al.	RingText: Dwell-free and hands-free Text Entry for Mobile Head-Mounted Displays using Head Motions
2	2019	LU et al.	DepthText: Leveraging Head Movements towards the Depth Dimension for Hands-free Text Entry in Mobile Virtual Reality Systems
3	2020	KNIERIM et al.	Opportunities and Challenges of Text Input in Portable Virtual Reality

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

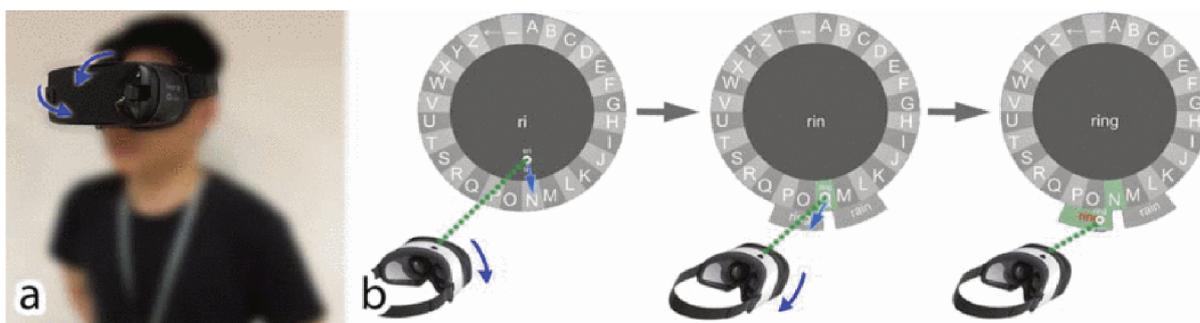
4.3 Trabalhos Correlatos

Nesta seção, os trabalhos correlatos serão apresentados e terão suas características comparadas à técnica proposta no presente trabalho. Assim, a Tabela 4 apresenta uma síntese comparativa de características específicas entre: as técnicas padrão de entrada de texto para *RV mobile (ray-casting)*, as técnicas apresentadas pelos trabalhos correlatos e a técnica proposta pelo presente trabalho. Vale mencionar que as técnicas de entrada de texto baseadas em reconhecimento de voz possuem limitações relacionadas a edição de texto (GRUBERT et al., 2018b) e a seu uso em ambientes públicos: estas técnicas podem causar problemas de privacidade aos usuários e tais ambientes com barulho podem prejudicar o reconhecimento de voz (XU et al., 2019; LU et al., 2019; GRUBERT et al., 2018b). Ainda, técnicas baseadas em reconhecimento de voz podem não ser precisas ao tentar reconhecer siglas, palavras novas ou palavras em outras línguas.

Entre os três trabalhos identificados como fortemente correlatos, dois estudos apresentaram técnicas alternativas para entrada de texto para *RV mobile* (XU et al., 2019; LU et al., 2019) e um para Realidade Mista (RM) (KNIERIM et al., 2020). A técnica

Ringtext (XU et al., 2019) não requer o uso de um dispositivo de mão dedicado ao processo de entrada de texto. Assim, esta solução — baseada em movimentos da cabeça — não requer o uso das mãos do usuário e é livre da espera do tempo de permanência (*dwell-free*) para confirmar a entrada dos caracteres. O *layout* do teclado virtual é circular e o usuário seleciona o caractere desejado utilizando movimentos da cabeça (Figura 15).

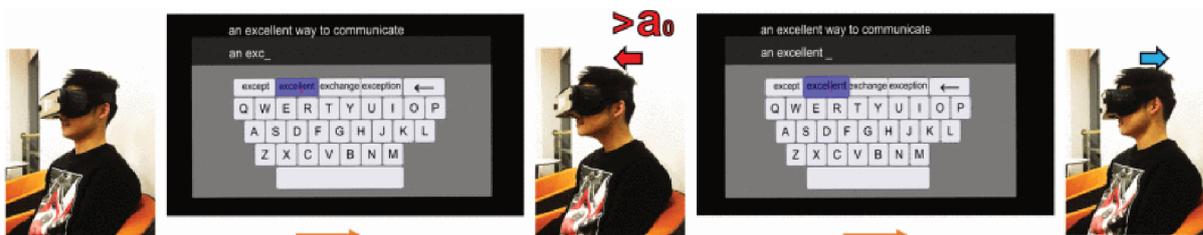
Figura 15 – Processo de entrada de texto da técnica *RingText*.



Fonte: Xu et al. (2019)

De forma similar, a técnica *DepthText* (LU et al., 2019) também não requer o uso das mãos do usuário no processo de entrada de texto e é livre da espera do tempo de permanência. No entanto, nesta última, o usuário realiza a entrada de texto por meio de movimentos curtos para frente (eixo z) com a cabeça. Tais movimentos são capturados pelos IMUs integrados no próprio *smartphone* utilizado; por esta razão, é uma técnica para entrada de texto livre de custos adicionais (Figura 16).

Figura 16 – Processo de entrada de texto da técnica *DepthText*.



Fonte: Lu et al. (2019)

Apesar dos estudos mencionados anteriormente sugerirem que técnicas que não requerem o uso das mãos do usuário sejam vantajosas — porque as mãos do usuário podem estar ocupadas com outras atividades durante a imersão ou porque o dispositivo de entrada de texto pode estar indisponível ou ser inconveniente ao uso no contexto —, a técnica desenvolvida neste projeto tem como prioridade buscar a imersão

e desempenho do usuário. Desta forma, este projeto considera que, ao utilizar a técnica, o usuário utilizará o *headset* para visualização do AV, o controle de mão de RV para navegação no texto e interação com o AV e o teclado ambíguo para o processo de entrada de texto. Neste sentido, o dispositivo protótipo de entrada de texto deste trabalho seria uma opção, não um substituto; o usuário poderia optar por usá-lo, ou não, com a mão disponível. Assim, em contextos em que o uso do teclado ambíguo seja inconveniente, como alternativa, o usuário poderia utilizar o controle de mão de RV para o processo de entrada de texto. Além disso, vale ressaltar que, considerando que as duas técnicas mencionadas e a técnica de *ray-casting* por meio do uso do *headset* utilizam apenas movimentos da cabeça para o processo de entrada de texto, tais movimentos frequentes da cabeça podem ocasionar a possibilidade de ocorrência do *motion sickness* (YU et al., 2018), causando uma experiência negativa ao usuário.

Alternativamente, Knierim et al. (2020) desenvolveram uma solução para entrada de texto para RM baseada em *smartphones*. Por meio da RM, o usuário consegue ver o AV e, simultaneamente, como parte do mundo real, suas próprias mãos digitando no teclado físico — capturado pela câmera do *smartphone* e dinamicamente mesclado com o AV. Consequentemente, a experiência de digitação é quase a mesma comparada ao mundo real com o uso de computadores. Uma vez que foi usada a RM, o usuário consegue ver a posição de seus dedos em relação ao teclado pelo vídeo simultâneo recortado do mundo real (Figura 17).

A dificuldade de se rastrear individualmente os dedos dos usuários e de uma técnica fornecer *feedback* visual e tátil adequado, ocasionam a existência de poucas soluções satisfatórias para entrada de texto em RV (KIM; KIM, 2017). Neste sentido, a técnica apresentada neste trabalho e a técnica de Knierim et al. (2020) se propõem a fornecer *feedback* tátil ao utilizarem teclados físicos para o processo de entrada de texto. No entanto, em contraste, a técnica desenvolvida neste projeto é para RV *mobile*, por isso, a dificuldade de se rastrear tridimensional a posição dos dedos dos usuários e do teclado é ainda maior — por esta ser limitada à 3 GdL; à vista disso, para mitigar essa limitação, a técnica deste projeto fornece *feedback* visual no momento em que os dedos do usuário tocam as teclas por meio de sensores (ver seção 5.2). Em outras palavras, o usuário consegue saber quais teclas estão sendo tocadas pelos seus dedos em tempo real. Outra diferença a ser destacada é que, na técnica desenvolvida neste projeto, o usuário pode continuar utilizando o controle de mão de RV para navegar rapidamente pelo texto (edição e correção de texto), enquanto, na técnica baseada em RM, ambas as mãos são utilizadas para a digitação — não possui um *mouse* ou ponteiro virtual —, tornando desafiador ao usuário posicionar o “cursor” rapidamente no local desejado do texto.

Por fim, apesar da técnica apresentada neste trabalho se utilizar de um tempo de permanência pré-determinado (*dwell-time*) para confirmar a seleção do caractere

Figura 17 – Processo de entrada de texto da técnica de Realidade Mista baseada em *smartphones* de Knierim et al. (2020).



Fonte: Knierim et al. (2020)

desejado — característica do processo de entrada de texto por meio de teclados ambíguos —, como será abordado na seção 7.3 (trabalhos futuros), versões aprimoradas da técnica irão utilizar Aprendizagem de Máquina (AM) para tentar prever palavras correspondentes e mudar a abordagem de múltiplos pressionamentos para pressionamento único de tecla, fazendo com que o caractere seja inserido pela confirmação instantânea do próprio usuário. Assim, reduzindo a fadiga e tornando o processo de entrada de texto mais rápido.

4.4 Conclusão

Por meio deste capítulo, informações relevantes e limitações acerca do estado da arte foram evidenciadas e as principais técnicas alternativas de entrada de texto para RV *mobile* desenvolvidas atualmente e suas principais características, foram apresentadas. Novas pesquisas precisam levar em consideração estudos anteriores, para que assim, seja evitado o desenvolvimento de trabalhos irrelevantes. A partir de resultados de trabalhos anteriores, é possível verificar se os artefatos existentes foram capazes de resolver problemas similares ao do pesquisador. Tal consideração, colabora para

que o novo artefato — produto da pesquisa do pesquisador — forneça melhores soluções, em comparação aos artefatos existentes, ao levar em conta lições adquiridas e construídas por pesquisas anteriores (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015). Por este motivo, neste capítulo foi realizada uma RS que: (i) sintetizou o estado da arte em relação às técnicas de entrada de texto existentes atualmente para RV baseada em *smartphones* e (ii) identificou os trabalhos correlatos existentes, descreveu-os brevemente e comparou-os ao presente trabalho e às técnicas de *ray-casting* padrão.

Tabela 4 – Comparação de características específicas entre os trabalhos correlatos, as técnicas padrão e a técnica proposta pelo presente trabalho.

Característica \ Técnica	Ray-casting pelo uso do headset	Ray-casting pelo uso do controle de mão de RV	Xu et al. (2019)	Lu et al. (2019)	Knierim et al. (2020)	Palmeira et al. (2021)
Realidade Virtual baseada em <i>smartphones</i>	✓	✓	✓	✓		✓
Realidade Mista baseada em <i>smartphones</i>					✓	
As duas mãos do usuário permanecem livres durante a interação			✓	✓		
Uma mão do usuário permanece livre durante a interação	✓	✓				
Ambas as mãos do usuário são utilizadas durante a interação					✓	✓
Fornece <i>feedback</i> visual em relação a sobre quais teclas estão os dedos do usuário ou em qual tecla o ponteiro virtual está mirando	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Fornece <i>feedback</i> tátil ao usuário					✓	✓
O caractere é inserido após um tempo de permanência pré-determinado (<i>dwell-time</i>)	✓					✓
O caractere é inserido após o usuário confirmar a seleção	✓	✓	✓	✓	✓	
Corrigir ou editar uma palavra anterior pode ser um processo lento ou cansativo	✓		✓	✓	✓	
Possibilita navegação rápida pelo texto por meio de um ponteiro virtual		✓				✓
Possibilita inserir apenas letras maiúsculas ou apenas letras minúsculas			✓	✓		
Possibilita inserir letras maiúsculas e minúsculas, números e símbolos	✓	✓			✓	✓

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Projeto e Desenvolvimento da Técnica

O propósito do *design* de interação é o desenvolvimento de produtos interativos centrados no usuário, garantindo usabilidade e eficiência (ROGERS; SHARP; PRE-ECE, 2013). Pode-se afirmar que uma pesquisa fundamentada no *design* tem como prova de validade o próprio desenvolvimento do artefato (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015). Como mencionado anteriormente neste trabalho, a DSR é um dos métodos mais adequados para pesquisas que têm como objetivo projetar e desenvolver artefatos; neste sentido, o projeto e desenvolvimento da técnica apresentada neste capítulo se utiliza dos conceitos da DSR (Capítulo 3) e tem como propósito melhorar o desempenho do processo de entrada de texto para RV *mobile*.

5.1 Descrição do Protótipo

Para a concepção do protótipo do teclado ambíguo, foi utilizado: uma base aberta de aço inoxidável e uma placa de circuito impresso para teclados mecânicos alternativos de 16 teclas (4x4)¹ (Figura 18); *switches* (interruptores mecânicos) da Cherry MX Greens² (Figura 19); teclas circulares brancas impressas em 3D (Figura 20); e uma Raspberry Pi 3³ com módulo de câmera e módulo *bluetooth*. Primeiro, os *switches* foram montados na base do teclado mecânico ambíguo; este suporte de aço alinha e prende os *switches*. Então, a placa de circuito impresso foi posicionada abaixo da base do teclado e os pinos das partes inferiores dos *switches* foram soldados nela. Depois, o modelo 3D das teclas circulares foi projetado — utilizando o *software* Autodesk 3ds Max⁴ — e impresso em 3D dezesseis vezes usando o plástico PLA (ácido polilático). As teclas foram projetadas em formato circular por se adequarem bem às pontas dos dedos dos usuários. Após isto, foram cortados 16 pedaços de fita elétrica

¹ <<https://kprepublic.com/products>>

² <<https://www.cherrymx.de/en/mx-original/mx-green.html>>

³ <<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>>

⁴ <<https://www.autodesk.com.br/products/3ds-max/overview?term=1-YEAR>>

na cor azul, em formato quadrado e, então, estes foram colados na superfície das teclas; estes pedaços azuis de fita elétrica foram utilizados como marcadores para facilitar o sistema provisório de detecção de toque das teclas — responsável por gerar *feedback* visual em relação à posição dos dedos do usuário sobre as teclas do teclado em tempo real (ver Figura 21). Finalmente, o protótipo do teclado ambíguo foi conectado à Raspberry Pi, com os módulos de câmera e *bluetooth*, via USB. O módulo de câmera rastreia quais pedaços quadrados de fita elétrica azul estão sendo oclusos pelos dedos do usuário, enquanto o módulo *bluetooth* envia, em tempo real, todos os dados relacionados ao processo de entrada de texto para a aplicação de *RV mobile*: a comunicação entre o Raspberry Pi e o computador (intermediador) é realizada por meio de um protocolo serial e, então, a comunicação entre o computador e o *smartphone* utilizado é realizada por meio de um protocolo TCP/IP.

Figura 18 – Base e placa de circuito impresso utilizadas no protótipo do teclado ambíguo.



Fonte: Adaptado de KPrepublic (2021)

5.2 *Feedback* Visual e Tátil

A estrutura de teclado mecânico foi utilizada ao invés da estrutura de teclados convencionais (planos), por esses proporcionarem maior *feedback* tátil (BARRETT; KRUEGER, 1994). Além disso, os *switches* utilizados no protótipo possuem forte sensação tátil, com uma força operacional de 80cN e deslocamento de profundidade da tecla de 4mm (CHERRY MX, 2021). Deste modo, estes *switches* proporcionam: (1) *feedback* tátil, pelos dedos pressionando as teclas; (2) *feedback* cinestésico, pelo deslocamento de profundidade da tecla; e (3) *feedback* sonoro, emitido pelo clique da ativação da

Figura 19 – *Switch* de alto *feedback* tátil utilizado no protótipo do teclado ambíguo.



Fonte: Adaptado de CHERRY MX (2021)

Figura 20 – Protótipo do teclado ambíguo com as teclas circulares brancas impressas em 3D acopladas nos *switches*.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

tecla — este último *feedback* não se aplica em situações no qual o usuário esteja utilizando fones de ouvido para imersão sonora. Outro benefício desses *switches* é que, por serem “pesados” na força de ativação, o usuário pode posicionar seus dedos sobre as teclas sem se preocupar com o risco de pressionar alguma delas não intencionalmente, por causa da pressão gerada pelo peso de sua mão.

Utilizar uma técnica de entrada de texto que necessite de um teclado físico, possui a limitação do usuário precisar localizá-lo na vida real enquanto imerso no mundo

virtual (MCGILL et al., 2015). De fato, o *headset* de RV obstrui a visão do usuário quanto a posição de suas mãos em relação ao teclado físico (WALKER et al., 2017); no entanto, remover o *headset* para localizar o teclado ou para posicionar corretamente os dedos sobre as teclas, prejudica a imersão e a sensação de presença do usuário (KNIERIM et al., 2018). Neste sentido, a técnica deste trabalho proporciona um *feedback* visual, não somente em relação a quais teclas são pressionadas, como também, sobre quais teclas os dedos do usuário estão apoiados. Vale mencionar que o *feedback* visual pode aumentar a intuitividade de técnicas inéditas de entrada de texto e influenciar positivamente a sensação de presença no AV (SPEICHER et al., 2018); ainda, pode reduzir as taxas de erros de digitação (WALKER et al., 2017).

Em síntese, o protótipo do teclado ambíguo, isoladamente, somente é capaz de fornecer o *feedback* tátil e os dados necessários para o *feedback* visual no sistema referentes a quais teclas estão sendo pressionadas; à vista disso, o teclado em si não possui rastreadores para identificar sobre quais teclas os dedos do usuário estão encostados. Isto porque, como será melhor explicado no Capítulo 6 (demonstração da técnica), como não há rastreamento em 6 GdL na RV *mobile*, não há na demonstração da técnica a representação virtual das mãos do usuário — devido à imprecisão de rastreamento e a conseqüente experiência negativa ao usuário. Desta forma, para mitigar isso e proporcionar uma boa experiência, o usuário precisa ser capaz de localizar o teclado físico e a posição de seus dedos em relação as teclas do teclado ambíguo — enquanto às “cegas” no mundo real — antes de começar a pressionar as teclas desejadas. Caso contrário, o usuário teria que, inicialmente, pressionar algumas teclas erroneamente somente para entender a localização de seus dedos no teclado ambíguo. Isto causaria, além de uma alta carga cognitiva, erros de digitação e lentidão no processo de entrada de texto. Como mencionado anteriormente, este tópico será descrito com mais detalhes no próximo capítulo.

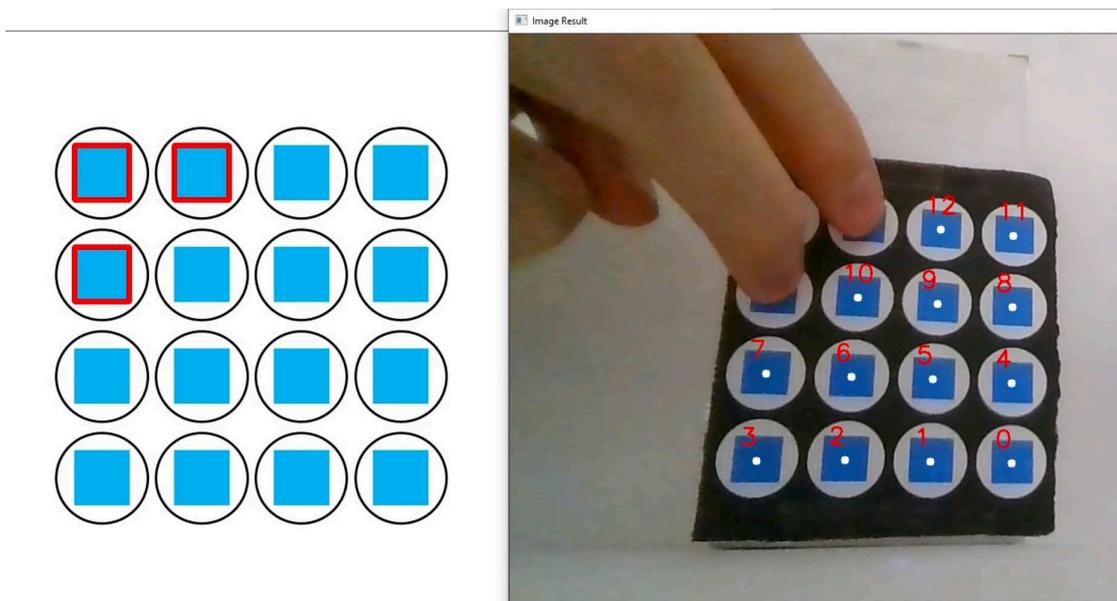
Considerando as informações anteriores, foi desenvolvido um sistema provisório de rastreamento utilizando o módulo de câmera da Raspberry Pi associado a visão computacional. Para tal, foi utilizada a linguagem de programação Python com as bibliotecas OpenCV⁵ e NumPy⁶. Primeiro, o módulo de câmera foi posicionado atrás do teclado ambíguo com um ângulo de visão superior inclinado (ver Figura 25); este posicionamento permite a captação de todos os marcadores azuis sobre as teclas. Então, após o sistema de rastreamento identificar todos os marcadores pela saída de vídeo em tempo real, este identifica os pontos cartesianos dos centróides de cada um. Depois, um processo de calibração é necessário para gerar uma lista de referência composta por todos os pontos cartesianos identificados nos marcadores; vale mencionar que o sistema identifica apenas marcadores na cor definida, assim, a cor

⁵ <<https://opencv.org/>>

⁶ <<https://numpy.org/>>

azul foi escolhida por se diferenciar das cores dos dedos dos seres humanos. Por fim, ao reconhecer os centróides dos marcadores, o sistema de rastreamento é capaz de identificar se tem algum marcador sendo ocluído pelos dedos do usuário (Figura 21).

Figura 21 – Captura de tela do teste de visão computacional rastreando quais teclas estão sendo ocluídas pelos dedos do usuário.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

5.3 Layout

Foi decidido utilizar o conceito de um teclado alternativo do tipo mecânico com 16 teclas (4x4) porque este é conveniente de ser operado por apenas uma mão. Além do mais, sabe-se que a facilidade de aprendizado de um sistema tem relação com o tempo e esforço necessários para que o usuário aprenda a utilizá-lo com bom desempenho (BARBOSA et al., 2021). Sob esta perspectiva, foi projetado um *layout* familiar para as três primeiras colunas e linhas de teclas — similar aos teclados ambíguos de celulares antigos. Esta abordagem de múltiplos pressionamentos foi o mais utilizado para entrada de texto em celulares. Segundo Soukoreff e Mackenzie (1995), neste método, o usuário precisa pressionar a mesma tecla uma ou mais vezes até inserir o caractere desejado. Em outras palavras, a quantidade de vezes que o usuário deve pressionar a tecla depende da posição do caractere dentro da tecla. Por exemplo, ao pressionar a tecla correspondente ao número dois, o usuário poderá inserir as letras 'a', 'b' ou 'c', dependendo de quantas vezes ele pressionar a tecla (ver Figura 22). Assim, quando o usuário chegar ao caractere desejado, este será inserido após o

usuário: (1) pressionar uma tecla diferente em menos de 1 a 2 segundos ou (2) esperar um tempo de permanência pré-determinado de 1 a 2 segundos — esta última possibilidade geralmente ocorre quando o próximo caractere que o usuário deseja inserir está localizado na mesma tecla.

Presume-se que o polegar não seja utilizado na digitação; conseqüentemente, supõe-se que os usuários irão digitar utilizando as seguintes configurações de interação: (1) quatro dedos para digitar, um para cada coluna de teclas; (2) o dedo do meio e o anelar para as duas primeiras colunas, e o indicador para as duas últimas — o mindinho permanece sem uso; ou (3) apenas o dedo indicador para digitar, pressionando uma tecla de cada vez individualmente (“*hunt-and-peek*”). Desta forma, mesmo na pior configuração de interação — usando apenas um dedo para digitar —, o deslocamento dos dedos será pequeno. Além dessa vantagem, enquanto algumas técnicas de trabalhos correlatos possuem entrada de texto apenas para letras minúsculas ou apenas para maiúsculas (Tabela 4), a técnica proposta neste trabalho proporciona a possibilidade de inserir letras maiúsculas e minúsculas, números e símbolos também. Por esta razão, considerando que o teclado ambíguo possui apenas 16 teclas, a técnica deste projeto — com o uso de teclas de alternância (*toggle keys*) e combinações entre elas — possibilita ao usuário trocar o *sub-layout* de caracteres. Como pode ser observado na Figura 22, são os *sub-layouts*: (a) letras minúsculas, (b) letras maiúsculas, (c) números, e (d,e,f) caracteres especiais.

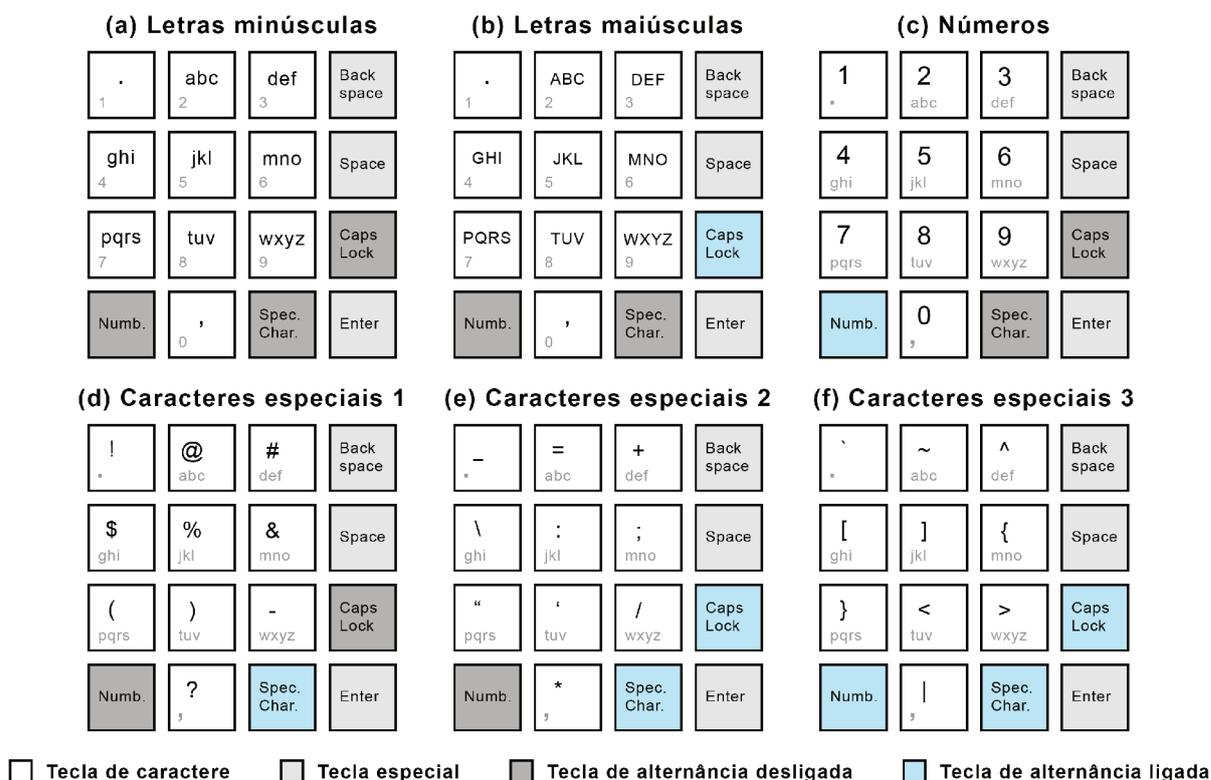
5.4 Conclusão

Este capítulo apresentou o projeto e desenvolvimento da técnica de entrada de texto proposta por este trabalho. Foram apresentadas as decisões de *design*, interação e tecnologias provisórias suficientes para possibilitar a simulação da funcionalidade da técnica no próximo capítulo.

Este trabalho tem foco maior nos fatores humanos: a concepção de uma técnica de entrada de texto inédita para RV *mobile* enquanto *design* e conceito de interação entre o usuário e o sistema. O atual estágio desta pesquisa, de caráter de longo prazo — devido a necessidade de ciclos de iterações e testes rotineiros com usuários à cada iteração —, visa (inicialmente) se utilizar da prototipação e tecnologias provisórias para materializar e testar a funcionalidade da técnica, para então, identificar oportunidades de melhoria. Este processo de iteração é necessário para aprimorar a técnica, tanto enquanto projeto, quanto enquanto desenvolvimento.

Desta forma, algumas tecnologias apresentadas neste capítulo, como o sistema de detecção de toque, não buscam primordialmente ser a melhor solução possível ou oferecer precisão absoluta; distintivamente, buscam possibilitar uma demonstração inicial da funcionalidade para observação e análise crítica do *design* de interação do

Figura 22 – Sub-layouts da técnica de entrada de texto.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

sistema, em especial a interface e a experiência do usuário. Isto permite, em trabalhos futuros, por meio de ciclos de iteração, aprimoramentos progressivos necessários para alcançar uma evolução satisfatória do artefato que viabilize a condução de sua etapa de avaliação — rever as atividades de uma pesquisa baseada na DSR (seção 3.2). Vale destacar que após avaliações de usabilidade e desempenho com usuários, por ser uma técnica com o objetivo de ser centrada no usuário, novas oportunidades de aprimoramentos podem ser identificadas e, conseqüentemente, o projeto pode iterar novamente à etapa de projeto e desenvolvimento. O Capítulo 7 apresentará algumas limitações identificadas no processo de projeto e desenvolvimento da técnica, suas propostas de melhorias e um roteiro para condução de trabalhos futuros.

Demonstração da Técnica

Este capítulo apresenta a demonstração de uso da técnica de entrada de texto proposta neste trabalho. Essencialmente, descreve o *design* de interação da aplicação de RV *mobile* desenvolvida, suas características, os dispositivos utilizados para executar tal aplicação e as estratégias utilizadas para assegurar a melhor experiência do usuário possível diante das limitações da RV baseada em *smartphones* (subseção 2.1.3). Um processo de *design* centrado no usuário precisa considerar possíveis aborrecimentos e frustrações dos usuários causadas por uma experiência desagradável ou ineficiente (ROGERS; SHARP; PREECE, 2013). Neste sentido, apesar de ser um desafio, é essencial que, ao desenvolver um artefato, seja antecipada a ocorrência de “efeitos colaterais” provenientes do seu uso, a fim de garantir uma boa experiência ao usuário (MARCH; SMITH, 1995). Desta maneira, este capítulo não só demonstra o funcionamento da técnica, como se utiliza de conceitos de experiência do usuário (seção 2.3) para justificar as estratégias aplicadas com o objetivo de mitigar as limitações da RV *mobile*.

6.1 Dispositivos Utilizados

Para a demonstração da técnica, além do protótipo do teclado ambíguo projetado, foram utilizados outros dispositivos para permitir o uso da tecnologia RV *mobile*. O *smartphone* para o qual a aplicação foi projetada é um Samsung Galaxy S8, com uma tela Super *AMOLED*. Este, conectado a um *headset* ativo Samsung Gear VR, fornece uma resolução teórica de 1480x1440 *pixels* por olho, um campo de visão de 101° e uma taxa de atualização de 60Hz. Além disso, foi utilizado um controle de mão de RV da Samsung — contendo 3 GdL — para possibilitar a interação com o AV.

6.2 Aplicação Desenvolvida para Demonstração

Geralmente, estudos que avaliam técnicas de entrada de texto utilizam uma metodologia, na qual, os usuários copiam frases pré-selecionadas apresentadas na interface de um sistema que coleta dados de desempenho durante o processo (WOB-BROCK, 2007; ARIF; STUERZLINGER, 2009). Distintivamente, o sistema desenvolvido para demonstração inicial deste projeto de longo prazo é uma aplicação de RV *mobile* com o intuito de simular tal interação, ainda sem coleta de dados métricos acerca do desempenho de digitação dos usuários; apenas possibilitando que o usuário experimente o processo de entrada de texto utilizando a técnica proposta — a seção de trabalhos futuros (seção 7.3) descreverá melhor os próximos passos dessa pesquisa.

A aplicação foi desenvolvida utilizando o *software* Unity 3D¹ e escrita utilizando a linguagem de programação C#. A interface do sistema contém a representação visual do teclado ambíguo com *feedback* visual em tempo real, frases para serem copiadas pelos usuários e um campo de entrada de texto vazio (Figura 26). As sentenças apresentadas na interface da aplicação foram retiradas do conjunto de frases para avaliação de técnicas de entrada de texto de MacKenzie e Soukoreff (2003). O cenário virtual foi projetado com uma aparência discreta para que os usuários não se distraíssem com a ambientação e pudessem focar na tarefa de digitação (Figura 23). Outra particularidade da interface do usuário projetada é que a representação virtual do teclado foi posicionada ao lado esquerdo do campo de texto, e não abaixo — como geralmente é. Supõe-se que essa configuração não causará fadiga no usuário porque a representação virtual do teclado é horizontalmente curta; também, será mais intuitiva, já que, no caso dos destros — ver limitações e trabalhos futuros em relação a esta particularidade, seção 7.2 e seção 7.3, respectivamente —, os usuários irão utilizar a mão esquerda para digitar e a mão direita para utilizar o controle de RV. Espera-se esse modo de uso porque, geralmente, os usuários utilizam a mão direita para controlar o *mouse* no uso de computadores pessoais; supôs-se que de forma semelhante o controle de mão de RV será utilizado para seleção de objetos virtuais e interação com o AV por meio do ponteiro virtual.

Outra importante decisão tomada foi a de não incluir a representação virtual das mãos do usuário na aplicação. De acordo com Knierim et al. (2018), a representação virtual das mãos pode melhorar o desempenho de digitação de usuários inexperientes; ademais, a carga mental de trabalho é maior quando as mãos virtuais do usuário não são visíveis. Contudo, as mãos virtuais se apresentam como uma interface familiar entre a aplicação de RV e o corpo virtual do usuário; por este motivo, para optar por representar virtualmente as mãos do usuário, o *feedback* visual, o rastreamento e a

¹ <<https://unity.com/pt>>

Figura 23 – Cenário virtual da aplicação de Realidade Virtual *mobile* desenvolvida.

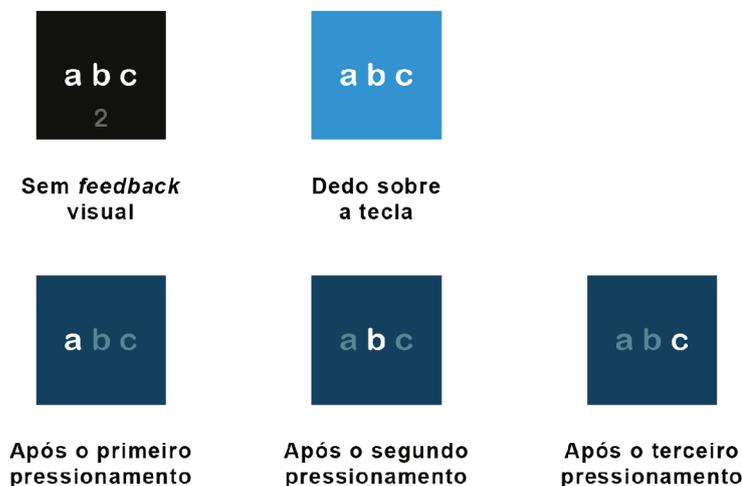
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

representação precisam ser precisos a fim de evitar a ocorrência do *uncanny valley* (subseção 2.3.1).

Tal fenômeno interfere negativamente na experiência do usuário e na eficiência da aplicação. Dependendo do elemento e da intensidade do *uncanny valley*, respostas cognitivas do usuário podem ser afetadas (SINGH et al., 2018) e o desempenho do usuário na interação, reduzido (EBRAHIMI et al., 2018; GRUBERT et al., 2018a; PEPPERKORN et al., 2016). Como mencionado anteriormente, a RV *mobile* é estacionária e, assim, possui apenas 3 GdL; conseqüentemente, pelo fato desta não ser capaz de rastrear as posições tridimensionais das mãos e dos dedos dos usuários, para mitigar isto no *feedback* visual projetado nesse trabalho — apesar de não haver a representação virtual das mãos — os usuários podem acompanhar os resultados da interação de digitação em tempo real na interface do sistema (ver Figura 26). Em outras palavras, a melhor decisão foi ocultar a representação das mãos virtuais e diminuir o tamanho do teclado ambíguo, de forma que o usuário consiga memorizar facilmente o *layout* familiar utilizado — com *feedback* visual integrado — e tenha menor deslocamento possível de dedos para pressionar qualquer uma das teclas enquanto às cegas do mundo real. Desta forma, esta estratégia é capaz de aprimorar a experiência do usuário ao fornecer um retorno visual e, ao mesmo tempo, evitar a ocorrência do *uncanny valley*. A técnica proposta neste trabalho permite que o usuário perceba, por meio do *feedback* visual, não somente o momento em que a tecla desejada é pressionada, mas também, a posição de seus dedos sobre o teclado ambíguo. Assim, a partir de ambos os *feedbacks* visuais, o usuário não precisa pressionar “cegamente” uma tecla indesejada, em um primeiro momento, somente para identificar quais teclas seus dedos estão tocando.

Por ser um teclado ambíguo, o usuário pode precisar pressionar a mesma tecla mais de uma vez para inserir o caractere desejado (abordagem de múltiplos pressionamentos). Portanto, o sistema destaca o caractere referente a quantidade de pressionamentos realizados até o momento por um curto tempo de permanência (Figura 24). Deste modo, após o usuário pressionar uma tecla pela primeira vez, o sistema esperará o usuário tomar uma das seguintes ações: (1) pressionar a mesma tecla de novo, (2) pressionar outra tecla ou (3) não pressionar nenhuma tecla — permitindo encerrar o tempo de permanência pré-determinado. Se o usuário pressionar a mesma tecla, o próximo caractere na sequência será destacado e, assim, o processo se repetirá no sistema, esperando que o usuário tome uma das três ações novamente. No exemplo da tecla referente ao número 2 (letras ‘a’, ‘b’ e ‘c’), se o usuário pressionar a tecla uma vez, a letra ‘a’ será destacada; com duas vezes, a letra ‘b’ será destacada; com três, a letra ‘c’ será destacada; com quatro, a letra ‘a’ será destacada novamente e assim por diante. O caractere destacado no momento só será inserido automaticamente no campo de texto se o usuário esperar acabar o tempo de permanência pré-determinado ou pressionar outra tecla antes que este tempo seja encerrado.

Figura 24 – Exemplo de *feedbacks* visuais da representação visual do teclado ambíguo.

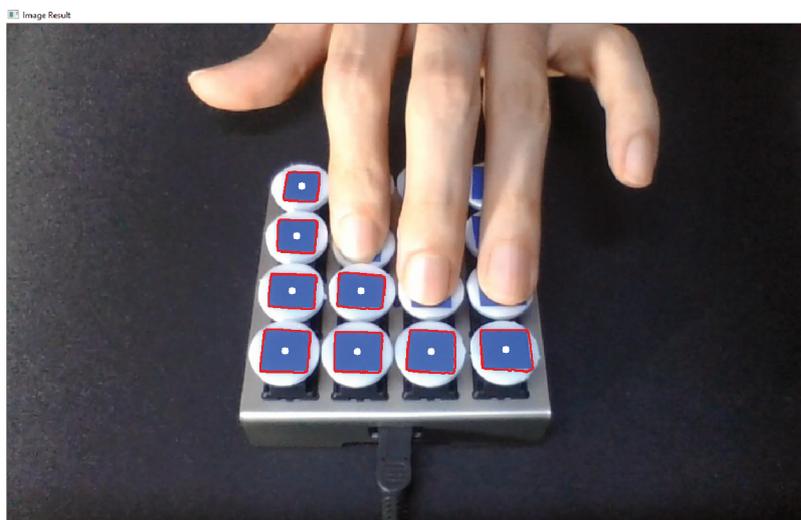


Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

O *feedback* visual para o caractere que ainda está em destaque, devido ao tempo de permanência inacabado, além de ser representado dentro da tecla virtual (Figura 24), também possui uma representação no campo de entrada de texto (ver Figura 26). Dentro da representação virtual da tecla, o caractere do turno é destacado na cor branca, enquanto os outros caracteres permanecem com menos brilho (mais “apagados”), com quase a mesma cor da representação da tecla quando esta está sendo pressionada (azul escuro). Neste meio-tempo, dentro da representação

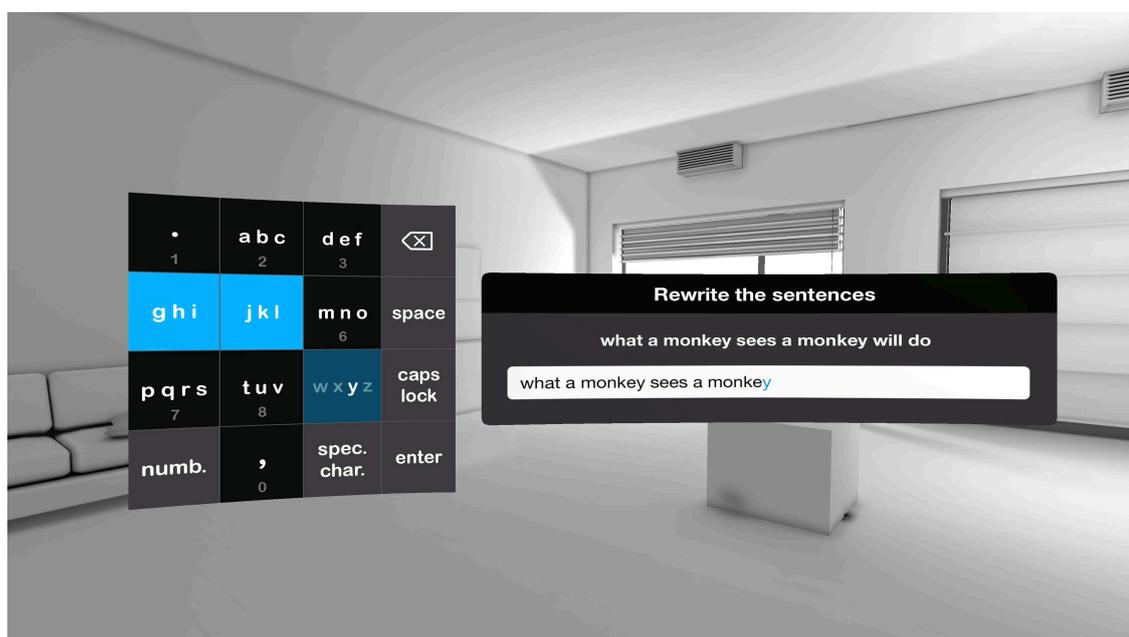
no campo de entrada de texto, o mesmo caractere é destacado em azul, enquanto ainda permanece o tempo de permanência, até que, após confirmada automaticamente a seleção do caractere, este perde o destaque e se torna preto como todos os caracteres inseridos anteriormente (ver Figura 26). Finalmente, vale recordar que, por exemplo, se o usuário deseja inserir a letra ‘a’, mas ao invés de pressionar uma vez, acidentalmente pressiona duas (destacando a letra ‘b’), o usuário poderá pressionar a mesma tecla mais duas vezes (quatro pressionamentos no total), para que assim, a letra ‘a’ seja destacada novamente. Em outras palavras, após o turno do último caractere de uma tecla, o primeiro caractere será destacado novamente, permitindo uma outra chance ao usuário de inserir o caractere desejado desde o princípio.

Figura 25 – Visão computacional do sistema rastreando a posição dos dedos do usuário em relação ao teclado ambíguo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

A Figura 25 e a Figura 26 são imagens simultâneas da visão computacional captada pela câmera e de uma tela de captura da aplicação desenvolvida, respectivamente. O *feedback* visual sugere que o usuário está com dois dedos repousando sobre duas teclas — equivalente as teclas referentes aos números 4 e 5 — e um dedo pressionando outra tecla pela terceira vez — tecla referente ao número 9 (letras ‘w’, ‘x’, ‘y’ e ‘z’); observando o *feedback* visual da tecla e do campo de entrada de texto, o caractere sendo inserido no momento é a letra ‘y’ — nota-se que no momento da captura das imagens, o tempo de permanência ainda está inacabado.

Figura 26 – Tela de captura da aplicação desenvolvida para Realidade Virtual *mobile*.

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

6.3 Conclusão

Este capítulo apresentou a demonstração da técnica de entrada de texto por meio de uma aplicação desenvolvida para RV baseada em *smartphones*. Foram descritas informações relacionadas à interação, funcionalidade, interface e dispositivos utilizados para executar a aplicação. Percebeu-se o benefício de iterar de volta à atividade 3 (projeto e desenvolvimento) — dentro do processo de DSR (recordar seção 3.2) — para aprimorar a técnica antes de iniciar o estudo de avaliação. Apesar disto, a partir desta demonstração da versão inicial da técnica e das tecnologias provisórias para simular a funcionalidade do protótipo do teclado ambíguo, foi possível identificar limitações do projeto dos artefatos e oportunidades de melhorias. Tais limitações e planejamento para trabalhos futuros serão abordados em detalhes no próximo capítulo, na seção 7.2 e seção 7.3, respectivamente.

Conclusão

Este trabalho buscou propor a associação de técnicas de teclados ambíguos como estratégia de interação para o processo de entrada de texto em ambientes de RV suportados por *smartphones*. Ademais, apresentou o desenvolvimento de um protótipo de teclado ambíguo e uma técnica de entrada de texto com o objetivo de aprimorar tal processo. Neste sentido, este capítulo apresenta as principais contribuições, as limitações e os trabalhos futuros deste trabalho; posteriormente, resume o trabalho com as considerações finais do autor.

7.1 Principais Contribuições

Uma das principais contribuições de uma pesquisa baseada na DSR é o próprio artefato desenvolvido (HEVNER et al., 2004). Outra contribuição de relevância é sua capacidade de aprimorar teorias com novas ideias ou conceitos que podem fundamentar a solução de um problema prático (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015). Segundo Hevner et al. (2004), o ineditismo de um artefato é essencial, já que este deve se propor a solucionar um problema existente de forma inovadora e mais efetiva. Tal solução, no entanto, não precisa ser necessariamente totalmente diferente das soluções existentes anteriores; alternativamente, esta pode solucionar um problema utilizando conhecimentos existentes, porém aplicados de modo novo e inovador. Desta forma, assim como este trabalho utilizou de conhecimentos existentes dispersos para agrupá-los e propor uma nova solução, as contribuições deste projeto podem ser úteis para outros pesquisadores e incentivá-los a propor técnicas inéditas de entrada de texto para RV *mobile* que aproveitem da disponibilidade de uso de uma das mãos do usuário ou do conceito de utilizar técnicas de teclados ambíguos como estratégia de interação.

A solução apresentada neste trabalho é inédita, se propõe a proporcionar desempenho e ergonomia e a priorizar uma boa experiência ao usuário; ao mesmo tempo,

não se propõe a ser um resultado ótimo, ao invés disso, busca ser uma solução satisfatória, capaz de otimizar a interação entre o usuário e o sistema de RV *mobile* durante o processo de entrada de texto. Como citado anteriormente, este trabalho reflete o desenvolvimento de uma pesquisa de longo prazo; apesar disto, este trabalho contribui apresentando o projeto e o desenvolvimento de: (1) um protótipo de teclado ambíguo e (2) uma técnica de entrada de texto para RV *mobile*.

7.2 Limitações

A criatividade e a tentativa e erro são características de uma pesquisa baseada na DSR. Além disso, os artefatos desenvolvidos por meio deste método refletem o conhecimento do *designer* do problema e da solução. Desta forma, o próprio artefato representa um experimento (HEVNER et al., 2004). Isto significa que durante o desenvolvimento do artefato, o *designer* aprende mais sobre o problema e amadurece ideias sobre como aprimorar a solução a fim de torná-la ainda mais eficiente. Logo, evidencia-se a importância de artefatos protótipos no processo de busca de uma solução satisfatória para resolver o problema desejado.

Nessa perspectiva, a técnica apresentada neste trabalho, enquanto artefato protótipo, apresentou limitações relacionadas ao protótipo do teclado ambíguo e ao *design* de interação da aplicação desenvolvida para demonstrar a técnica. Esta seção descreve tais limitações, enquanto que a próxima seção, além de descrever outros trabalhos futuros — como estudos com usuários —, discute também soluções para algumas das limitações identificadas. São as limitações da técnica proposta neste trabalho:

1. Considerando que é uma técnica baseada em um teclado físico, o usuário precisa estar sentado em frente a uma mesa para utilizá-la adequadamente.
2. Até o momento atual desta pesquisa de longo prazo, a técnica e toda sua interface foi projetada considerando que o usuário vai utilizar a mão esquerda para interagir com o protótipo do teclado ambíguo e, a direita, para utilizar o controle de mão de RV; assim, o usuário pode ter uma experiência desagradável e confusa caso inverta as mãos para utilizar a técnica.
3. Dependendo da posição da câmera em relação ao protótipo do teclado ambíguo e da iluminação do ambiente em que o usuário estiver utilizando a técnica, o sistema provisório de rastreamento baseado em visão computacional pode apresentar imprecisões; *feedbacks* imprecisos podem produzir no usuário uma experiência negativa e prejudicar seu desempenho de digitação.

4. Por capturar apenas uma posição frontal do protótipo do teclado ambíguo, o sistema provisório de rastreamento baseado em visão computacional, muitas vezes, é capaz de rastrear apenas um dedo por coluna; assim, como a limitação anterior, pode gerar um *feedback* visual incorreto ao usuário.
5. A abordagem de múltiplos pressionamentos, característica de teclados ambíguos, requer movimentos repetitivos e pode causar fadiga rapidamente; além disso, a ocasional necessidade de espera para inserir um caractere, devido ao tempo de permanência pré-determinado, pode diminuir a velocidade de digitação.

Vale recordar que uma limitação identificada durante o processo de desenvolvimento da atual versão da técnica foi o fato da *RV mobile* ser limitada a 3 GdL. Apesar da representação virtual das mãos do usuário serem positivas para a sua experiência, a provável ocorrência do *uncanny valley* — causada pelo rastreamento limitado da *RV mobile* — poderia tornar tal experiência negativa, reduzindo a eficiência da técnica (subseção 2.3.1). Considerando estas informações, este trabalho buscou mitigar tal limitação pelo uso da estratégia de *feedback* visual, não só para o momento em que o usuário pressiona a tecla, mas também, para indicar quais teclas estão sendo tocadas pelos dedos do usuário (seção 6.2). Trabalhos futuros aprimorarão o sistema de rastreamento provisório — que também apresentou limitações — utilizado para mitigar a limitação mencionada.

7.3 Trabalhos Futuros

Pesquisas baseadas nos conceitos da *design science* englobam basicamente duas atividades gerais: desenvolver e avaliar o artefato (MARCH; SMITH, 1995; HEVNER et al., 2004). A primeira é o processo de construir o artefato com um determinado objetivo; já a segunda, é o processo de determinar o quão bem o artefato tem capacidade de resolver o problema (MARCH; SMITH, 1995). Considerando que o método de DSR proposto por Peffers et al. (2007) — utilizado neste trabalho — é um processo iterativo, identificou-se a partir da demonstração dos artefatos a necessidade de iterar de volta à etapa de projeto e desenvolvimento com o objetivo de aprimorá-los em trabalhos futuros. O objetivo de um artefato projetado pela abordagem da *design science* é a sua utilidade. Contudo, a utilidade de um artefato só pode ser demonstrada por meio de sua avaliação (HEVNER et al., 2004). Em outras palavras, por meio da avaliação, é possível demonstrar que o artefato cumpre a função proposta inicialmente e atende aos critérios estabelecidos para seu desenvolvimento (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015). Por estes motivos, além dos aprimoramentos da técnica, os

trabalhos futuros desta pesquisa incluirão também estudos de avaliação¹ — atividade 5 dentro do processo da DSR (recordar seção 3.2).

7.3.1 Aprimoramentos da Técnica

A partir das limitações do trabalho e das observações feitas pela a análise da demonstração da técnica, evidenciou-se aprimoramentos necessários para evoluir a técnica proposta neste trabalho:

1. Versões aprimoradas do sistema possuirão uma interface flexível onde o usuário poderá escolher qual é a sua mão dominante; assim, dependendo de sua escolha, as posições dos elementos da interface irão se inverter e o usuário poderá utilizar o teclado com a mão direita e, o controle de mão de RV, com a esquerda, mantendo uma interação intuitiva e confortável.
2. Versões aprimoradas do sistema de detecção da posição dos dedos do usuário em relação as teclas do teclado ambíguo serão baseadas em sensores capacitivos de toque e não em visão computacional; desta forma, a experiência do usuário será beneficiada pela possibilidade de um *feedback* visual preciso.
3. Versões aprimoradas do sistema utilizarão uma abordagem de apenas um pressionamento de tecla ambígua utilizando AM para prever palavras correspondentes; supõe-se que esta estratégia poderá aumentar a velocidade de digitação e diminuir a fadiga gerada pelo processo de entrada de texto.
4. Versões aprimoradas da aplicação de RV *mobile* será capaz de coletar e salvar dados métricos relacionados ao desempenho de digitação dos usuários.

7.3.2 Estudo de Avaliação

A qualidade, a utilidade e a eficácia de um artefato desenvolvido devem ser comprovadas por um método de avaliação bem executado (HEVNER et al., 2004). De acordo com March e Smith (1995), um estudo empírico comparativo pode ser necessário para realizar a avaliação; para isto, é necessário não somente um grupo de usuários para utilizar e avaliar o artefato, como também, é necessário compará-lo com outros artefatos existentes. Em vista disso, esta subseção descreverá o estudo empírico comparativo, as métricas de desempenho e questionários utilizados, e o procedimento da avaliação que será realizada com usuários.

¹ No momento presente da concepção deste documento de dissertação, estudos com usuários estão sendo inviáveis devido ao atual contexto de pandemia da COVID-19; portanto, após os devidos aprimoramentos da técnica e a eventual volta à normalidade nas universidades brasileiras, a técnica será avaliada por meio de estudos com usuários.

7.3.2.1 Estudo Comparativo

A avaliação da técnica será realizada por meio de um estudo comparativo, visando coletar dados referentes a velocidade de digitação, taxa de erro, usabilidade e experiência do usuário. A escolha de métodos de avaliação de um artefato deve ser coerente a sua aplicabilidade (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015). Geralmente, são utilizadas métricas de avaliação e metodologias disponíveis na área de conhecimento do artefato desenvolvido (HEVNER et al., 2004). Desta maneira, serão utilizados como base de referência da avaliação, os aspectos metodológicos do estudo de Boletsis e Kongsvik (2019).

Considerando que uma avaliação com contribuição significativa deve avaliar a solução desenvolvida comparando-a com outras soluções existentes (HEVNER et al., 2004; MARCH; SMITH, 1995), o estudo comparativo irá avaliar e comparar as seguintes técnicas:

- a) Técnica de *ray-casting* controlada pela cabeça do usuário — utilizando apenas um *headset* ativo (formato mais simples).
- b) Técnica de *ray-casting* utilizando um controle de mão de RV — configuração padrão da RV baseada em *smartphones* com o uso de *headsets* ativos.
- c) Técnica apresentada neste trabalho com abordagem de múltiplos pressionamentos — interação padrão em teclados ambíguos.
- d) Técnica apresentada neste trabalho, porém, com abordagem de apenas um pressionamento de tecla ambígua — usando o mesmo teclado ambíguo, no entanto, adicionando AM para prever as possíveis palavras, aumentando a velocidade de digitação e reduzindo a fadiga² causada por movimentos repetitivos.

Vale recordar que as duas primeiras técnicas mencionadas são as técnicas convencionais de *ray-casting*, utilizadas usualmente para entrada de texto em RV *mobile* com o uso de *headsets* ativos. Já as duas últimas, são propostas resultantes da interação possibilitada pelo protótipo do teclado ambíguo.

7.3.2.2 Métricas de Desempenho

Por meio de métricas analíticas apropriadas, os artefatos desenvolvidos podem ser matematicamente avaliados (HEVNER et al., 2004). Tais métricas devem ser adequadas ao que se deseja mensurar; quando coerentes, estas podem ser utilizadas para avaliar o desempenho proporcionado pelo uso de um artefato (MARCH; SMITH, 1995). Deste modo, buscou-se na literatura metodologias e métricas consolidadas para avaliar o desempenho do usuário no processo de entrada de texto.

² Segundo Boletsis e Kongsvik (2019), a fadiga é um fator importante a ser considerado na avaliação de uma técnica nova de entrada de texto.

A metodologia encontrada é capaz de avaliar o desempenho analisando a velocidade de digitação (palavras por minuto) e a taxa de erros. Este tipo de medição empírica é a mais utilizada para avaliar o desempenho de técnicas de entrada de texto. Desta forma, a equação para calcular a velocidade de digitação é a seguinte (WOBBROCK, 2007; ARIF; STUERZLINGER, 2009):

$$WPM = \frac{|T| - 1}{S} \times 60 \times \frac{1}{5} \quad (1)$$

Onde *WPM* é *words per minute* (palavras por minuto), *T* é a frase final transcrita pelo usuário, $|T|$ é o tamanho da frase³ e *S* é o tempo em segundos entre a entrada do primeiro caractere até o último. Como a contagem de tempo começa só após a entrada do primeiro caractere, este não é contado, então o valor -1 é incluído após o tamanho da frase $|T|$ (WOBBROCK, 2007; ARIF; STUERZLINGER, 2009). Por fim, o valor 60 representa a quantidade de segundos em um minuto e $1/5$ representa a quantidade de palavras por caractere⁴.

Para calcular a taxa de erros, é utilizado uma métrica que combina a precisão resultante durante e depois do processo de entrada de texto (ARIF; STUERZLINGER, 2009; SOUKOREFF; MACKENZIE, 2003):

$$TotalER = \frac{INF + IF}{C + INF + IF} \times 100\% \quad (2)$$

Esta equação mede a taxa total de erro (*TotalER*) por meio da razão entre: a soma do número total de caracteres incorretos não-corrigidos (*INF*) e os incorretos corrigidos (*IF*); e a soma do número total de caracteres corretos (*C*), os incorretos não-corrigidos (*INF*) e os incorretos corrigidos (*IF*) (SOUKOREFF; MACKENZIE, 2003). Após os dois cálculos mencionados, uma estratégia de correção de erro será utilizada para incentivar um comportamento natural dos usuários na correção de erros de digitação perante o tempo do experimento (ARIF; STUERZLINGER, 2009; ARIF; STUERZLINGER, 2010). A análise de variância (ANOVA) será utilizada para comparar as médias das quatro técnicas avaliadas por meio das duas equações apresentadas.

³ *T* pode conter letras, números, símbolos e espaços, mas não inclui o *backspace* (para apagar) porque este só captura o resultado da entrada de texto e não o processo completo (WOBBROCK, 2007).

⁴ Uma palavra é comumente considerada como um conjunto de cinco caracteres, incluindo espaços (YAMADA, 1980).

7.3.2.3 Preferências dos Usuários

Para avaliar a técnica é necessário garantir não somente a sua eficiência, mas também a satisfação do usuário — avaliação subjetiva em relação a suas emoções e sentimentos ao utilizar um sistema (BARBOSA et al., 2021). As preferências dos usuários serão avaliadas por meio de questionários e entrevistas. Inicialmente, dados demográficos serão coletados dos participantes. Além de gênero e idade, por exemplo, este questionário irá perguntar ao participante qual é sua experiência com RV e frequência de uso. Para coletar dados relacionados à opinião dos usuários acerca da usabilidade da técnica, será utilizado o questionário *System Usability Scale* (SUS) (BROOKE, 2013). Já para avaliar a experiência dos usuários será utilizado o questionário *Game Experience Questionnaire* (GEQ) (IJSELSTEIJN; DE KORT; POELS, 2013). Tal questionário será aplicado após o experimento, porém, pedirá para o usuário indicar como ele se sentiu em dois momentos: durante a tarefa de digitação e depois do experimento. Isto porque o usuário pode ter tido experiências diferentes nesses dois momentos distintos. Por fim, serão feitas entrevistas semi-estruturadas para coletar comentários e opiniões particulares dos participantes sobre as técnicas experienciadas.

7.3.2.4 Participantes e Procedimento da Avaliação

Os participantes serão recrutados de cursos de graduação ou pós-graduação em universidades. Ter experiências passadas com a RV *mobile* não será um pré-requisito para participar do experimento; o único pré-requisito será que o participante deve ser fisicamente capaz de interagir com os dispositivos e de usar a tecnologia de RV. A ordem do procedimento do experimento será a seguinte:

- a) Os participantes irão preencher o formulário de consentimento.
- b) Os participantes irão preencher os formulários de dados demográficos e experiências passadas com a RV.
- c) Os participantes terão um tempo para se familiarizar com a tecnologia de RV *mobile*, utilizando a primeira técnica de entrada de texto — que será escolhida pelo sistema aleatoriamente.
- d) Os participantes irão copiar o mais rápido e precisamente possível 10 frases pré-selecionadas retiradas do conjunto de frases de MacKenzie e Soukoreff (2003).
- e) Os participantes irão preencher os formulários *System Usability Scale* (BROOKE, 2013) e *Game Experience Questionnaire* (IJSELSTEIJN; DE KORT; POELS, 2013).

- f) Após um pequeno intervalo, os participantes irão repetir as etapas 3, 4 e 5 utilizando as outras três técnicas restantes.
- g) Os participantes irão participar de entrevistas semi-estruturadas.

7.4 Considerações Finais

Sabe-se que a RV *mobile* é a forma mais acessível ao público geral para experienciar essa tecnologia; utilizar a RV baseada em computadores de alto desempenho exige altos custos, de forma que, muitas vezes, esta tecnologia se torna mais acessível à academia do que ao público geral. Ao verificar o estado da arte, apesar de existirem diversos estudos apresentando técnicas alternativas ao método padrão de entrada de texto (*ray-casting*) para RV baseada em computadores, não existem alternativas específicas para RV baseada em *smartphones* que permitam o usuário continuar utilizando o controle de RV em uma mão — para interações básicas com o AV e navegação rápida pelo texto — e que ao mesmo tempo, ocupe sua mão disponível com um dispositivo adicional capaz de auxiliar o processo de entrada de texto, visando fatores humanos e desempenho.

Tal solução poderia otimizar a interação ao ocupar ambas as mãos do usuário e proporcionar um processo de entrada de texto mais natural, rápido e eficaz. Assim sendo, este trabalho apresentou a pesquisa em andamento do projeto e desenvolvimento de uma técnica de entrada de texto para RV *mobile* usando o método DSR. Os produtos resultantes deste trabalho foram: (1) um protótipo de teclado ambíguo controlado por uma mão e (2) uma técnica de entrada de texto para RV *mobile*.

Por meio de sua demonstração, esta técnica mostrou possuir o potencial de ser uma alternativa ou extensão para o processo de entrada de textos curtos para RV *mobile* quando comparada às técnicas convencionais baseadas em *ray-casting*. Ainda assim, foi identificada a necessidade de aprimoramentos e comparações empíricas como importantes etapas futuras deste trabalho. Espera-se que após otimizações, a solução se prove intuitiva e centrada no usuário a partir de estudos de avaliações com usuários. Além disso, espera-se que, ao fornecer *feedback* visual e tátil adequado em tempo real, o desempenho e a experiência de digitação dos usuários sejam melhorados. Por fim, durante e após a condução dos trabalhos futuros — planejados na seção anterior — o conhecimento resultante desta pesquisa continuará sendo comunicada por meio de publicações acadêmicas.

Referências

- ARIF, A. S.; STUERZLINGER, W. Analysis of text entry performance metrics. In: **2009 IEEE Toronto International Conference Science and Technology for Humanity (TIC-STH)**. IEEE, 2009. p. 100–105. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/TIC-STH.2009.5444533>>.
- _____. Predicting the cost of error correction in character-based text entry technologies. In: _____. **Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2010. p. 5–14. ISBN 9781605589299. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/1753326.1753329>>.
- BARBOSA, S. D. J. et al. **Interação Humano-Computador e Experiência do Usuário**. Online: Autopublicação, 2021. Disponível em: <<https://leanpub.com/ihc-ux>>.
- BARRETT, J.; KRUEGER, H. Performance effects of reduced proprioceptive feedback on touch typists and casual users in a typing task. **Behaviour & Information Technology**, Taylor & Francis, v. 13, n. 6, p. 373–381, 1994. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/01449299408914618>>.
- BERGER, C. C. et al. The uncanny valley of haptics. **Science Robotics**, v. 3, n. 17, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1126/scirobotics.aar7010>>.
- BOLETISIS, C.; KONGSVIK, S. Controller-based text-input techniques for virtual reality: An empirical comparison. **International Journal of Virtual Reality**, v. 19, n. 3, p. 2–15, Oct. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.20870/IJVR.2019.19.3.2917>>.
- BORN, F.; MASUCH, M. Increasing presence in a mixed reality application by integrating a real time tracked full body representation. In: CHEOK, A. D.; INAMI, M.; ROMÃO, T. (Ed.). **Advances in Computer Entertainment Technology**. Cham: Springer International Publishing, 2018. p. 46–60. ISBN 978-3-319-76270-8. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-76270-8_4>.
- BOWMAN, D. A. et al. **3D User Interfaces: Theory and Practice**. USA: Addison Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2004. ISBN 0201758679.
- BROOKE, J. Sus: A retrospective. **Journal of Usability Studies**, Usability Professionals' Association, Bloomingdale, IL, v. 8, n. 2, p. 29–40, 2013. ISSN 1931-3357.

- CARDOSO, A. et al. Tecnologias e ferramentas para o desenvolvimento de sistemas de realidade virtual e aumentada. In: CARDOSO, A. et al. (Ed.). **Tecnologias para o Desenvolvimento de Sistemas de Realidade Virtual e Aumentada**. Recife: Editora Universitária UFPE, 2007. cap. 1, p. 1–19. ISBN 9788573154009. Disponível em: <<https://www.gprt.ufpe.br/grvm/wp-content/uploads/Publication/Books&Chapters/2007/TecnologiasParaODesenvolvimentoDeSistemasdeRealidadeVirtualEAumentada.pdf>>.
- CHERRY MX. **CHERRY MX Green: CLICKY, ROBUST AND NOTICEABLE**. 2021. Acessado em: 19 jun. de 2021. Disponível em: <<https://www.cherrymx.de/en/mx-original/mx-green.html>>.
- CIRCUIT STREAM. **Intro to Vive Development: Input through Raycasting**. 2018. Acessado em: 29 abr. de 2021. Disponível em: <<https://circuitstream.com/blog/htc-vive-tutorial-raycasting/>>.
- COSTA, R. M.; KAYATT, P.; BOGONI, T. Hardware. In: TORI, R.; HOUNSELL, M. (Ed.). **Introdução a realidade virtual e aumentada**. 3. ed. Porto Alegre, Brasil: Editora SBC, 2020. cap. 5, p. 92–102. ISBN 978-85-7669-446-5. Disponível em: <<https://pcs.usp.br/interlab/en/2018/10/31/livro-introducao-a-realidade-virtual-e-aumentada/>>.
- DAILY ROUNDS. **Inspiring Doctors: Inventor of virtual patients to teach medicos**. 2016. Acessado em: 08 mai. de 2021. Disponível em: <<https://www.dailyrounds.org/blog/inspiring-doctors-inventor-of-virtual-patients-to-teach-medicos/>>.
- DANIEAU, F. et al. Enabling embodiment and interaction in omnidirectional videos. In: **2017 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)**. IEEE, 2017. p. 697–702. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/ICME.2017.8019388>>.
- DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JR., J. A. V. **Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. 1. ed. Porto Alegre, Brasil: Bookman, 2015. ISBN 978-85-8260-553-0.
- DUBE, T. J.; ARIF, A. S. Text entry in virtual reality: A comprehensive review of the literature. In: KUROSU, M. (Ed.). **Human-Computer Interaction. Recognition and Interaction Technologies**. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 419–437. ISBN 978-3-030-22643-5. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-22643-5_33>.
- D'ALONZO, M. et al. Different level of virtualization of sight and touch produces the uncanny valley of avatar's hand embodiment. **Scientific Reports**, v. 9, n. 19030, p. 1–11, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41598-019-55478-z>>.
- EBRAHIMI, E. et al. Effects of anthropomorphic fidelity of self-avatars on reach boundary estimation in immersive virtual environments. In: **Proceedings of the 15th ACM Symposium on Applied Perception**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2018. (SAP '18). ISBN 9781450358941. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3225153.3225170>>.
- FELIZARDO, K. et al. **Revisão sistemática da literatura em engenharia de software: Teoria e prática**. 1. ed. Rio de Janeiro, Brasil: Elsevier, 2017. ISBN 978-8535286410.

- GELLER, T. Overcoming the uncanny valley. **IEEE Computer Graphics and Applications**, v. 28, n. 4, p. 11–17, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/MCG.2008.79>>.
- GOOGLE. **Google Cardboard**. 2014. Acessado em: 30 abr. de 2021. Disponível em: <<https://arvr.google.com/cardboard/>>.
- GRUBERT, J. et al. Effects of hand representations for typing in virtual reality. In: **2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)**. IEEE, 2018. p. 151–158. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/VR.2018.8446250>>.
- _____. Text entry in immersive head-mounted display-based virtual reality using standard keyboards. In: **2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)**. IEEE, 2018. p. 159–166. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/VR.2018.8446059>>.
- HEVNER, A. R. et al. Design science in information systems research. **MIS Quarterly**, Society for Information Management and The Management Information Systems Research Center, v. 28, n. 1, p. 75–105, 2004. ISSN 0276-7783. Disponível em: <<https://doi.org/10.2307/25148625>>.
- HOWARD, M. C. Investigating the simulation elements of environment and control: Extending the uncanny valley theory to simulations. **Computers & Education**, v. 109, p. 216–232, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.03.005>>.
- IJSSELSTEIJN, W.; DE KORT, Y.; POELS, K. **The Game Experience Questionnaire**. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2013. Disponível em: <<https://research.tue.nl/en/publications/the-game-experience-questionnaire>>.
- JEUNET, C. et al. “do you feel in control?”: Towards novel approaches to characterise, manipulate and measure the sense of agency in virtual environments. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 24, n. 4, p. 1486–1495, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2794598>>.
- JUNG, S.; HUGHES, C. E. The effects of indirect real body cues of irrelevant parts on virtual body ownership and presence. In: **Proceedings of the 26th International Conference on Artificial Reality and Telexistence and the 21st Eurographics Symposium on Virtual Environments**. Goslar, DEU: Eurographics Association, 2016. (ICAT-EGVE '16), p. 107–114. ISBN 9783038680123. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2312/egve.20161442>>.
- KIM, Y. R.; KIM, G. J. Hovr-type: Smartphone as a typing interface in vr using hovering. In: **2017 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)**. IEEE, 2017. p. 200–203. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/ICCE.2017.7889285>>.
- KNIERIM, P. et al. Opportunities and challenges of text input in portable virtual reality. In: . New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2020. (CHI EA '20), p. 1–8. ISBN 9781450368193. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3334480.3382920>>.
- _____. Physical keyboards in virtual reality: Analysis of typing performance and effects of avatar hands. In: **Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. New York, NY, USA: Association for

Computing Machinery, 2018. (CHI '18), p. 1–9. ISBN 9781450356206. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3173574.3173919>>.

KOPPER, R. et al. A human motor behavior model for distal pointing tasks. **International Journal of Human-Computer Studies**, v. 68, n. 10, p. 603–615, 2010. ISSN 1071-5819. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2010.05.001>>.

KPREPUBLIC. **About KPrepublic**. 2021. Acessado em: 18 jun. de 2021. Disponível em: <<https://kprepublic.com/>>.

LATOSCHIK, M. E. et al. The effect of avatar realism in immersive social virtual realities. In: **Proceedings of the 23rd ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2017. (VRST '17). ISBN 9781450355483. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3139131.3139156>>.

LU, X. et al. Depthtext: Leveraging head movements towards the depth dimension for hands-free text entry in mobile virtual reality systems. In: **2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)**. IEEE, 2019. p. 1060–1061. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/VR.2019.8797901>>.

LUGRIN, J.-L. et al. Any “body” there? avatar visibility effects in a virtual reality game. In: **2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)**. IEEE, 2018. p. 17–24. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/VR.2018.8446229>>.

MACDORMAN, K. F. et al. Too real for comfort? uncanny responses to computer generated faces. **Computers in Human Behavior**, v. 25, n. 3, p. 695–710, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.chb.2008.12.026>>.

MACHADO, L.; CARDOSO, A. Dispositivos de entrada e saída para sistemas de realidade virtual. In: TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOUTO, R. (Ed.). **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**. 1. ed. Porto Alegre: Editora SBC, 2006. cap. 3, p. 39–50. ISBN 85-7669-068-3. Disponível em: <https://pcs.usp.br/interlab/wp-content/uploads/sites/21/2018/01/Fundamentos_e_Tecnologia_de_Realidade_Virtual_e_Aumentada-v22-11-06.pdf>.

MACKENZIE, I. S.; SOUKOREFF, R. W. Phrase sets for evaluating text entry techniques. In: _____. **CHI '03 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2003. p. 754–755. ISBN 1581136374. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/765891.765971>>.

MAGNENAT-THALMANN, N.; THALMANN, D. **Artificial Life and Virtual Reality**. Chichester, West Sussex, England; New York: Wiley, 1994. ISBN 978-04-7195-146-9.

MAKLED, E. et al. I like to move it: Investigating the effect of head and body movement of avatars in vr on user's perception. In: **Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2018. (CHI EA '18), p. 1–6. ISBN 9781450356213. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3170427.3188573>>.

- MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research on information technology. **Decision Support Systems**, Elsevier Science Publishers B. V., v. 15, n. 4, p. 251–266, 1995. ISSN 0167-9236. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/0167-9236\(94\)00041-2](https://doi.org/10.1016/0167-9236(94)00041-2)>.
- MARTIN, V. B. S. et al. Virtual reality simulations for hospital fire evacuation: A systematic literature review. In: **2020 22nd Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)**. IEEE, 2020. p. 313–320. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/SVR51698.2020.00054>>.
- MCGILL, M. et al. A dose of reality: Overcoming usability challenges in vr head-mounted displays. In: _____. **Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2015. p. 2143–2152. ISBN 9781450331456. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2702123.2702382>>.
- MECHDYNE. **CAVE Virtual Reality**. 2020. Acessado em: 10 mai. de 2021. Disponível em: <<https://www.mechdyne.com/av-vr-solutions/solutions/virtual-augmented-reality/cave/>>.
- MORAES, I. A. et al. Virtual reality in postural therapy: a systematic review. In: **2020 22nd Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)**. IEEE, 2020. p. 363–370. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/SVR51698.2020.00061>>.
- MORI, M.; MACDORMAN, K. F.; KAGEKI, N. The uncanny valley [from the field]. **IEEE Robotics Automation Magazine**, v. 19, n. 2, p. 98–100, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/MRA.2012.2192811>>.
- MOUSAS, C.; ANASTASIOU, D.; SPANTIDI, O. The effects of appearance and motion of virtual characters on emotional reactivity. **Computers in Human Behavior**, v. 86, p. 99–108, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.04.036>>.
- MUNZLINGER, E.; NARCIZO, F. B.; QUEIROZ, J. E. R. de. Sistematização de revisões bibliográficas em pesquisas da área de ihc. In: **Companion Proceedings of the 11th Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems**. Porto Alegre, Brasil: Brazilian Computer Society, 2012. (IHC '12), p. 51–54. ISBN 978-85-7669-262-1. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/10.5555/2400076.2400099>>.
- OGAWA, N.; NARUMI, T.; HIROSE, M. Virtual hand realism affects object size perception in body-based scaling. In: **2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)**. IEEE, 2019. p. 519–528. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/VR.2019.8798040>>.
- OLIVEIRA, W. et al. Virtual and real body representation in mixed reality: An analysis of self-presence and immersive environments. In: VAN DER SPEK, E. et al. (Ed.). **Entertainment Computing and Serious Games**. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 42–54. ISBN 978-3-030-34644-7. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-34644-7_4>.
- PALMEIRA, E. et al. The use of immersive virtual reality for vocabulary acquisition: a systematic literature review. In: **Anais do XXXI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação**. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2020. p. 532–541. Disponível em: <<https://doi.org/10.5753/cbie.sbie.2020.532>>.

_____. O uncanny valley das mãos virtuais em aplicações de realidade virtual imersiva: uma revisão sistemática da literatura. **RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação**, v. 2020, n. E31, p. 497–512, 2020. Disponível em: <<https://www.proquest.com/docview/2496338859>>.

PEFFERS, K. et al. A design science research methodology for information systems research. **Journal of Management Information Systems**, Routledge, v. 24, n. 3, p. 45–77, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222240302>>.

PEPERKORN, H. M. et al. Representation of patients' hand modulates fear reactions of patients with spider phobia in virtual reality. **Frontiers in Psychology**, v. 7, n. 268, p. 1–11, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00268>>.

POWELL, W. et al. Getting around in google cardboard – exploring navigation preferences with low-cost mobile vr. In: **2016 IEEE 2nd Workshop on Everyday Virtual Reality (WEVR)**. IEEE, 2016. p. 5–8. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/WEVR.2016.7859536>>.

REBENITSCH, L.; OWEN, C. Review on cybersickness in applications and visual displays. **Virtual Reality**, v. 20, n. 2, p. 101–125, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10055-016-0285-9>>.

ROAD TO VR. **12 New Quest 2 Games We Can't Wait to Play**. 2021. Acessado em: 18 mai. de 2021. Disponível em: <<https://www.roadtovr.com/new-quest-games-2021/>>.

ROGERS, Y.; SHARP, H.; PREECE, J. **Design de interação: além da interação humano-computador**. 3. ed. Porto Alegre, Brasil: Bookman, 2013. ISBN 978-85-8260-006-1.

SAMSUNG. **Gear VR with Controller**. 2016. Acessado em: 27 abr. de 2021. Disponível em: <<https://www.samsung.com/global/galaxy/gear-vr/>>.

SCHWIND, V. et al. “where’s pinky?”: The effects of a reduced number of fingers in virtual reality. In: **Proceedings of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2017. (CHI PLAY '17), p. 507–515. ISBN 9781450348980. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3116595.3116596>>.

_____. “these are not my hands!”: Effect of gender on the perception of avatar hands in virtual reality. In: **Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2017. (CHI '17), p. 1577–1582. ISBN 9781450346559. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3025453.3025602>>.

_____. Is there an uncanny valley of virtual animals? a quantitative and qualitative investigation. **International Journal of Human-Computer Studies**, v. 111, p. 49–61, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2017.11.003>>.

_____. Touch with foreign hands: The effect of virtual hand appearance on visual-haptic integration. In: **Proceedings of the 15th ACM Symposium on Applied Perception**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2018. (SAP '18). ISBN 9781450358941. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3225153.3225158>>.

SCHWIND, V.; WOLF, K.; HENZE, N. Avoiding the uncanny valley in virtual character design. **Interactions**, v. 25, n. 5, p. 45–49, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3236673>>.

SEYAMA, J.; NAGAYAMA, R. S. The uncanny valley: Effect of realism on the impression of artificial human faces. **Presence: Teleoperators and Virtual Environments**, v. 16, n. 4, p. 337–351, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1162/pres.16.4.337>>.

SHARMA, P. Challenges with virtual reality on mobile devices. In: **ACM SIGGRAPH 2015 Talks**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2015. (SIGGRAPH '15). ISBN 9781450336369. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2775280.2792597>>.

SHERMAN, W. R.; CRAIG, A. B. **Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design**. 1. ed. San Francisco, CA, USA: Elsevier Science, 2003. ISBN 1-55860-353-0.

SIMON, H. A. **The sciences of the artificial**. 3. ed. Cambridge: MIT Press, 1996. ISBN 978-0262691918.

SINGH, A. K. et al. Visual appearance modulates prediction error in virtual reality. **IEEE Access**, v. 6, p. 24617–24624, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2832089>>.

SISCOUTTO, R. A.; SOARES, L. P. Estereoscopia. In: TORI, R.; HOUNSELL, M. (Ed.). **Introdução a realidade virtual e aumentada**. 3. ed. Porto Alegre, Brasil: Editora SBC, 2020. cap. 4, p. 75–90. ISBN 978-85-7669-446-5. Disponível em: <<https://pcs.usp.br/interlab/en/2018/10/31/livro-introducao-a-realidade-virtual-e-aumentada/>>.

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. Disponível em: <<https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.6.603>>.

SMUS, B.; RIEDERER, C. Magnetic input for mobile virtual reality. In: **Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2015. (ISWC '15), p. 43–44. ISBN 9781450335782. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2802083.2808395>>.

SOUKOREFF, R. W.; MACKENZIE, I. S. Theoretical upper and lower bounds on typing speed using a stylus and a soft keyboard. **Behaviour & Information Technology**, Taylor & Francis, v. 14, n. 6, p. 370–379, 1995. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/01449299508914656>>.

_____. Metrics for text entry research: An evaluation of msd and kspc, and a new unified error metric. In: **Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2003. (CHI '03), p. 113–120. ISBN 1581136307. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/642611.642632>>.

- SPEICHER, M. et al. Selection-based text entry in virtual reality. In: _____. **Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2018. p. 1–13. ISBN 9781450356206. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3173574.3174221>>.
- STEED, A.; JULIER, S. Design and implementation of an immersive virtual reality system based on a smartphone platform. In: **2013 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)**. IEEE, 2013. p. 43–46. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/3DUI.2013.6550195>>.
- STEIN, J.-P.; LIEBOLD, B.; OHLER, P. Stay back, clever thing! linking situational control and human uniqueness concerns to the aversion against autonomous technology. **Computers in Human Behavior**, v. 95, p. 73–82, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.01.021>>.
- STEIN, J.-P.; OHLER, P. Venturing into the uncanny valley of mind—the influence of mind attribution on the acceptance of human-like characters in a virtual reality setting. **Cognition**, v. 160, p. 43–50, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2016.12.010>>.
- TORI, R.; HOUNSELL, M. da S.; KIRNER, C. Realidade virtual. In: TORI, R.; HOUNSELL, M. (Ed.). **Introdução a realidade virtual e aumentada**. 3. ed. Porto Alegre, Brasil: Editora SBC, 2020. cap. 1, p. 11–29. ISBN 978-85-7669-446-5. Disponível em: <<https://pcs.usp.br/interlab/en/2018/10/31/livro-introducao-a-realidade-virtual-e-aumentada/>>.
- TORI, R.; KIRNER, C. Fundamentos de realidade virtual. In: TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOUTO, R. (Ed.). **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**. 1. ed. Porto Alegre, Brasil: Editora SBC, 2006. cap. 1, p. 2–21. ISBN 85-7669-068-3. Disponível em: <https://pcs.usp.br/interlab/wp-content/uploads/sites/21/2018/01/Fundamentos_e_Tecnologia_de_Realidade_Virtual_e_Aumentada-v22-11-06.pdf>.
- TU, H. et al. Crossing-based selection with virtual reality head-mounted displays. In: **Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2019. (CHI '19), p. 1–14. ISBN 9781450359702. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3290605.3300848>>.
- VAN AKEN, J. E. **The research design for design science research in management**. Eindhoven: [s.n.], 2011.
- WALKER, J. et al. Efficient typing on a visually occluded physical keyboard. In: _____. **Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2017. p. 5457–5461. ISBN 9781450346559. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3025453.3025783>>.
- WE ARE SOCIAL. **Digital in 2017: Global overview - we are social**. 2017. Acessado em: 14 abr. de 2021. Disponível em: <<https://wearesocial.com/special-reports/digital-in-2017-global-overview>>.

WHITMIRE, E. et al. Haptic revolver: Touch, shear, texture, and shape rendering on a reconfigurable virtual reality controller. In: **Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2018. (CHI '18), p. 1–12. ISBN 9781450356206. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3173574.3173660>>.

WITMER, B. G.; SINGER, M. J. Measuring presence in virtual environments: a presence questionnaire. **Presence: Teleoperators and Virtual Environments**, v. 7, n. 3, p. 225–240, 1998. Disponível em: <<https://doi.org/10.1162/105474698565686>>.

WOBBROCK, J. Measures of text entry performance. In: MACKENZIE, S.; TANAKA-ISHII, K. (Ed.). **Text Entry Systems: Mobility, Accessibility, Universality**. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann, 2007. p. 47–74. ISBN 978-0-12-373591-1. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-012373591-1/50003-6>>.

WOHLIN, C. Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. In: **Proceedings of the 18th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2014. (EASE '14). ISBN 9781450324762. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2601248.2601268>>.

XU, W. et al. Ringtext: Dwell-free and hands-free text entry for mobile head-mounted displays using head motions. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 25, n. 5, p. 1991–2001, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/TVCG.2019.2898736>>.

YAMADA, H. A historical study of typewriters and typing methods: from the position of planning japanese parallels. **Journal of Information Processing**, Information Processing Society of Japan (IPSJ), v. 2, n. 4, p. 175–202, feb 1980. ISSN 1882-6652. Disponível em: <<https://ci.nii.ac.jp/naid/110002673261/en/>>.

YU, D. et al. Pizzatext: Text entry for virtual reality systems using dual thumbsticks. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 24, n. 11, p. 2927–2935, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2868581>>.

ZIBREK, K.; KOKKINARA, E.; MCDONNELL, R. Don't stand so close to me: Investigating the effect of control on the appeal of virtual humans using immersion and a proximity-based behavioral task. In: **Proceedings of the ACM Symposium on Applied Perception**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2017. (SAP '17). ISBN 9781450351485. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3119881.3119887>>.

_____. The effect of realistic appearance of virtual characters in immersive environments - does the character's personality play a role? **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 24, n. 4, p. 1681–1690, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2794638>>.

ZORZAL, E. R. Dispositivos móveis. In: TORI, R.; HOUNSELL, M. (Ed.). **Introdução a realidade virtual e aumentada**. 3. ed. Porto Alegre, Brasil: Editora SBC, 2020. cap. 7, p. 112–119. ISBN 978-85-7669-446-5. Disponível em: <<https://pcs.usp.br/interlab/en/2018/10/31/livro-introducao-a-realidade-virtual-e-aumentada/>>.