



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS (UFG)

INSITUTO DE INFORMÁTICA (INF)

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
EM REDE (UFG/UFMS)

THAMER HORBYLON NASCIMENTO

**Um método de interação com reconhecimento contínuo de
gestos de toque para uso em *smartwatch***

Goiânia
2021



UFG

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE INFORMÁTICA

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESSES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese

2. Nome completo do autor

Thamer Horbylon Nascimento

3. Título do trabalho

Um método de interação com reconhecimento contínuo de gestos de toque para uso em *smartwatch*

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

- a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);
 - b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.
- O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Fabrizio Alphonsus Alves De Melo Nunes Soares, Professor do Magistério Superior**, em 10/01/2022, às 09:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **THAMER HORBYLON NASCIMENTO, Discente**, em 10/01/2022, às 12:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2616698** e o código CRC **BF374948**.

THAMER HORBYLON NASCIMENTO

Um método de interação com reconhecimento contínuo de gestos de toque para uso em *smartwatch*

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação em rede (UFG/UFMS), do Instituto de Informática (INF), da Universidade Federal de Goiás (UFG), como requisito para obtenção do título de Doutor em Ciência da Computação.

Área de concentração: Ciência da Computação.

Linha de Pesquisa: Sistemas Inteligentes e Aplicações.

Orientador: Professor Doutor Fabrízio Alphonsus Alves de Melo Nunes Soares.

Goiânia
2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Nascimento, Thamer Horbylon

Um método de interação com reconhecimento contínuo de gestos
de toque para uso em smartwatch [manuscrito] / Thamer Horbylon
Nascimento. - 2021.

106, CVI f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Fabrizzio Alphonsus Alves de Melo Nunes
Soares.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, , Programa
de Pós-Graduação em Ciência da Computação em rede (UFG/UFMS),
Goiânia, 2021.

Bibliografia.

Inclui lista de figuras, lista de tabelas.

1. Smartwatches. 2. Relógios Inteligentes. 3. Métodos de Interação.
4. Reconhecimento Contínuo de Gestos. 5. Interação com Dispositivos.
I. Alphonsus Alves de Melo Nunes Soares, Fabrizzio, orient. II. Título.

CDU 004



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

INSTITUTO DE INFORMÁTICA

ATA DE DEFESA DE TESE

Ata Nº **05/2021** da sessão de Defesa de Tese de **Thamer Horbylon Nascimento** que confere o título de Doutor em Ciência da Computação, na área de concentração em Ciência da Computação.

Aos seis dias do mês de dezembro de dois mil e vinte e um, a partir das catorze horas, na sala 150 do Instituto de Informática, realizou-se a sessão pública de Defesa de Tese intitulada “**Desenvolvimento e Avaliação de Métodos de Interação com Dispositivos e Ambientes Inteligentes Utilizando Smartwatches: Uma Abordagem com Reconhecimento Contínuo de Gestos**”. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor Fabrizzio Alphonsus Alves de Melo Nunes Soares (INF/UFG) com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor Alexandre Cardoso (FEELT/UFU), membro titular externo; Professora Doutora Fátima de Lourdes dos Santos Nunes Marques (EACH/USP), membra titular externa; Professora Doutora Deborah Silva Alves Fernandes (INF/UFG), membra titular externa; e Professor Doutor Renato de Freitas Bulcão Neto (INF/UFG), membro titular externo. Com exceção do presidente da sessão e do pós-graduando, todos os membros da banca participaram por videoconferência. Durante a arguição os membros da banca fizeram sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Tese tendo sido o candidato **aprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor Fabrizzio Alphonsus Alves de Melo Nunes Soares, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos seis dias do mês de dezembro de dois mil e vinte e um.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA

Um método de interação com reconhecimento contínuo de gestos de toque para uso em smartwatch

Documento assinado eletronicamente por **Fabrizzio Alphonsus Alves De Melo Nunes Soares, Professor do Magistério Superior**, em 06/12/2021, às 17:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Renato De Freitas Bulcão Neto, Professor do Magistério Superior**, em 06/12/2021, às 17:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alexandre Cardoso, Usuário Externo**, em 06/12/2021, às 17:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Deborah Silva Alves Fernandes, Professor do Magistério Superior**, em 06/12/2021, às 17:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fátima de Lourdes dos Santos Nunes Marques, Usuário Externo**, em 06/12/2021, às 17:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **THAMER HORBYLON NASCIMENTO, Discente**, em 06/12/2021, às 18:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2509618** e o código CRC **5955C6F2**.

Referência: Processo nº 23070.060016/2021-86

SEI nº 2509618

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Thamer Horbylon Nascimento

Mestre em Ciência da Computação, especialista em Redes de Computadores, graduado em Ciência da Computação e em Sistemas de Informação. Atualmente é professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Iporá.

A Camila, minha companheira e amada esposa.
Aos meus pais, Ataídes e Mara Sônia.

Agradecimentos

Agradeço a Deus por todas as oportunidades, pela sabedoria, pela saúde e por permitir cursar o doutorado.

Agradeço à minha esposa Camila, por toda paciência, compreensão, apoio e por me incentivar em todos os momentos durante esta jornada. Durante todo este tempo você foi muito compreensiva e esteve ao meu lado em todas as ocasiões sempre que precisei realizar alguma das diversas atividades do doutorado.

Agradeço aos meus pais Ataídes e Mara Sônia por tudo que fizeram e fazem por mim. Vocês nunca mediram esforços para me apoiar em meus estudos e me proporcionaram dedicação integral aos estudos. Vocês sempre acreditaram em mim e me ensinaram a acreditar em mim. Me tornei a pessoa que sou hoje, graças a vocês.

Agradeço ao meu orientador professor Fabrizzio, que acreditou em mim e aceitou ser meu orientador durante o mestrado e o doutorado, sempre foi paciente e buscou me ensinar de diversas formas. Você não é apenas um professor e orientador, é um amigo, levarei sempre comigo seus ensinamentos, que foram muitos.

Agradeço ao Instituto Federal Goiano – Campus Iporá, por me proporcionar dedicação integral ao doutorado.

"Um raciocínio lógico leva você de A a B. A imaginação
leva você a qualquer lugar que você quiser."

Albert Einstein

Resumo

NASCIMENTO, Thamer Horbylon. **Um método de interação com reconhecimento contínuo de gestos de toque para uso em *smartwatch***. Goiânia, 2021. 106p. Tese de Doutorado. Instituto de Informática (INF), Universidade Federal de Goiás (UFG).

Os *smartwatches* são dispositivos vestíveis e inteligentes em formatos de relógios que possuem como objetivo facilitar o cotidiano dos usuários, contudo, como possuem telas pequenas, os mecanismos tradicionais de interação com telas sensíveis ao toque podem não ser eficientes nestes dispositivos, desta forma, é importante desenvolver novos métodos de interação que utilizem as telas sensíveis ao toque dos *smartwatches*. Sendo assim, foi desenvolvido neste trabalho um método que utiliza gestos simples, baseados em formas geométricas com reconhecimento contínuo de gestos em telas sensíveis ao toque de *smartwatches* como mecanismo de interação. Apresenta-se os resultados obtidos com testes de usabilidade e/ou experiência do método desenvolvido em estudos de caso realizados em quatro segmentos: entrada de texto em *smartwatches* e em ambientes virtuais, interação com jogos de plataforma, reprodutores de vídeos e filmes interativos e eletrodomésticos. Durante o desenvolvimento deste trabalho foram realizadas adaptações no algoritmo de reconhecimento contínuo de gestos: a etapa de reconhecimento foi paralelizada, o que permite utilizar *threads* para calcular as probabilidades dos gestos; foi desenvolvida uma técnica que permite que a detectar a mudança de gestos, permitindo ao usuário iniciar um novo gesto sem precisar retirar o dedo da tela. Os resultados mostram que o algoritmo de reconhecimento contínuo de gestos pode ser utilizado em *smartwatches* e que com um pequeno conjunto de gestos é possível realizar diversas ações. Portanto, o método desenvolvido amplia as possibilidades de interação com dispositivos e ambientes utilizando as telas sensíveis ao toque dos *smartwatches* e reconhecimento contínuo de gestos.

Palavras-chave

Smartwatches, Relógios Inteligentes, Métodos de Interação, Reconhecimento Contínuo de Gestos, Interação com Dispositivos.

Abstract

NASCIMENTO, Thamer Horbylon. **An Interaction Method with Continuous Recognition of Touch Gestures for Use in Smartwatch**. Goiânia, 2021. 106p. PhD. Thesis. Instituto de Informática (INF), Universidade Federal de Goiás (UFG).

Smartwatches are wearable and smart watch-shaped devices that aim to facilitate the daily lives of users, however, as they have small screens, the traditional mechanisms of interaction with touch-sensitive screens may not be efficient on these devices. Thus, it is important to develop new interaction methods that use the touchscreens of smartwatches. Therefore, in this work a method was developed that uses simple gestures, based on geometric shapes with continuous recognition of gestures on smartwatches touchscreens as an interaction mechanism. The results obtained with usability and/or experience tests of the method developed in case studies carried out in four segments are presented: text input in smartwatches and in virtual environments, interaction with platform games, video players and interactive movies and home appliances. During the development of this work, adaptations were made to the continuous gesture recognition algorithm: the recognition step was parallelized, which allows using threads to calculate the gesture probabilities; A technique was developed that allows detecting the change in gestures, allowing the user to initiate a new gesture without having to remove their finger from the screen. The results show that the continuous gesture recognition algorithm can be used in smartwatches and that with a small set of gestures it is possible to perform different actions. Thus, the developed method expands the possibilities of interaction with devices and environments using the smartwatches touch-sensitive screens and continuous recognition of gestures.

Keywords

Smartwatches, Interaction Methods, Continuous Gesture Recognition, Device Interaction.

Sumário

Lista de Figuras	14
Lista de Tabelas	16
1 Introdução	17
1.1 Relógios Inteligentes (<i>Smartwatches</i>)	17
1.2 Problema	18
1.3 Hipóteses	19
1.4 Objetivos	19
1.5 Solução proposta	20
2 Interação Utilizando <i>Smartwatches</i>	21
2.1 Introdução	21
2.2 Trabalhos relacionados	21
2.2.1 Entrada de texto em <i>smartwatches</i>	22
2.2.2 Entrada de texto ambientes virtuais	23
2.2.3 Interação com jogos de plataforma	23
2.2.4 Interação com reprodutores de vídeo e filmes interativos	24
2.2.5 Interação com eletrodomésticos	25
2.3 Revisão sistemática da literatura	26
2.3.1 Protocolo de planejamento	27
2.3.2 Execução	28
2.3.3 Resultados	29
2.3.4 Discussão	38
2.4 Considerações finais deste capítulo	38
3 Método de Interação Utilizando <i>Smartwatches</i> e Reconhecimento Contínuo de Gestos	39
3.1 Introdução	39
3.2 Reconhecimento contínuo de gestos	39
3.2.1 Reconhecimento de gestos	40
3.2.2 Probabilidade	41
3.2.3 Função de distância	41
3.3 Conjunto de gestos	42
3.4 Detalhamento do método	43
3.5 Considerações finais deste capítulo	44

4	Estudo de Caso: Entrada de Texto em <i>Smartwatches</i>	46
4.1	Introdução	46
4.2	Base de gestos	46
4.3	Classificador <i>Naïve Bayes</i>	47
4.3.1	Reconhecimento das letras	48
4.3.2	Probabilidade da letra	49
4.4	Protótipo desenvolvido	49
4.5	Estudo com usuários	50
4.5.1	Teste de usabilidade e experiência	51
4.6	Resultados	51
4.7	Entrada de texto em ambientes virtuais	53
4.7.1	Google Cardboard	54
4.7.2	Protótipo desenvolvido	55
4.8	Considerações finais deste capítulo	56
5	Estudo de Caso: Interação com Jogos de Plataforma	57
5.1	Introdução	57
5.2	Protótipo	58
5.2.1	Aplicativo para smartwatch	58
5.2.2	Plataforma de emulação	59
5.3	Deteção de mudança de gestos	60
5.4	Comandos especiais	61
5.5	Paralelização do reconhecimento de gestos	62
5.6	Estudo com usuários	63
5.6.1	Teste de usabilidade e experiência	63
5.7	Resultados	64
5.8	Considerações finais deste capítulo	67
6	Estudo de Caso: Interação com Reprodutores de Vídeo e Filmes Interativos	68
6.1	Introdução	68
6.2	Interação com reprodutores de vídeo	68
6.2.1	Protótipo	69
6.2.2	Estudo com usuários	71
6.2.3	Resultados	72
6.3	Interação com filmes interativos	73
6.3.1	Aplicativo para <i>smartwatch</i>	74
6.3.2	Comunicação entre o aplicativo e o filme	75
6.3.3	Estudo com usuários	76
6.3.4	Resultados	77
6.4	Considerações finais deste capítulo	79
7	Estudo de Caso: Interação com Eletrodomésticos	80
7.1	Introdução	80
7.2	Protótipo	81
7.2.1	Comunicação entre o <i>smartwatch</i> e os dispositivos	83
7.3	Avaliação de especialistas	84
7.3.1	Escala de Usabilidade do Sistema (<i>System Usability Scale (SUS)</i>)	85
7.4	Resultados e discussão	86

7.5	Considerações finais deste capítulo	88
8	Conclusões e Contribuições deste Trabalho	89
8.1	Trabalhos futuros	90
8.2	Trabalhos gerados com esta tese	90
	Referências Bibliográficas	92

Lista de Figuras

2.1	Total de artigos encontrados e aceitos nas bases de acordo com os critérios estabelecidos. Adaptado de (Horbylon Nascimento <u>et al.</u> , 2020).	29
3.1	Modelo à esquerda e segmentos à direita gerados pelo algoritmo de reconhecimento incremental. Adaptado de (Kristensson & Denby, 2011).	40
3.2	Exemplo de dois segmentos (direita) coincidindo com um curso do usuário (esquerda), o ponto amarelo indica a posição inicial e o tracejado azul as partes que coincidem (Adaptado de (Kristensson & Denby, 2011)). . .	41
3.3	Conjunto de gestos criado para ser utilizado com o algoritmo de reconhecimento contínuo de gestos.	42
3.4	Ilustração de um usuário realizando alguns gestos do conjunto em um <i>smartwatch</i>	44
3.5	Passos para reconhecimento de um gesto e realização de ações.	45
4.1	Conjunto de gestos criado para inserção das letras. Adaptado de (Nascimento <u>et al.</u> , 2017).	47
4.2	Passos para reconhecimento das letras utilizando os gestos realizados. Adaptado de (Nascimento <u>et al.</u> , 2017).	48
4.3	Passos para inserção da palavra "TEXTO" no protótipo utilizando reconhecimento contínuo de gestos e o classificador <i>Naïve Bayes</i>	50
4.4	Respostas dos participantes do experimento para o questionário aplicado. Adaptado de (Nascimento <u>et al.</u> , 2017).	54
4.5	Passos para inserção da palavra "VIRTUAL" no <i>smartwatch</i> utilizando o protótipo desenvolvido.	55
4.6	Interface do protótipo executando no <i>Google Cardboard</i>	56
5.1	Conjunto de gestos e suas respectivas ações no jogo Super Mario World. Adaptado de (Nascimento <u>et al.</u> , 2018).	58
5.2	Interface do aplicativo em smartwatches com telas quadrada e redonda, ambos executando a sequência de ações: direita, pular para direita, direita, abaixar, direita, pular para esquerda e direita (Nascimento <u>et al.</u> , 2018). . .	59
5.3	Passos para enviar ação ao jogo à partir do gesto realizado pelo jogador. Adaptado de (Nascimento <u>et al.</u> , 2018).	59
5.4	Comunicação entre o aplicativo para <i>smartwatch</i> e o <i>Raspberry PI 3</i>	60
5.5	Ponto de detecção da mudança de gesto realizado pelo jogador (Nascimento <u>et al.</u> , 2018).	61
5.6	Representação gráfica da pressão exercida pelo jogador na tela do <i>smartwatch</i> (Nascimento <u>et al.</u> , 2018).	62

5.7	Respostas dos participantes do experimento para o questionário de usabilidade e experiência aplicado. Adaptado de (Nascimento <i>et al.</i> , 2018).	65
5.8	Respostas dos participantes do experimento para o questionário aplicado sobre a usabilidade e experiência com a execução das ações correr para direita e correr para esquerda . Adaptado de (Nascimento <i>et al.</i> , 2018).	66
6.1	Conjunto de gestos e suas respectivas ações no reprodutor da Netflix. Adaptado de (Nascimento <i>et al.</i> , 2019).	69
6.2	Interface do aplicativo em um <i>smartwatch</i> executando as ações: pausar, iniciar, aumentar volume, diminuir volume, avançar vídeo e retroceder vídeo (Nascimento <i>et al.</i> , 2019).	70
6.3	Modelo de comunicação utilizando uma rede sem fio entre o aplicativo para <i>smartwatch</i> e a plataforma de comunicação. Adaptado de (Horbylon Nascimento <i>et al.</i> , 2019).	70
6.4	Respostas dos participantes do experimento para o questionário de usabilidade e experiência aplicado. Adaptado de (Nascimento <i>et al.</i> , 2019).	72
6.5	Visualização da tela de escolha. (Exemplo adaptado do filme <i>Bandersnatch</i>).	74
6.6	Conjunto de gestos e suas respectivas ações no filme interativo <i>Bandersnatch</i> . Adaptado de (Horbylon Nascimento <i>et al.</i> , 2019).	74
6.7	Ilustração de um usuário realizando as ações de selecionar a opção da esquerda, selecionar a opção da direita e escolher a opção selecionada no aplicativo (Horbylon Nascimento <i>et al.</i> , 2019).	75
6.8	Respostas dos participantes do experimento para o questionário de usabilidade e experiência aplicado para o protótipo. Adaptado de (Horbylon Nascimento <i>et al.</i> , 2019).	77
6.9	Porcentual da preferência dos usuários para interagir com filmes interativos utilizando o <i>smartwatch</i> ou o controle remoto. Adaptado de (Nascimento & Soares, 2020).	78
7.1	Exemplo de ambiente com televisão, ar condicionado, lâmpada, reprodutor de vídeo e música e o controlador “Broadlink RM Mini 3”. Adaptado de (Horbylon Nascimento & Soares, 2021).	81
7.2	Gestos utilizados para selecionar um dispositivo. Adaptado de (Horbylon Nascimento & Soares, 2021).	81
7.3	Conjunto de gestos e suas respectivas ações nos eletrodomésticos. Adaptado de (Horbylon Nascimento & Soares, 2021).	82
7.4	Ilustração de um usuário utilizando o protótipo para realizar as seguintes ações: selecionar o dispositivo, ligar o ar condicionado e aumentar a temperatura (Horbylon Nascimento & Soares, 2021).	82
7.5	Etapas para emitir um sinal infravermelho após a realização de um gesto. Adaptado de (Horbylon Nascimento & Soares, 2021).	83
7.6	Pontuação média normalizada para cada afirmação do questionário. Adaptado de (Horbylon Nascimento & Soares, 2021).	87

Lista de Tabelas

4.1	Percentual da quantidade de interações utilizadas para inserir as letras mais frequentes e menos frequentes. Adaptado de (Nascimento <i>et al.</i> , 2017).	52
4.2	Taxa de acerto dos participantes para as letras mais frequentes e menos frequentes. Adaptado de (Nascimento <i>et al.</i> , 2017).	52
4.3	Média de Interações utilizadas pelos participantes para inserir as letras. Adaptado de (Nascimento <i>et al.</i> , 2017).	53
7.1	Dispositivos controlados pelos especialistas com a seguinte sequência de comandos. Adaptado de (Horbylon Nascimento & Soares, 2021).	84
7.2	Questionário de usabilidade. Adaptado de (Brooke, 1996; Horbylon Nascimento & Soares, 2021)	85
7.3	Estatísticas descritivas das pontuações do SUS para classificações por adjetivos. Adaptado de (Bangor <i>et al.</i> , 2009).	86

Introdução

Este capítulo apresenta os principais elementos para o entendimento da pesquisa realizada neste trabalho. Apresenta-se os *smartwatches* e seu funcionamento básico, em sequência, discute-se a importância de criar novos métodos de interação que utilizam *smartwatches*. Logo após, é feito o levantamento de hipóteses e a definição dos objetivos e por fim, é descrita a solução proposta.

1.1 Relógios Inteligentes (*Smartwatches*)

Os dispositivos vestíveis estão se popularizando cada vez mais, com isto, estão ganhando espaço no mercado e na pesquisa. Um dispositivo pode ser considerado vestível se estiver conectado ao corpo do usuário, ou seja, o usuário está vestindo o dispositivo. Estes dispositivos trazem um novo paradigma de Interação Humano Computador (IHC) (Greenwald et al., 2015; Genaro Motti & Caine, 2014; Rapp & Cena, 2015).

O *smartwatch* é um dispositivo vestível inteligente no formato de um relógio, o qual, pode trabalhar em conjunto com um smartphone, desta forma, pode facilitar o cotidiano das pessoas, pois tudo fica disponível em uma pequena tela presa ao pulso do usuário e pode fornecer um acesso rápido (Xu & Lyons, 2015). Nos últimos anos, os *smartwatches* estão cada vez mais presentes no cotidiano das pessoas, eles podem ser utilizados pelos usuários como extensão do *smartphone* ou como um dispositivo autônomo (Visuri et al., 2017).

Smartwatches fornecem uma interface alternativa para acessar notificações e aplicativos (Giang et al., 2015). Utilizando *smartwatches* é possível estar conectado o tempo todo e os aplicativos são capazes de coletar informações do cotidiano dos usuários (Greenwald et al., 2015; Shi et al., 2015).

Podem ser utilizados para diversas finalidades, por exemplo: relógio, cronômetro, alarme e agenda. Também podem ser utilizados para: ler e responder mensagens e e-mails, reproduzir música, navegar em um mapa com GPS, realizar pagamentos, assim como, monitoramento de frequência cardíaca e outras funcionalidades relacionadas ao es-

porte. O *smartwatch* pode realizar e receber chamadas, trabalhando ou não em conjunto a um *smartphone*.

1.2 Problema

Diversos trabalhos realizaram pesquisas de interação com *smartwatches* utilizando reconhecimento de gestos. É possível observar a tendência de uso e difusão dos *smartwatches*, assim como pesquisas de novas formas de interação, como é possível observar nos trabalhos propostos por: Dunlop & Levine (2012); Oney *et al.* (2013); Bernaerts *et al.* (2014); Dunlop *et al.* (2014); Oakley & Lee (2014a); Greenwald *et al.* (2015); Shi *et al.* (2015); Mukasa *et al.* (2016); Gkournelos *et al.* (2018); Zhu *et al.* (2018); Rupprecht *et al.* (2019).

O *smartwatch* é um dispositivo pequeno e ao mesmo tempo que isto facilita seu uso, a interação com eles pode ser prejudicada. Como o *smartwatch*, é utilizado preso ao pulso do usuário, assim como, um relógio tradicional, as interações com eles são feitas apenas com uma mão. A pesquisa desenvolvida por Lin (2013), mostra que o tamanho da mão e da tela de um *smartphone* interfere na interação do usuário. Desta forma, como o *smartwatch* é um dispositivo com tela pequena, pessoas com dedos grandes podem ter dificuldades em realizar interações.

Além disso, Kubo *et al.* (2016), mostra, que as interações por toque em *smartwatches* são mais limitadas se forem compradas às telas dos *smartphones* e *tablets*, pois, a tela é pequena, o que limita a interação com vários dedos, portanto, a interação ocorre normalmente com um único dedo. O trabalho de Dobbstein *et al.* (2017), também mostra que normalmente apenas um dedo é utilizado para interagir com o *smartwatch*.

Há outras maneiras de interagir com um *smartwatch*, como por exemplo, movimentos de pulso e comandos de voz, contudo, esses métodos não podem ser utilizados em alguns ambientes, pois, estes métodos são intrusivos. Também são desenvolvidos trabalhos utilizando sensores infravermelho, de toque, e câmera (Kubo *et al.*, 2016).

O objetivo de se utilizar dispositivo inteligente é facilitar o cotidiano do usuário. Apesar de existirem vários métodos de interação que utilizem telas sensíveis ao toque como mecanismo de interação, os *smartwatches* possuem telas pequenas e esta restrição de espaço pode dificultar a interação. Por isso, é importante desenvolver novos métodos que utilizem as telas sensíveis ao toque dos *smartwatches* como mecanismo de interação.

Portanto, este trabalho propõe utilizar *smartwatches* não modificados com reconhecimento contínuo de gestos na tela do dispositivo para interagir com diferentes dispositivos e conseqüentemente, ambientes.

Destaca-se que o algoritmo de reconhecimento contínuo de gestos proposto por Kristensson & Denby (2011), é um método de reconhecimento que permite que um

gesto seja reconhecido antes de ser finalizado, contudo, este método não foi desenvolvido originalmente para trabalhar com telas pequenas.

1.3 Hipóteses

As contribuições deste trabalho são complementares aos métodos desenvolvidos anteriormente que utilizam reconhecimento de gestos em *smartwatches*. Desta forma, este trabalho utiliza uma abordagem com reconhecimento contínuo de gestos em *smartwatches* para realizar as interações com o usuário.

Portanto, a hipótese norteadora deste trabalho é: “*O reconhecimento contínuo de gestos pode ser utilizado em telas sensíveis ao toque de smartwatches com gestos simples, baseados em formas geométricas para interagir com o próprio smartwatch e também interagir com outros dispositivos*”.

Sendo assim, espera-se contribuir com o estado da arte desenvolvendo e avaliando as seguintes hipóteses:

1. Utilizar gestos baseados em formas geométricas com reconhecimento contínuo de gestos como meio de interação entre o usuário e *smartwatch* pode ser um método intuitivo.
2. A entrada de texto em *smartwatches* pode ser realizada com gestos simples, baseados em formas geométricas.
3. É possível utilizar reconhecimento contínuo de gestos em um *smartwatch* comercial, ou seja, não modificado, com o objetivo de interagir com outros dispositivos.
4. Interagir com dispositivos utilizando o *smartwatch* pode facilitar o cotidiano dos usuários.

1.4 Objetivos

De acordo com as hipóteses levantadas, o objetivo deste trabalho é desenvolver e avaliar um método de interação que utilize *smartwatches* com reconhecimento contínuo de gestos para interagir com dispositivos e ambientes. Para isso, será necessário:

- Definir os dispositivos que irão interagir com o *smartwatch*, assim como, a forma de comunicação entre o *smartwatch* e estes dispositivos.
- Definir conjuntos de gestos para realizar a interação com o *smartwatch*.
- Avaliar o método de interação desenvolvido com testes de usabilidade e experiência.

1.5 Solução proposta

O algoritmo de reconhecimento contínuo de gestos permite que um gesto seja reconhecido antes que ele seja finalizado, pois, divide um gesto em vários segmentos e realiza o reconhecimento baseando-se em trechos parciais do gesto (Kristensson & Denby, 2011).

Neste trabalho, propõe-se desenvolver um método que utilize reconhecimento contínuo de gestos em telas sensíveis ao toque de *smartwatches* para interagir com dispositivos e ambientes.

O ineditismo deste trabalho é realizar a interação com o usuário utilizando gestos simples, baseados em formas geométricas em telas sensíveis ao toque de *smartwatches* utilizando o algoritmo de reconhecimento contínuo de gestos.

Com o objetivo de validar o método desenvolvido, serão realizados estudos de caso com testes de usabilidade e/ou experiência.

Os próximos capítulos detalham o desenvolvimento da pesquisa, o Capítulo 2 apresenta uma revisão sistemática e técnicas de interação utilizando *smartwatches* com reconhecimento de gestos, também expõe o algoritmo de reconhecimento contínuo de gestos que foi utilizado como mecanismo de reconhecimento de gestos no método desenvolvido; o Capítulo 3 apresenta a descrição do método desenvolvido neste trabalho; o Capítulo 4 os resultados do estudo de caso que utiliza o método desenvolvido para realizar a entrada de texto em *smartwatches* e em ambientes virtuais; o Capítulo 5 mostra os resultados do estudo de caso que utiliza o método para interagir com jogos de plataforma; o Capítulo 6 expõe um estudo de caso utilizando o método para interagir com reprodutores de vídeo e filmes interativos; o Capítulo 7 apresenta um estudo de caso que utiliza o método para controlar eletrodomésticos. Por fim, o Capítulo 8 apresenta as conclusões e contribuições deste trabalho.

Interação Utilizando *Smartwatches*

2.1 Introdução

Os *smartwatches* são dispositivos vestíveis com formatos de relógios de uma tecnologia móvel emergente e estão cada vez mais no cotidiano das pessoas. Eles permitem realizar diversas tarefas do cotidiano, como responder uma mensagem ou e-mail, bem como, utilizá-los para controlar outros dispositivos. Desta forma, é possível que com um único dispositivo ele faça diversas atividades.

Diversos trabalhos realizaram pesquisas de interação com *smartwatches* utilizando reconhecimento de gestos, porém, há um amplo espaço para o desenvolvimento de novas pesquisas. Este trabalho irá mostrar que o reconhecimento contínuo de gestos pode ser utilizado em *smartwatches* para reconhecer gestos desenhados na tela do dispositivo para realizar a entrada de texto no próprio *smartwatch* ou em um ambiente virtual, assim como, ser utilizado para controlar outros dispositivos

As próximas seções apresentam os trabalhos relacionados ao tema da pesquisa, em sequência, será apresentada uma revisão sistemática da literatura e por fim, o algoritmo de reconhecimentos contínuo de gestos que foi utilizado no método desenvolvido.

2.2 Trabalhos relacionados

Esta seção apresenta os trabalhos que estão relacionados à pesquisa desenvolvida neste trabalho. É importante ressaltar que o objetivo deste trabalho é desenvolver e avaliar um método de interação para interagir com dispositivos e ambientes, por isso, os trabalhos foram divididos em quatro segmentos relacionados aos estudos de caso realizados com o método desenvolvido: entrada de texto em *smartwatches* e em ambientes virtuais, interação com jogos de plataforma, interação com reprodutores de vídeos e de filmes interativos e interação com eletrodomésticos. Sendo assim, os trabalhos relacionados serão apresentados de acordo com estes segmentos.

2.2.1 Entrada de texto em *smartwatches*

Os dispositivos que não possuem teclados físicos têm apresentado maior índice de dificuldade de aprendizagem entre os usuários, já que, em vez dos teclados físicos, há aplicativos responsáveis por esta função (Dunlop & Montgomery Masters, 2008; Gelormini & Bishop, 2013). Os *smartwatches* podem ser utilizados para diversas funções, os trabalhos abaixo mostram algumas das aplicações que podem ser desenvolvidas utilizando *smartwatches*.

O trabalho de Bernaerts et al. (2014) criou um aplicativo que permite a interagir com escritório utilizando *smartwatches*. Utilizando este aplicativo é possível por exemplo, bloquear e desbloquear portas, obter informações sobre a sala e chamar outras pessoas virtualmente. O teclado *Fleksy* foi desenvolvido para dispositivos Android e é utilizado em aparelhos de todos os tamanhos. Não analisa apenas as teclas, mas também o padrão de escrita e as teclas próximas para identificar a palavra. No caso do *Zoomboard*, verifica-se um método em pode ser tocado na área da letra desejada e uma ampliação desta é apresentada ao usuário para ser ampliada novamente ou para permitir que o usuário a selecione (Oney et al., 2013).

Já *Analog Keyboard* é um aplicativo desenvolvido pela Microsoft para entrada de texto em *smartwatches*. Nele há uma área na qual é possível desenhar uma letra, o aplicativo possui previsão de palavras (Microsoft, 2015).

No caso do *Minuum*, criado para uso em dispositivos com telas reduzidas, é um aplicativo que coloca todas as letras em uma única fileira e, para escrever, o usuário deve tocá-las, o que realiza a previsão de texto. Além disso, o usuário também pode ampliar uma área de letras para posteriormente ter a possibilidade de selecioná-las, outra função é a inserção de números, também permitida pelo aplicativo (Keyboard, 2008). Já o *WearWrite*, é um aplicativo que permite a escrita de artigos de forma colaborativa, na qual o usuário pode enviar ou aceitar notificações diretamente do seu *smartwatch* (Nebeling et al., 2016). O *ETAO Keyboard* é um aplicativo para *smartwatches* que mostra as letras da língua inglesa mais frequentes na tela principal, desta forma, os usuários podem inseri-las com um toque, já os principais números e símbolos com um toque duplo (Darbar et al., 2016).

Gong et al. (2016) desenvolveram um aplicativo chamado *WristWhirl*. Este aplicativo utiliza o pulso do usuário como controle para a realização de gestos de maneira contínua em *smartwatches*.

Tendo em vista as possibilidades desses aplicativos para a entrada de texto, realiza-se neste trabalho um estudo de caso com o método para permitir a inserção de uma letra com apenas um ou dois toques na tela utilizando gestos, também é proposto um teste de usabilidade com usuários.

2.2.2 Entrada de texto ambientes virtuais

Todos trabalhos apresentados na subseção anterior objetivam facilitar a entrada de texto em dispositivos móveis e em *smartwatches*. Tendo em vista as possibilidades desses aplicativos para a entrada de texto, este trabalho também propõe um estudo de caso que utiliza o método desenvolvido para realizar entrada de texto em ambientes virtuais utilizando o *Google Cardboard* e *smartwatches*. Neste método o *Google Cardboard* é utilizado como ferramenta de Realidade Virtual e o *smartwatch* como mecanismo de entrada de texto.

O *Google Cardboard* é uma plataforma de realidade virtual de baixo custo que utiliza um *smartphone* inserido em um visualizador de papelão ou impresso em uma impressora 3D. Os trabalhos abaixo demonstram algumas das inúmeras aplicações que podem ser desenvolvidas utilizando o *Google Cardboard*:

Há diversas aplicações para o *Google Cardboard* como aplicações móveis e interações com sistema da Web. É utilizado como ferramenta de visualização de DNA (Patterson, 2017).

É utilizado também para fornecer uma experiência imersiva em um ambiente virtual que simula locais históricos (Fabola et al., 2015).

O *Google Cardboard* também é utilizado como ferramenta de apoio ao ensino-aprendizagem (Ray & Deb, 2016).

2.2.3 Interação com jogos de plataforma

Esta subseção apresenta trabalhos relacionados a mecanismo de interação e controle com jogos de plataforma.

Outro estudo de caso realizado com o método permitiu a interação com jogos de plataforma utilizando *smartwatches*. Sendo assim, será realizado o reconhecimento de gestos no *smartwatch* para identificar o gesto que o usuário está realizando e ele também irá se comunicar com outro dispositivo que estará executando uma plataforma de emulação, responsável por executar o jogo e as ações realizadas no *smartwatch*. Os trabalhos abaixo estão relacionados a este estudo caso.

O trabalho de Birke et al. (2012) apresenta um jogo para ser utilizado em locais com aglomerações de pessoas e utiliza os smartphones como mecanismo de controle .

Entretanto, o trabalho desenvolvido por Baldauf et al. (2015) “Investigating On-Screen Gamepad Designs for Smartphone-Controlled Video Games” realiza um estudo que compara quatro controladores de jogos utilizados em dispositivos inteligentes. O estudo foi realizado com os jogos Pac-Man e Super Mario Bros.

Já a pesquisa de Kurihara (2015) utiliza jogos já existentes, mas, com princípios de serious games e propõe um jogo chamado Tetris 3D Modeler que permite que os

jogadores projetem modelos 3D e utiliza o jogo Super Mario Bros para que os jogadores levistem dinheiro para caridade.

Outro trabalho que também utiliza o jogo Super Mario Bros é o desenvolvido por Sørensen *et al.* (2016). Este trabalho apresenta uma técnica de computação evolutiva que permite ao usuário orientar a evolução dos jogadores no jogo .

Tendo como base também os jogos da franquia Mario, o trabalho de Joselli *et al.* (2012) apresenta uma técnica que utiliza dispositivos móveis para controlar jogos já existentes como o Mario utilizando recursos como vibração, som e reconhecimento de voz, por exemplo.

Com o foco em tecnologia de transmissão, o trabalho dos autores Tian *et al.* (2016) utiliza redes *wireless* e dispositivos *wearables* para detectar movimentos do corpo e utilizá-los para controlar jogos enviando-os por tecnologias sem fio.

O trabalho de Ramcharitar & Teather (2017) realiza um estudo que avalia os métodos Thumb-stick, Touchpad and Gyrosensor para controle de jogos .

Como pode ser observado nesta seção, são desenvolvidas diversas pesquisas para desenvolver novos métodos de interação com jogos de plataforma, como os jogos da franquia “Mario”. Pode ser observado também que há pesquisas utilizando dispositivos móveis e vestíveis como mecanismo para controlar jogos.

Considerando que o uso de gestos simples baseados em formas geométricas são intuitivos aos jogadores, este trabalho propõe utilizar o reconhecimento contínuo de gestos em *smartwatches*, bem como redes sem fio para comunicação entre o *smartwatch* e o jogo para interagir com o jogo “Super Mario World”.

2.2.4 Interação com reprodutores de vídeo e filmes interativos

Neste trabalho também é realizado um estudo de caso com o método desenvolvido para interagir com reprodutores de vídeo utilizando reconhecimento contínuo de gestos e *smartwatches*, assim como, um estudo de caso para interagir com filmes interativos utilizando o método desenvolvido.

Observando os trabalhos abaixo, pode-se observar que são desenvolvidas diversas pesquisas que propõem métodos de interação com *smartwatches*, assim como, pesquisas com reconhecimento contínuo de gestos e pesquisas utilizando novos métodos de interação com reprodutores de vídeos.

O trabalho desenvolvido por Zhu *et al.* (2018) apresenta uma rede neural profunda baseada em LSTM bidirecional que pode reconhecer os movimentos gestos de pulso e dedos dos usuários, os resultados mostram que o sistema possui potencial de utilizar o *smartwatch* como controle remoto. Já o trabalho de Gkournelos *et al.* (2018) propôs um método que permite controlar robôs utilizando o *smartwatch* como mecanismo de

controle. Siddhpuria et al. (2018) desenvolveu um protótipo que permite o usuário controlar o *smartwatch* girando um anel no dedo indicador. Alanwar et al. (2017) criaram um dispositivo para seleção e controle de dispositivos IoT. A interação é realizada apenas apontando para o dispositivo e realizando gestos. Os *smartwatches* precisam ser equipados com sensores inerciais e ultra-wideband (UWB). A precisão de acerto para a escolha do dispositivo foi de 84% e para o reconhecimento de gestos foi de 97%.

No pesquisa desenvolvida por Speir et al. (2014) foi desenvolvido um protótipo para controle de um reprodutor de música utilizando uma pulseira presa ao pulso do usuário e os resultados deste trabalho mostram que os usuários preferem gestos que deslizem a gestos de toque. Já Luna et al. (2017), desenvolveu um método que permite o controle de Smart TVs utilizando gestos realizados pelo pulso de uma pessoa utilizando *smartwatch*. Com o foco em desenvolvimento de dispositivos, o trabalho proposto por Volkinburg & Washington (2017) desenvolveu um controlador vestível baseado em reconhecimento de gestos. Ike et al. (2014) propuseram uma técnica de interação gestual que mostra ao usuário os gestos adequados para realizar as ações disponíveis na interface de navegação de conteúdo da TV com gestos naturais e intuitivos.

No trabalho de Yeo et al. (2016) foi desenvolvido um método que permite a interação com *smartwatches* com toques contínuos de pressão e giros sem a necessidade de modificar os *smartwatches* e realizou experimentos com bons resultados em sete aplicações diferentes. A pesquisa de Ahn et al. (2015) apresentou uma técnica de interação multitoque sensível a pressão em uma pulseira, por utilizar a pulseira para interação a técnica permite a interação sem oclusão da tela. Oakley & Lee (2014b) desenvolveram um protótipo de hardware que permite a interação multitoque utilizando as bordas do sensor, deixando assim a tela livre.

2.2.5 Interação com eletrodomésticos

Neste trabalho, foi realizado um estudo de caso com o método desenvolvido para interagir com eletrodomésticos utilizando *smartwatches* e infravermelho.

Como pode ser observado nesta seção, diversas pesquisas são desenvolvidas para a criação de novos métodos de interação com *smartwatches* utilizando reconhecimento de gestos, assim como, pesquisas para controlar eletrodomésticos utilizando infravermelho. Contudo, nenhum destes trabalhos abordou o uso de reconhecimento contínuo de gestos em *smartwatches* para controlar eletrodomésticos. Desta forma, este trabalho utiliza *smartwatches* e reconhecimento contínuo de gestos para desenvolver um método que permita controlar eletrodomésticos utilizando gestos simples e intuitivos.

O trabalho de Kronbauer et al. (Kronbauer et al., 2015) desenvolveu um controle remoto universal para ambientes residenciais, eles desenvolveram uma plataforma

que utiliza um aplicativo instalado em um smartphone para controlar os eletrodomésticos. Sulayman et al. (Abu Sulayman et al., 2017) desenvolveram um sistema de automação residencial utilizando Arduino, ele permite que o usuário controle os dispositivos utilizando *smartwatches* e conexão com a Internet. Já o trabalho de Zhu et al. (Zhu et al., 2012) criou um sistema para controle de eletrodomésticos utilizando smartphones. Afifah et al. (Afifah et al., 2016) criaram um aplicativo móvel baseado em Android de baixo consumo de energia para controlar smart homes, além disso, o aplicativo também investiga o consumo de bateria.

Adiono et al. (Adiono et al., 2017) criaram um protótipo de hardware de um controle remoto infravermelho para aplicações domésticas inteligentes, o protótipo foi testado em ar condicionado e TV e consegue ligar e desligar os dispositivos. Em 2018, Adiono et al. (Adiono et al., 2018) desenvolveram um controle remoto universal baseado em infravermelho para eletrodomésticos, o smartphone pode ser utilizado para controlar os eletrodomésticos utilizando um host central, as funcionalidades são limitadas a ativação e desativação.

A pesquisa desenvolvida por Speier et al. (Speier et al., 2014) foi desenvolvido um protótipo para controle de um reproduzidor de música utilizando uma pulseira presa ao pulso do usuários e os resultados deste trabalho mostram que os usuários preferem gestos que deslizem a gestos de toque. Já Luna et al. (Luna et al., 2017), desenvolveram um método que permite o controle de Smart TVs utilizando gestos realizados pelo pulso de uma pessoa utilizando smartwatch.

Já o trabalho de Gkournelos et al. (Gkournelos et al., 2018) propôs um método que permite controlar robôs utilizando o *smartwatch* como mecanismo de controle. O trabalho de Ahn et al. (Ahn et al., 2015) apresentou uma técnica de interação multitoque sensível a pressão em uma pulseira, por utilizar a pulseira para interação a técnica permite a interação sem oclusão da tela.

2.3 Revisão sistemática da literatura

Revisão sistemática da literatura é um método para identificar, avaliar e interpretar trabalhos relevantes de pesquisa para um questão de investigação, área ou fenômenos de interesse. Para realizar a revisão sistemática, utilizou-se o protocolo definido por Kitchenham (Kitchenham, 2004).

Sendo assim, este trabalho apresenta uma revisão sistemática da literatura sobre interação com *smartwatches* utilizando reconhecimento de gestos, mostrando o que já foi desenvolvido e qual é o estado da arte. Realizamos busca em quatro bases com relevante escopo científico: ACM Digital Library, IEEE Xplore Digital Library, Science Direct e Scopus.

Os trabalhos com este tema são diversos, o reconhecimento de gestos é utilizado para realizar operações no próprio *smartwatch* ou até mesmo controlar outros dispositivos ou ambientes virtuais.

O uso de *smartwatches* pode permitir que um usuário interaja com um sistema com as mãos livres, permitindo assim, a interação natural (Pietroszek *et al.*, 2017).

As próximas subseções apresentam conteúdos relevantes para o entendimento dos resultados obtidos. A subseção 2.3.1 apresenta o planejamento e a execução da revisão sistemática. Em sequência, na subseção 2.3.3 serão expostos os resultados com uma breve síntese da literatura estudada, destacando as respostas para as questões de pesquisa e as principais características dos métodos de interação com *smartwatches* utilizando reconhecimento de gestos. Na subseção 2.3.3 serão apresentados os resultados e na subseção 2.3.4 serão apresentadas a discussão e considerações sobre o tema e a revisão sistemática.

2.3.1 Protocolo de planejamento

O protocolo foi definido com o objetivo de caracterizar e comparar os métodos de interação que utilizam *smartwatches*, realizando uma busca em bases de trabalhos científicos para o tema.

Questões de pesquisa

- Q1. Quais são os métodos de interação com *smartwatches* utilizando reconhecimento de gestos existentes?
- Q2. Quais hardwares e ou softwares são necessários?
- Q3. Quais as vantagens dos métodos que utilizam reconhecimento de gestos em comparação à outras técnicas?

Bases de dados para pesquisa de literatura

O estudo foi conduzido em quatro banco de dados com escopo científico bastante conhecidos: ACM Digital Library (dl.acm.org), IEEE Xplore Digital Library (ieeexplore.ieee.org), Science Direct (www.sciencedirect.com), and Scopus (www.scopus.com).

Critérios de inclusão

Para serem incluídos na revisão, os trabalhos precisam atender a três critérios:

- I₁. Propõe um novo método de interação com *smartwatches* utilizando reconhecimento de gestos;
- I₂. Realiza comparação com os métodos existentes;

*I*₃. Realiza estudos com usuários.

Critérios de exclusão

Não foram incluídos na revisão trabalhos que atenderam a pelo menos um destes critérios:

- E*₁. Não propõe um método de interação novo;
- E*₂. Não utiliza reconhecimento de gestos como método de interação;
- E*₃. O foco do trabalho não é a interação entre o usuário e o *smartwatch*;
- E*₄. A pesquisa não realiza estudos com *smartwatches* ou levanta apenas hipóteses de poder ser utilizado um *smartwatch*.

Critério de qualidade

Artigos que descrevem ou comparam métodos de interação com *smartwatches* utilizando reconhecimento de gestos e realizam estudos com usuários para comprovar os resultados.

2.3.2 Execução

A string de busca nas bases foi definida a partir dos termos mais comuns encontrados na literatura em relação ao tema de pesquisa. Para cada base de dados foi definida uma string de busca específica, estas strings estão descritas abaixo:

- ACM Digital Library: Title:(("smartwatch"OR "smart watch"OR "smart watches "OR "wrist-worn"OR "wrist worn"OR "wrist band"OR "wristband") AND ("gesture recognition"OR "gesture-recognition") AND ("interaction")) OR Abstract:(("smartwatch"OR "smart watch"OR "smart watches "OR "wrist-worn"OR "wrist worn"OR "wrist band"OR "wristband") AND ("gesture recognition"OR "gesture-recognition") AND ("interaction")).
- IEEE Xplore: (smartwatch* OR "smart watch"OR "smart watches "OR "wrist-worn"OR "wrist worn"OR "wrist band"OR "wristband") AND ("gesture recognition"OR "gesture-recognition") AND ("interaction").
- Science Direct: (smartwatch OR smart watch OR smart watches OR wrist-worn OR wrist worn OR wrist band OR wrist bands) AND (gesture recognition OR gesture-recognition) AND (interaction).
 - Termos buscados no título, resumo e palavras-chave.
- Scopus:(("smartwatch"OR "smart watch"OR "smart watches"OR "wrist-worn"OR "wrist worn"OR "wrist band"OR "wristband") AND ("gesture recognition"OR "gesture-recognition") AND ("interaction")).

- Termos buscados no título, resumo e palavras-chave.

A pesquisa foi realizada em março de 2020, totalizando 160 artigos encontrados e destes, 60 foram aceitos e 100 rejeitados ou ignorados. A Figura 2.1 mostra o total de artigos encontrados e aceitos em cada base.

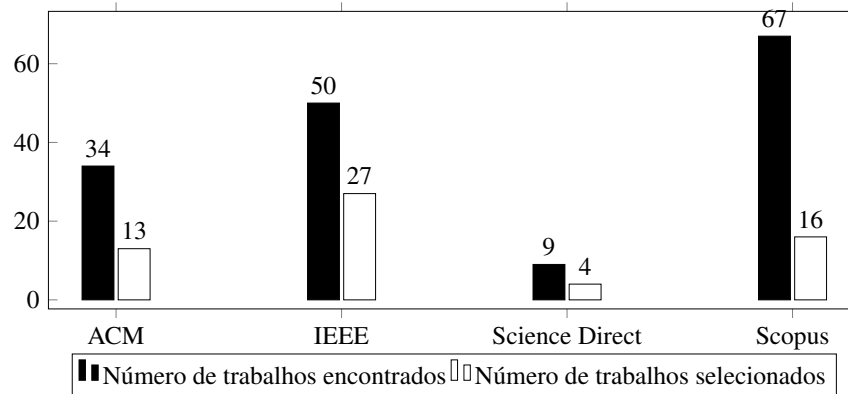


Figura 2.1: Total de artigos encontrados e aceitos nas bases de acordo com os critérios estabelecidos. Adaptado de (Horbylon Nascimento *et al.*, 2020).

2.3.3 Resultados

Utilizando os trabalhos selecionados de acordo com os critérios estabelecidos foi possível responder as perguntas de pesquisa, que serão apresentadas a seguir.

Q1. Quais são os métodos de interação com *smartwatches* utilizando reconhecimento de gestos existentes?

Os métodos de interação que utilizam *smartwatches* com reconhecimento de gestos estão listados em ordem cronológica:

1. UbiHand: Ahmad & Musilek (2006), criaram uma pulseira com uma pequena câmera presa que fica preso no pulso do usuário para rastrear a posição do dedo e fornecer uma interface de interação natural.
2. Método de Morganti: Morganti *et al.* (2012), propuseram um *smartwatch* para reconhecer objetos e gestos e agarrar e do antebraço. Para o reconhecimento de gestos do antebraço foram utilizados sensores de forças flexíveis presos ao punho.
3. Método de Constate: Costante *et al.* (2014), desenvolveram um sistema em que um *smartwatch* é explorado para fornecer interação sem o uso das mãos utilizando gestos de braço e com um aplicativo de auxílio executando em um smartphone. Foi utilizado o algoritmo de aprendizagem de métrica de transferência.

4. Método de Ike: Ike et al. (2014), propuseram uma técnica de interação gestual que mostra ao usuário os gestos adequados para realizar as ações disponíveis na interface de navegação de conteúdo da TV com gestos naturais e intuitivos.
5. Método de Charkravarthi: Chakravarthi et al. (2015), criaram um sistema de reconhecimento de gestos baseados em dados de acelerômetro e redes neurais. Para isto, criaram uma pulseira econômica e de baixo consumo de energia para controlar um robô. A rede neural foi treinada com o algoritmo Learning Vector Quantization (LVQ).
6. WristRotate: Kerber et al. (2015), coletaram 435,1 horas de dados de acelerômetro para identificar os gestos utilizados pelas pessoas. Para isto, foi implementado um sistema de reconhecimento de gestos baseado no DTW. Foi possível identificar um gesto que é incomum na vida diária, rápido e fácil de executar e detectável de forma fácil e confiável, este gesto é girar o antebraço e o punho para fora e para dentro (duas vezes). Sendo assim, este gesto pode ser utilizado como delimitador ou gatilho para o início do reconhecimento dos gestos.
7. Método de Knighten: Knighten et al. (2015), desenvolveram um método para reconhecimento de gestos sociais com uma smartband usada no pulso, utilizou Linear Discriminant Analysis (LDA), and logistic regression.
8. Método de Lim: Lim et al. (2015), propuseram a expansão da região de toque da tela para a parte de trás da mão do usuário, para isto, desenvolveram um módulo de toque para detectar a posição do dedo tocado nas costas da mão usando sensores de imagem de linha de infravermelho. O giroscópio do *smartwatch* é usado para ler os gestos do pulso e os envia ao DTW.
9. Método de Wu: O trabalho desenvolvido por Wu et al. (2015), propõe um sistema Sign Language Recognition (SLR) em tempo real, foi utilizado o SLR americano. Utiliza a fusão da eletromiografia de superfície (sEMG) e um sensor inercial usado no pulso. O sistema foi testado com as 40 palavras mais usadas conversa diária e alcança 95,94% de taxa de reconhecimento. Também foi realizada uma comparação com quatro classificadores diferentes e observou-se a taxa de acerto é maior quando o sistema é treinado para cada indivíduo.
10. Método de Dwivedi: O método desenvolvido por Dwivedi et al. (2016) utiliza dois *smartwatches* para simular o toque de bateria no ar. Para isto, realiza o rastreamento da trajetória da mão 3D em tempo real e rastreamento de gestos utilizando Hidden Markov model (HMM) de baixa latência. O método possui precisão entre 92% e 93% com latência de 0,2ms.
11. Método de Kefer: Kefer et al. (2016), desenvolveram um trabalho que investiga o efeito da posição dos dispositivos para o reconhecimento dos gestos dinâmicos das mãos. Desta forma, utilizaram o *smartwatch LG G Watch* no pulso e uma

braçadeira *Myo* no cotovelo. Os testes mostram que a precisão de reconhecimento do *smartwatch* foi de 8% maior que da braçadeira *Myo*, contudo, por ser uma diferença pequena, os autores afirmam que outro trabalho deve ser realizado para testar gestos diferentes para determinar qual a melhor posição para o dispositivo de reconhecimento.

12. ViBand: Laput et al. (2016), desenvolveram um kernel personalizado para *smartwatches* que aumenta a taxa de amostragem do acelerômetro para 4 kHz para poder fornecer dados de alta fidelidade. Desta forma, pode-se usar dados bioacústicos para classificar gestos de mão, como movimentos, palmas, arranhões e toques. Também pode detectar as vibrações de objetos mecânicos ou movidos a motor, permitindo o reconhecimento passivo de objetos.
13. Airdraw: Moazen et al. (2016), desenvolveram um método para entrada de texto para *smartwatches* que utiliza os dados de sensores de movimento e aprendizado de máquina para detectar letras escritas no ar. O método não é afetado pela iluminação. Os resultados mostram precisão de acerto de 71%.
14. MyAID: Villani et al. (2016), criaram um método que utiliza o *smartwatch* para interagir com uma aplicação de solução de problemas de máquinas. O aplicativo tem como objetivo auxiliar os trabalhadores na execução de tarefas preventivas e corretivas de manutenção da máquina através de um procedimento orientado para a identificação de falhas e sua resolução.
15. Serendipity: Wen et al. (2016), criaram uma técnica para reconhecer gestos de dedos discretos utilizando *smartwatches* disponíveis no mercado. O sistema pode reconhecer 5 gestos de como beliscar, tocar e esfregar os dedos com uma taxa de acerto de 87%.
16. WatchMI: Yeo et al. (2016), desenvolveram um método para reconhecimento de gestos em *smartwatches* não modificados que analisa em tempo real os dados de uma Inertial Measurement Unit (IMU) para determinar com precisão os gestos realizados pelo usuário. Os autores mostram o uso do método em sete aplicativos diferentes: navegação no mapa, despertador, tocador de música, reconhecimento de gestos, entrada de texto, explorador de arquivos e controle de dispositivos remotos ou um personagem de um jogo.
17. WatchOut: O método proposto por Zhang et al. (2016), utiliza dados de acelerômetro e giroscópio para reconhecer três famílias de gestos. Na *SideTap*: o usuário toca na lateral direita ou esquerda do relógio, já na *BezelButtons*: o usuário toca na área externa da tela, 8 locais são reconhecidos e na *BandSwipe*: o usuário toca na pulseira do relógio, 4 gestos são reconhecidos. Os estudos foram realizados utilizando relógio com tela redonda e quadrada, os testes mostram precisão de reconhecimento entre 88,7% e 99,4%.

18. Método de Agarwal: Agarwal & Ghosh (2017), criaram uma abordagem para reconhecer movimentos finos dos dedos e palmas das mãos utilizando sensores dos *smartwatches*. Foi criado um classificador baseado em *Support Vector Machine* (SVM) para reconhecer 7 micro gestos.
19. SeleCon: Alanwar et al. (2017), criaram um dispositivo para seleção e controle de dispositivos IoT. A interação é realizada apenas apontando para o dispositivo e realizando gestos. Os *smartwatches* precisam ser equipados com sensores inerciais e ultra-wideband (UWB). A precisão de acerto para a escolha do dispositivo foi de 84% e para o reconhecimento de gestos foi de 97%.
20. Método de Ferrari: No trabalho de Ferrari et al. (2017), foi proposto o reconhecimento de gestos baseado em *smartwatches* para aumentar a interação entre usuários e aplicações multimídia. Para reconhecimento dos gestos foi utilizada a rede Long Short Term Memory (LSTM).
21. Método de Liang: Liang et al. (2017), desenvolveram um método inovador de reconhecimento de gestos usando um sensor de pressão capacitivo flexível preso no pulso do usuário, o método é baseado nas variações de pressão ao redor do pulso quando ocorre a mudança de gestos. As variações de pressão são capturadas utilizando sensores capacitivos flexíveis e ultrafinos. Os resultados mostram que a precisão de reconhecimento e o total de gestos reconhecíveis aumentam de acordo com o número de sensores.
22. Método de Wrist Player: Luna et al. (2017), desenvolveram um método que permite o controle de Smart TVs utilizando gestos realizados pelo pulso de uma pessoa utilizando smartwatch. A classificação dos gestos é realizada pelo Multi-Dimensional Dynamic Time Warping (MDDTW), os dados coletados no *smartwatch* são enviados a um smartphone que os processa e os envia a Smart TV.
23. Método de Mezari: Mezari & Maglogiannis (2017), utilizaram os algoritmos Symbolical Aggregate Approximation (SAX) e DTW para fazer o reconhecimento de um conjunto de 6 gestos 3D com interação natural, os resultados mostram que com a aplicação correta do algoritmo é possível utilizar os gestos em tarefas rotineiras.
24. Método de Nascimento: O trabalho desenvolvido por Nascimento et al. (2017), permite a entrada de texto em *smartwatches* utilizando gestos baseados em formas geométricas. O reconhecimento de gestos é realizado pelo algoritmo de reconhecimento contínuo de gestos, após o reconhecimento utiliza-se o classificar *Naïve Bayes* para determinar qual letra está sendo inserida a partir dos gestos realizados. Utilizando este método é possível inserir uma letra com no máximo duas interações com uma taxa de acerto de 100% para as letras mais frequentes da língua inglesa e 95,14% para as letras menos frequentes.
25. Método de Nascimento: Nascimento et al. (2017), criaram um método para entrada

- de textos em ambientes virtuais utilizando o Google Cardboard e *smartwatches*. Todas as ações realizadas no *smartwatch* são exibidas no ambiente virtual.
26. Watchcasting: Pietroszek et al. (2017), desenvolveram uma técnica de interação 3D no ar com mãos livres utilizando *smartwatches*.
 27. Método de Rupprecht: Rupprecht et al. (2017), criaram um método para interação intuitiva, natural e multimodal em ambientes virtuais utilizando *smartwatches* e smartphones. Foram projetados e implementamos métodos para lidar com sete gestos e foi realizada uma comparação com o rastreamento do corpo usando uma câmera 3D. O método é simples de ser utilizado é independente do local, comparado com a câmera que precisa de ângulo de visão.
 28. Método de Truong: Truong et al. (2017), desenvolveram um protótipo para wristband que realize o reconhecimento de gestos de mão de baixo custo, com baixo consumo de energia utilizando a técnica de sensoriamento capacitivo. O código desenvolvido está disponível para usuários e desenvolvedores e foi testado no Sistema Operacional Linux.
 29. Método de Villani: Villani et al. (2017), propuseram uma metodologia para permitir que um usuário interaja com um sistema robótico com as mãos livres, para isto, utiliza um *smartwatch* ou uma pulseira sensorial para reconhecer o movimento do antebraço do usuário.
 30. DeLightTouch: Yoon et al. (2017), utilizaram o sensor de luz integrado aos *smartwatches* para realizar a interação multitoque sem realizar nenhuma modificação nos *smartwatches*, contudo, a técnica desenvolvida exige luz ambiente consistente e estável.
 31. WwwCam: Chen et al. (2018), criaram uma pulseira com câmera de vídeo RGB capaz de reconhecer em tempo real gestos de mãos baseados em ângulos de dedos para controlar um robô. Utiliza um algoritmo de transformação de distância de duas fases para separar os dedos e a palma da mão na imagem e propõe um algoritmo e uma métrica de correspondência de modelos. A eficácia do algoritmo foi verificada no conjunto de dados composto por dez tipos de gestos e mil imagens. A taxa de acerto no reconhecimento de gestos foi em média de 99,38% e a velocidade de reconhecimento foi de 0,035s.
 32. CuffLink: Church et al. (2018), projetaram uma pulseira que permite aos usuários transferirem arquivos de forma intuitiva entre dispositivos utilizando gestos de pegar e soltar com as mãos. A seleção de dispositivos é realizada utilizando transceptores ultrassônicos, já o reconhecimento dos gestos de mão é feito utilizando force-sensitive resistors (FSRs). Os testes mostraram que 83% dos usuários utilizariam o método proposto em comparação aos métodos tradicionais de compartilhamento.
 33. Método de Delva: Delva et al. (2018), criaram uma pulseira para monitorar os

- movimentos do pulso de idosos. A pulseira foi composta por 16 Rorce-sensing Resistors (FSR). foi realizado um estudo com dez participantes.
34. Método de Jiang: Jiang et al. (2016, 2018), desenvolveram e validaram uma pulseira de reconhecimento de gestos de pulso em tempo real baseando-se na eletromiografia de superfície e na unidade de medição por inércia que detecta a fusão. A pulseira pode reconhecer 8 gestos de ar e 4 gestos de superfície com 2 níveis distintos de força. O experimento inicial foi realizado por dez indivíduos os resultados mostram Precisoões de classificação de 92,6% para gestos aéreos e e 88,8% para gestos de superfície. Outros dois experimentos foram realizados, o segundo uma hora depois do primeiro e o terceiro um dia depois, contudo, não houve alterações nos resultados.
 35. Método de Kartsch: Kartsch et al. (2018), criaram uma pulseira flexible Printed Circuit Board (PCB) com alimentada por energia solar que executa um algoritmo Support Vector Machine (SVM) e possui taxa de acerto de 94,02% para 5 gestos manuais. A pulseira desenvolvida possui como alvo sistemas de aplicações de saúde de HCI.
 36. deepGesture: Kim et al. (2018), criaram um método para reconhecimento de gestos de braços utilizando sensores de acelerômetro e giroscópio presos ao pulso do usuário e deep convolution and recurrent neural networks.
 37. Wristwash: Li et al. (2018a), criaram um método para avaliação automática da lavagem das mãos, para isto, desenvolveram uma pulseira com unidade de medição inercial e utilizaram um método de análise baseado no Hidden Markov Model.
 38. Método de Li: O método proposto por Li et al. (2018b), utiliza um módulo auto-alimentado para reconhecimento de gestos em luz ambiente. Para isto, utiliza pequenos fotodiodos de baixo custo para detecção de gesto. Os fotodiodos captam energia da luz ambiente, a energia coletada de fotodiodos individuais é monitorada e explorada para detectar gestos dos dedos. Os dados coletados dos fotodiodos são utilizados para o reconhecimento de gestos.
 39. Método de Li: Li et al. (2018c), propuseram um método para reconhecimento de gestos utilizando dados de atividade muscular obtidos por sensores (acelerômetro, acelerômetro linear e giroscópio) para reconhecer pequenos gestos dos dedos.
 40. Método de Li: Li et al. (2018), criaram um método para controle de jogos em tempo real utilizando uma pulseira com sensores de acelerômetro e giroscópio e o Kinect.
 41. Método de Lin: O método de Lin et al. (2018), criaram um método que permite a entrada de texto a mão em *smartwatches*. O usuário precisa utilizar o cotovelo como ponto de apoio e os dados do acelerômetro e giroscópio são utilizados para deduzir a escrita.
 42. Método de Mezari: Mezari & Maglogiannis (2018), criaram um método para reconhecimento de gestos utilizando *smartwatches*. São utilizados os dados do ace-

- lerômetro no *smartwatch* e o processamento é realizado no smartphone. O método permite ao usuário definir um conjunto de gestos e treinar o sistema para reconhecê-los. Foram implementados três métodos de reconhecimento de gestos: Fast Fourier Transformation (FFT) Method, Geometric Method, and Symbolic Aggregate apProXimation (SAX), contudo, o método SAX obteve melhor desempenho.
43. Método de Nascimento: Nascimento *et al.* (2018), desenvolveram um método que permite controlar jogos de plataforma utilizando o *smartwatch* como controle remoto e realizou um estudo de caso com o jogo Super Mario World. Utiliza o algoritmo de reconhecimento contínuo de gestos, pois, desta forma é possível detectar um gesto antes de ser finalizado e enviar a ação de forma mais rápida ao jogo. Também foi desenvolvida uma técnica que permite a realização de vários gestos em sequência sem a necessidade de retirar o dedo da tela. Os resultados do teste mostram que o método possui potencial para ser utilizado pelos jogadores no cotidiano.
 44. Método de Truong: Truong *et al.* (2018), desenvolveram uma pulseira para reconhecimento de gestos sem bateria que coleta energia no ambiente.
 45. Método de Vu: Vu *et al.* (2018), desenvolveram um método para detecção antecipada de gestos utilizando o algoritmo HMM que monitora o movimento da mão apenas em trajetórias pré-definidas contudo, é capaz de identificar um gesto antes de ser finalizado. Este método permite rastrear os movimentos da mão utilizando um *smartwatch* com precisão e pode ser utilizado em aplicativos imersivos e interativos orientado por gestos.
 46. WristMouse: Zhang *et al.* (2018), projetaram um controlador de mouse vestível com quatro sensores Force Sensitive Resistors (FSR), o sistema reconhece os gestos de mão e os traduz para operações do mouse em tempo real. A precisão de acerto foi de 92,55%.
 47. Método de Becker: O método de Becker *et al.* (2019), realiza o reconhecimento de gestos que emitem sons como estalar, bater ou bater palmas utilizando um *smartwatch*. O reconhecimento é feito utilizando os dados de acelerômetro e giroscópio e os sons dos gestos.
 48. WristCam: Chen *et al.* (2019), desenvolveram um sensor de câmera vestível para ser utilizado no pulso com a finalidade de reconhecer gestos da trajetória da mão para controlar um robô doméstico ou uma cadeira de rodas robótica. O classificador utilizado foi o Dynamic Time Warping (DTW) e a precisão de reconhecimento foi de 97,6%.
 49. Método de Choi: Choi & Kim (2019), criaram um método que permite a classificação de gestos de dedo baseado em SEMG para *smartwatches* utilizando deep learning. Este método permite que o usuário controle o *smartwatch* utilizando ape-

nas a mão em que ele é utilizado.

50. Método de Go: O método proposto por Go et al. (2019), desenvolveu um método para entrada de texto em *smartwatches* redondos que permite que a entrada de texto pelo usuário sem que ele precise olhar para o smartwatch.
51. Método de Gromov: Gromov et al. (2019), criaram um sistema para controlar robôs utilizando gestos apontadores, o usuário precisa utilizar uma pulseira ou *smartwatch* com unidade de medição inercial.
52. Método de Huihui: O método de Huihui (2019), propõe um *smartwatch* com uma câmera infravermelha que permite ao usuário realizar gestos e controlar outros dispositivos.
53. Método de Liang: Liang et al. (2019), desenvolveram um dispositivo de pulso com recursos de aprendizado de máquina e sensores de pressão. Os sensores foram acoplados em um substrato flexível para se adaptar a qualquer modificação. Sempre que a pulseira é reutilizada ela é recalibrada com o classificador SVM. Três gestos discriminados foram classificados corretamente pelo SVM alta precisão, acima de 90%.
54. Método de Magrofuoco: Magrofuoco et al. (2019), criaram um método para capturar microgestos utilizando dispositivos vestíveis como *smartwatch* ou anel. Realizou um estudo que definiu os gestos preferidos dos usuários.
55. Método de Nascimento: Nascimento et al. (2019), desenvolveram um método que permite ao usuário controlar o Netflix utilizando *smartwatches* e reconhecimento contínuo de gestos. O método permite ao usuário iniciar, pausar, continuar, retroceder, avançar e aumentar e diminuir o volume.
56. Método de Rupprecht: Rupprecht et al. (2019), desenvolveram um método de interação natural com ambientes de realidade virtual, eles utilizaram *smartwatches* para permitir a interação com as mãos livres.
57. Método de Wang: Wang et al. (2019), criaram um sistema de detecção de gestos de pulso utilizando um conjunto de sensores de pressão em uma pulseira. Utilizou uma a Echo State Network (ESN), que é uma rede de aprendizado supervisionada para calibrar o sistema a diferentes usuários.
58. Método de Yeo: O método desenvolvido por Yeo et al. (2019), permite a detecção de gestos de pulso para apontamento. Utilizado os dados das unidades de medida inercial de um *smartwatch* e de um anel. O método permite o apontamento macro-mini e reconhecimento de gestos no pulso.
59. Método de Zhang: O método proposto por Zhang et al. (2019), propõe uma estrutura para processar sinais de pressão para reconhecimento de gestos em tempo real. Utiliza quatro sensores de pressão em um dispositivo utilizado no pulso.
60. Método de Maereg: O trabalho de Maereg. et al. (2020), criou uma pulseira com

emissores e receptores infravermelho. Utiliza 24 emissores infravermelho e 12 fotodiodos que medem a luz refletida durante a realização de um gesto. Os testes mostraram que o sistema pode reconhecer de 6 a 8 gestos por segundo em tempo real utilizando um desktop com o processador Core i7-7800X CPU a 3.5GHz e 32 GB RAM para realizar o processamento.

Q2. Quais hardwares e ou softwares são necessários?

De acordo com as respostas da primeira questão podemos observar que a maioria dos trabalhos utiliza sensores (acelerômetro, giroscópio ou sensores de pressão) para realizar a interação por reconhecimento de gestos. Apenas os trabalhos (Go *et al.*, 2019; Nascimento *et al.*, 2017; Nascimento *et al.*, 2017; Nascimento *et al.*, 2019, 2018), utilizaram somente a interação por gestos na tela e os trabalhos (Ahmad & Musilek, 2006; Chen *et al.*, 2018) utilizam câmeras de vídeo presas ao pulso do usuário. Três trabalhos (Huihui, 2019; Lim *et al.*, 2015; Maereg. *et al.*, 2020) utilizaram sensores infravermelho.

Também é possível observar que muitos trabalhos utilizam *smartwatches* de mercado para realizar a interação, enquanto outros desenvolveram novos dispositivos para executar o processo de reconhecimento de gestos. Contudo, em todos os trabalhos o custo para aquisição dos equipamentos é baixo, porém, utilizar *smartwatches* de mercado possibilita que uma quantidade maior de pessoas possam utilizar os métodos desenvolvidos.

Q3. Quais as vantagens dos métodos desenvolvidos em comparação com métodos de outras tecnologias?

Podemos observar nos trabalhos apresentados que a principal utilização da interação com *smartwatch* utilizando reconhecimento de gestos é para permitir a interação natural com as mãos livres. Anteriormente isto era possível utilizando reconhecimento de imagens, entretanto, a posição do usuário em relação à câmera e a iluminação eram critérios essenciais para o bom funcionamento destes métodos.

Considerando que os *smartwatches* e as pulseiras presas ao pulso do usuário possuem sensores como acelerômetro, giroscópio e sensores de pressão, o problema da iluminação, bem como, da posição do usuário em relação à câmera foram resolvidos. Levando em consideração também que o dispositivo está preso ao pulso do usuário todo movimento do usuário pode ser capturado com maior precisão. Desta forma, o uso de *smartwatches* permite a interação natural com as mãos livres e resolveu o problema da iluminação e posição do usuário em relação à câmera.

2.3.4 Discussão

Foi realizada uma abrangente Revisão Sistemática da Literatura, que mostrou diversos métodos para interação com *smartwatches* utilizando reconhecimento de gestos. De um total de 160 artigos encontrados, 60 foram selecionados e utilizados para responder nossas perguntas.

O trabalho proposto por Kerber *et al.* (2015), identifica os padrões de movimentos dos usuários, desta forma, os pesquisadores definiram um gatilho para iniciar o reconhecimento de gestos, o gesto definido foi girar o antebraço e o punho para fora e para dentro (duas vezes) (Kerber *et al.*, 2015).

Apenas os trabalhos (Go *et al.*, 2019; Nascimento *et al.*, 2017; Nascimento *et al.*, 2017; Nascimento *et al.*, 2019, 2018) utilizam somente a interação por gestos na tela para interagir com o *smartwatch* ou utilizam o *smartwatch* para interagir com outros dispositivos. Dois trabalhos (Ahmad & Musilek, 2006; Chen *et al.*, 2018) utilizaram câmeras de vídeo presas ao pulso do usuário para o reconhecimento de gestos. Três trabalhos (Huihui, 2019; Lim *et al.*, 2015; Maereg. *et al.*, 2020) utilizaram sensores infravermelho. Isto mostra que pesquisas que utilizem reconhecimento de gestos realizados na tela podem contribuir para o desenvolvimento de métodos que utilizem os *smartwatches* como mecanismo de interação.

Os demais trabalhos utilizaram sensores como acelerômetro, giroscópio ou sensores de pressão. Assim como, a interação com mãos livres utilizando os sensores está sendo bastante explorada, pois, permite a interação natural.

Em resumo, é possível concluir que os resultados das pesquisas são positivos e mostram diversos métodos e aplicações diferentes que utilizam interação por toque na tela, câmeras de vídeo integradas em pulseiras e sensores como acelerômetro e giroscópio.

Contudo, dos 60 trabalhos selecionados, somente 5 utilizaram apenas gestos na tela dos *smartwatches* como mecanismo de interação. Observa-se também que apenas os trabalhos que foram gerados com esta tese utilizam reconhecimento contínuo de gestos em telas sensíveis ao toque dos *smartwatches*.

2.4 Considerações finais deste capítulo

Neste capítulo foram expostos trabalhos relacionados aos quatro segmentos em que a pesquisa foi desenvolvida. Também foi apresentada uma revisão sistemática da literatura, com o objetivo de expor as já pesquisas desenvolvidas que utilizam *smartwatches* com reconhecimento de gestos.

O próximo capítulo irá abordar o método de interação desenvolvido neste trabalho utilizando *smartwatches* e reconhecimento contínuo de gestos.

Método de Interação Utilizando *Smartwatches* e Reconhecimento Contínuo de Gestos

3.1 Introdução

Os resultados da revisão sistemática mostram que, exceto os trabalhos que são derivados desta tese (expostos na seção 8.2), não foram encontrados trabalhos utilizando reconhecimento contínuo de gestos com gestos baseados em formas geométricas para interagir com telas sensíveis ao toque de *smartwatches*.

Sendo assim, este capítulo detalha o método de interação desenvolvido neste trabalho. O método utiliza gestos baseados em formas geométricas para que o usuário possa realizar interações. A etapa de reconhecimento de gestos é realizada pelo algoritmo de reconhecimento contínuo de gestos que permite que um gesto seja reconhecido antes de ser finalizado, o que permite que a ação desejada pelo usuário seja executada mais rapidamente. As próximas seções detalham o método de interação desenvolvido neste trabalho, o método utiliza *smartwatches* e reconhecimento contínuo de gestos, com gestos simples e baseados em formas geométricas.

3.2 Reconhecimento contínuo de gestos

O algoritmo de reconhecimento de gestos desenvolvido por Kristensson & Denby (2011), trabalha de forma que um gesto possa ser reconhecido mesmo que não tenha sido finalizado, pois, trabalha com o reconhecimento contínuo de gestos e é capaz de prevê-los com alta precisão em vários conjuntos de dados diferentes. Este método é capaz de reconhecer trajetórias de traços 2D. Como será exposto nos próximos capítulos, ele foi bastante eficiente ao ser utilizado em *smartwatches* nos estudos de caso.

Por ser capaz de prever gestos parciais, o algoritmo consegue reconhecer um gesto antes de estar completo, permitindo assim, fornecer um *feedback* contínuo. Para isto, utiliza uma técnica que consiste segundo os autores em modelos e segmentos. Assim, cada gesto é um modelo que possui um conjunto de segmentos descrevendo, de forma

crescente, os trechos parciais do movimento. Com isto, o algoritmo gera uma distribuição de probabilidade sobre esse conjunto de modelos como uma função da articulação parcial ou completa de um traço, permitindo que sistemas interativos processem prontamente a entrada dos usuários antes que eles concluam seus gestos. Além disso, apesar de reconhecer gestos parciais, o algoritmo é igualmente preciso se comparado à algoritmos que reconhecem traços completos.

O algoritmo considera um modelo como um vetor de pontos ordenados em relação ao tempo, ou seja, um vetor de pontos ordenados relativos ao modo como o movimento deve ser produzido, sendo assim, um gesto é segmentado em várias partes e em movimentos crescentes. A Figura 3.1, ilustra esta técnica.



Figura 3.1: Modelo à esquerda e segmentos à direita gerados pelo algoritmo de reconhecimento incremental. Adaptado de (Kristensson & Denby, 2011).

Um modelo é um par (l, S) , onde l é a descrição do modelo e S é um conjunto de segmentos que descreve o modelo completo. A Equação 3-1 descreve um modelo completo ordenado em segmentos em relação ao tempo proposto por Kristensson & Denby (2011),

$$S = [s_1, s_2, \dots, s_n]^T \quad (3-1)$$

3.2.1 Reconhecimento de gestos

À medida que o gesto vai sendo executado, o sistema calcula a probabilidade de ser um gesto do template. O algoritmo trabalha com gestos que são executados com mais frequência, ou seja, procura encontrar padrões, pois, normalmente, há gestos que são mais repetidos que outros.

Sendo $\Omega = \omega_k$ o conjunto de modelos e o vetor de entrada I com i pontos $[i_1, i_2, \dots, i_i]$.

Para cada novo ponto no índice i é calculada a probabilidade posterior para cada template $\omega_j \in \Omega$ usando a regra de Bayes, como mostra a Equação 3-2,

$$P(\omega_j | I_i) = \frac{P(\omega_j)P(I_i | \omega_j)}{\sum_k P(\omega_k)P(I_i | \omega_k)} \quad (3-2)$$

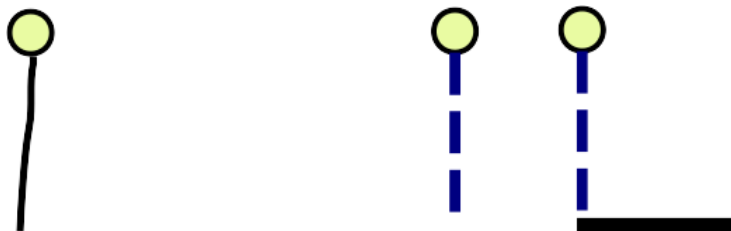


Figura 3.2: Exemplo de dois segmentos (direita) coincidindo com um curso do usuário (esquerda), o ponto amarelo indica a posição inicial e o tracejado azul as partes que coincidem (Adaptado de (Kristensson & Denby, 2011)).

onde $P(\omega_j)$ é a probabilidade prévia e $P(I_i|\omega_j)$ é a probabilidade e o denominador é o termo de exclusão.

3.2.2 Probabilidade

A probabilidade pode ser calculada com a entrada parcial de um gesto, referente ao template previamente armazenado.

O algoritmo leva em consideração se o gesto do usuário corresponde a um gesto parcial ou completo, pois, caso seja um gesto parcial, deve-se comparar prioritariamente com os modelos incrementais e, caso seja um gesto completo, os templates completos devem possuir prioridade na comparação. Além disso, o algoritmo precisa saber o ponto final de um gesto. Caso não saiba, não será capaz de identificar um gesto, como mostra a Figura 3.2.

3.2.3 Função de distância

A distância é calculada a partir da distância euclidiana e ângulo de viragem. Mesmo que a distância euclidiana seja amplamente utilizada em diversas aplicações, inclusive em reconhecimento de gestos, ela exige que as sequências sejam normalizadas. Já o ângulo de viragem, calcula o ângulo giro médio entre duas sequências, utilizando um eixo de referência fixo, o que possibilita calcular a diferença angular de dois segmentos de linha correspondentes. Esta solução foi proposta originalmente para banco de dados de pesquisas de imagens e utilizada posteriormente para prever a escala de gestos.

A função de distância combina as estimativas de probabilidade das duas medidas de similaridade entre as sequências de pontos de I e S , como demonstra a Equação 3-3,

$$D(I, S) = \exp \left(- \left[\lambda \left(\frac{x_e^2}{\sigma_e^2} \right) + (1 - \lambda) \left(\frac{x_r^2}{\sigma_r^2} \right) \right] \right) \quad (3-3)$$

A medida x_e é a medida euclidiana entre os pontos I e S . Já a medida x_r é o ângulo de viragem médio entre as linhas correspondentes entre I e S . As medidas de similaridade são tratadas como gaussianas, pois, soma das comparações pontuais na medida de

distância euclidiana e a soma das comparações lineares na medida do ângulo de viragem são somas de variáveis gaussianas aleatórias independentes e distribuídas de forma idêntica. O somatório das medidas de similaridade tende ser alto, desta forma, utilizando o teorema do limite central, as próprias medidas de similaridade são gaussianas.³⁵ $\lambda \in [0, 1]$ é um peso de mistura que controla a contribuição relativa das duas medidas de similaridade.

3.3 Conjunto de gestos

No método desenvolvido neste trabalho o usuário realiza a interação por meio de gestos, sendo assim, foi criado um conjunto de gestos simples, baseados em formas geométricas para ser utilizado pelos usuários. O conjunto de gestos foi criado para ser utilizado com o algoritmo de reconhecimento contínuo de gestos. É composto por: ponto, retas verticais, retas horizontais, retas diagonais, circunferências e semicircunferências. A Figura 3.3 ilustra o conjunto de gestos.

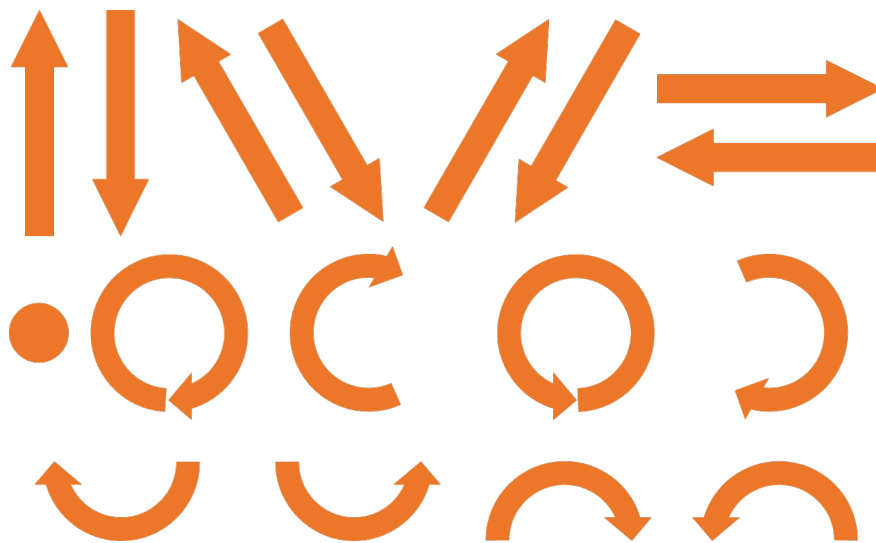


Figura 3.3: Conjunto de gestos criado para ser utilizado com o algoritmo de reconhecimento contínuo de gestos.

As setas desenhadas presentes em cada gesto da Figura 3.3 representam o sentido que o gesto é realizado, ou seja, a seta representa o fim do gesto. O algoritmo de reconhecimento contínuo de gestos identifica o início e o fim de cada gesto, com isto, se dois gestos tiverem o mesmo desenho e os mesmos pontos, porém, com início e fim diferentes, ou seja, com pontos iniciais e finais diferentes, ele irá diferenciá-los.

As retas da diagonais da Figura 3.3 foram geradas utilizando a equação reduzida da reta, representada na Equação 3-4,

$$y = mx + n \quad (3-4)$$

onde y é a variável dependente, m o coeficiente angular, x a variável independente e n o coeficiente linear.

As retas verticais são paralelas ao eixo Y , desta forma, interceptam o eixo OX (eixo das abcissas) perpendicularmente, ou seja, formam ângulos de 90° . Como $tg90^\circ$ não existe não é possível calcular o coeficiente angular. Com isto, a reta é definida apenas pela abscissa do ponto onde ela corta o eixo OX no ponto k , ou seja,

$$x = k \quad (3-5)$$

As retas horizontais interceptam o eixo OY perpendicularmente e não interceptam o eixo OX , sendo assim, o coeficiente angular será sempre igual a 180° , como $tg180^\circ = 0$ o coeficiente angular é nulo. A reta irá interceptar o eixo OY (eixo das ordenadas) em um ponto k , logo, a equação pode ser definida como:

$$y = k \quad (3-6)$$

Portanto, definindo um ponto inicial e os próximos pontos sendo deslocados apenas no eixo Y pode-se gerar uma reta vertical. Enquanto o deslocamento dos pontos apenas no eixo X geram uma reta horizontal. Para criar uma reta diagonal os pontos nos eixos X e Y devem ser deslocados em proporções iguais.

Os gestos com curvas foram definidos utilizando a equação reduzida da circunferência representada pela Equação 3-7,

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2 \quad (3-7)$$

onde x e y são coordenadas de um ponto da circunferência, a e b representam as coordenadas do centro da circunferência e r é o raio.

Utilizando a Equação 3-7, ao definir o centro na origem, ou seja, $(a, b) = (0, 0)$ e definindo um raio r , a partir de um ponto inicial, pode-se definir os próximos pontos incrementando a coordenada do eixo x para obter a coordenada do eixo y .

3.4 Detalhamento do método

A Figura 3.4 ilustra um usuário realizando gestos do conjunto exposto na Figura 3.3 em um *smartwatch*.

Como pode-se observar na Figura 3.4 o *smartwatch* é utilizado no pulso do usuário, desta forma, a interação com a tela é utilizada somente com a outra mão, ou seja, a interação é sempre feita apenas com uma mão.

Para reconhecer um gesto realizado pelo usuário, primeiramente captura-se os pontos da tela em que o usuário está tocando. Estes pontos são enviados ao algoritmo

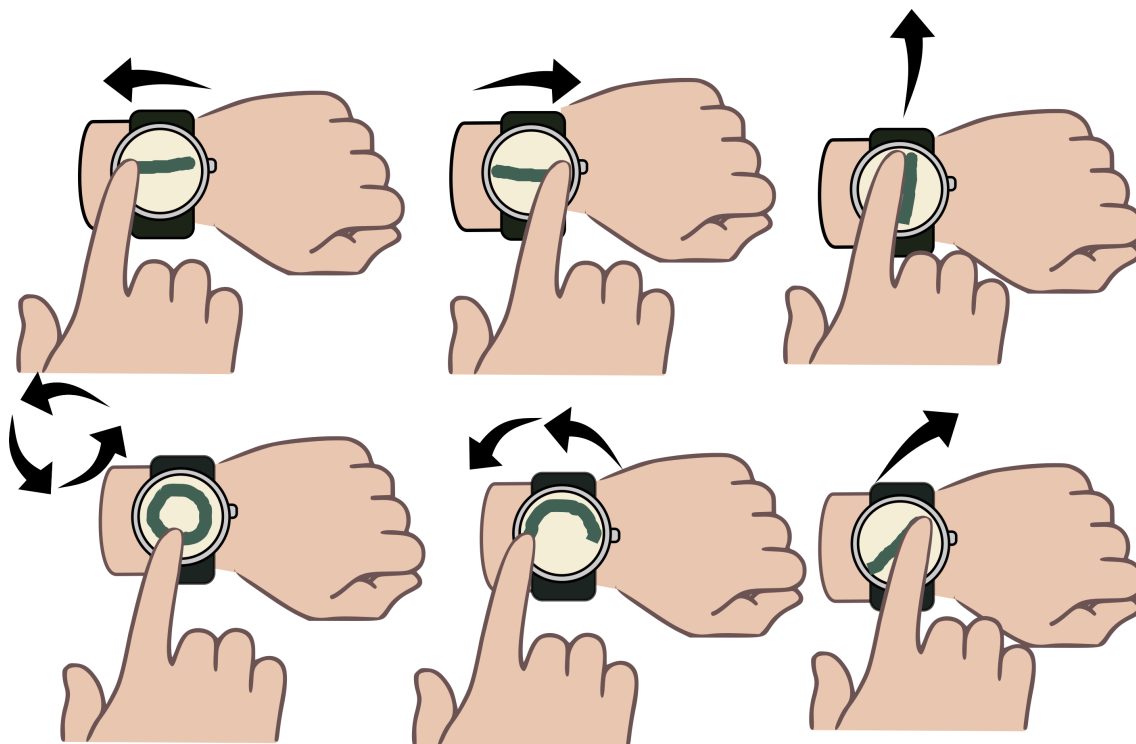


Figura 3.4: Ilustração de um usuário realizando alguns gestos do conjunto em um *smartwatch*.

de reconhecimento contínuo de gestos que é responsável por calcular as probabilidades do movimento que está sendo realizado pelo usuário ser um gesto do conjunto. Após o cálculo destas probabilidades, o método seleciona o gesto de maior probabilidade. A Figura 3.5 ilustra os passos para o reconhecimento de gestos.

O método pode ser configurado para reconhecer um gesto a partir de um tamanho mínimo, assim, como realizar ações apenas quando o gesto de maior probabilidade tiver uma precisão mínima de reconhecimento, que pode ser configurada de acordo com o objetivo. Ele pode ser utilizado para diversas finalidades, como pode ser observado nos estudos de caso expostos nos próximos capítulos. Estes estudos de casos utilizam gestos pertencentes ao conjunto exposto na Figura 3.3 para realizar a interação entre o usuário e o *smartwatch*.

3.5 Considerações finais deste capítulo

Este capítulo apresentou o algoritmo de reconhecimento contínuo de gestos que foi utilizado no método desenvolvido para possibilitar o reconhecimento de um gesto antes que ele seja finalizado. Também foi exposto o conjunto de gestos criado para permitir a interação entre o usuário e o *smartwatch*. Os estudos de caso que serão descritos nos próximos capítulos mostram que utilizando o método proposto é possível que o

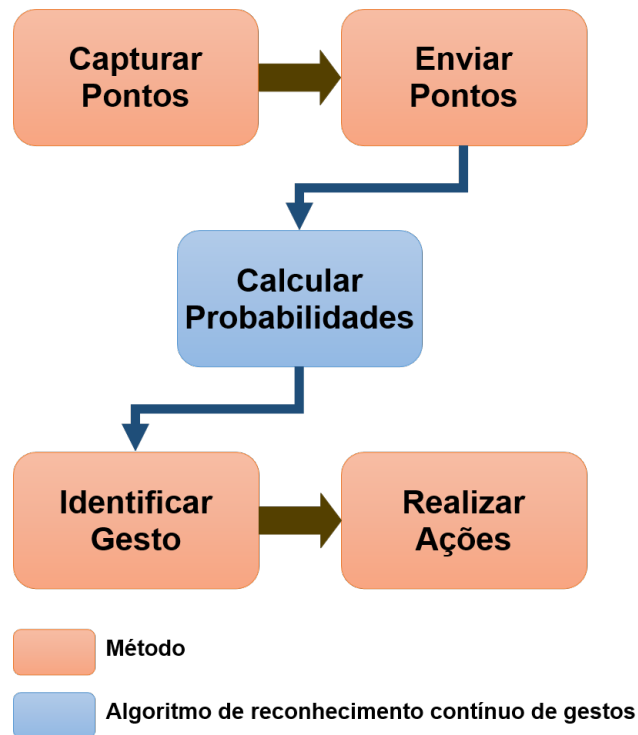


Figura 3.5: Passos para reconhecimento de um gesto e realização de ações.

usuário tenha interação com *smartwatches*, assim, como utilizá-los para interagir com outros dispositivos.

O próximo capítulo apresenta um estudo de caso utilizando o método desenvolvido para realizar a entrada de texto em *smartwatches*, assim como, em ambientes virtuais.

Estudo de Caso: Entrada de Texto em *Smartwatches*

4.1 Introdução

Ainda que haja diversas pesquisas em entrada de texto para os *smartwatches*, por serem pequenos, esta tarefa pode se tornar difícil (Oakley & Lee, 2014a; Dunlop *et al.*, 2014; Bernaerts *et al.*, 2014; Oney *et al.*, 2013; Oakley & Lee, 2014c; Nebeling *et al.*, 2016). Sendo assim, este capítulo discorre sobre um estudo de caso que utiliza o método desenvolvido neste trabalho juntamente com um método para entrada de texto baseado em gestos para dispositivos com telas sensíveis ao toque proposto por Nascimento (2015), para realizar a entrada de texto em *smartwatches*.

Desta forma, é possível inserir uma letra no *smartwatch* sem que o usuário tenha que desenhá-la por completo, utilizando até duas interações. Para isto, utiliza-se o algoritmo de reconhecimento contínuo de gestos e o classificador *Naïve Bayes*.

4.2 Base de gestos

Definiu-se um conjunto de gestos a serem utilizados pelos usuários para inserir as letras como um desenho. Este conjunto é composto por reta vertical, reta horizontal, retas diagonais, circunferência e semicircunferências que pode ser visto na Figura 4.1.

Considerando que o algoritmo de reconhecimento contínuo de gestos precisa identificar onde o gesto é iniciado, para cada gesto exposto na Figura 4.1 são utilizados dois gestos, onde cada gesto inicia em uma extremidade. Porém, o classificador *Naïve Bayes*, descrito na próxima seção, foi treinado para identificar os gestos iniciando pelas duas extremidades como o mesmo.

Com o objetivo de identificar os gestos utilizados para desenhar as letras, Nascimento (2015), realizou um estudo com usuários. O estudo foi realizado com 30 usuários, que realizaram gestos para inserir cada letra do alfabeto, sendo que, por conta de cada usuário ter inserido todas as letras três vezes, cada letra foi inserida 90 vezes no



Figura 4.1: Conjunto de gestos criado para inserção das letras. Adaptado de (Nascimento et al., 2017).

total. Observou-se durante a fase de construção da base de treinamento do classificador que os participantes tinham formas diferentes de desenhar uma letra utilizando os gestos propostos. Com isto, foi possível criar uma base mais ampla e que possa atender o maior número de pessoas possível.

4.3 Classificador *Naïve Bayes*

Nascimento (2015), propôs um classificador *Naïve Bayes* para entrada de texto baseada em gestos. Desta forma, utilizou-se este classificador para identificar as possíveis letras a serem inseridas baseado nos gestos realizados pelos usuários.

Naïve Bayes é um classificador que trabalha com o conceito de probabilidade condicional. Considera os atributos condicionalmente independentes. Apesar disso, é bastante utilizado, possui bons resultados e requer pequena quantidade de dados para treinamento (Chen & Wang, 2012; Zaidi et al., 2013). Seu funcionamento é baseado em classes e para a classificação utiliza probabilidade condicional e o Teorema de Bayes (Chen & Wang, 2012; Taheri et al., 2011).

Considerando que o classificador *Naïve Bayes* trabalha com classes, baseando-se nas características de cada elemento, o classificador calcula a probabilidade deste elemento pertencer a uma determinada classe de seu conjunto de treinamento (Chen & Wang, 2012). O cálculo das probabilidades é realizado utilizando o teorema de Bayes, representado na Equação 4-1:

$$P(C_k|x) = \frac{P(C_k)p(x|C_k)}{P(x)} \quad (4-1)$$

4.3.1 Reconhecimento das letras

Para este classificador cada letra foi definida como uma classe, sendo assim, ao definir a qual classe pertence um ou mais gestos, o classificador estará definindo a letra.

Para cada gesto inserido, é calculada a probabilidade de todas as classes, ou seja, todas as letras e, caso o usuário insira um novo gesto, é realizado um novo cálculo. Esses passos podem ser visualizados na Figura 4.2.

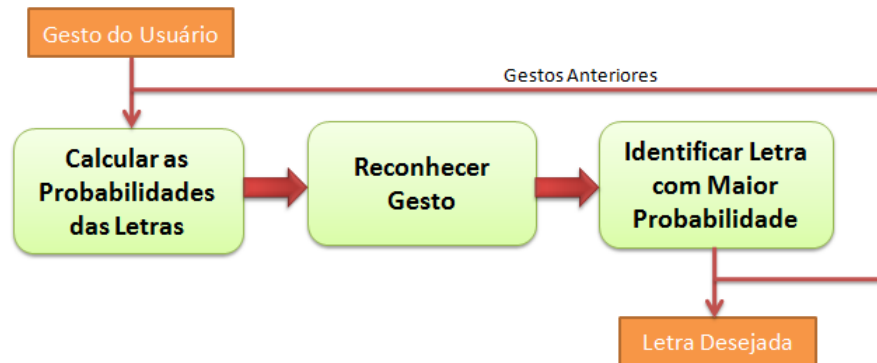


Figura 4.2: Passos para reconhecimento das letras utilizando os gestos realizados. Adaptado de (Nascimento et al., 2017).

O reconhecimento dos gestos é realizado pelo algoritmo de reconhecimento contínuo de gestos com o conjunto de gestos utilizado no treinamento do classificador *Naïve Bayes*, o qual é responsável por calcular as probabilidades de todas as letras quando um novo gesto é realizado.

Utilizando os conceitos de probabilidade e o teorema de Bayes aplicado ao *Naïve Bayes*, pode-se calcular a probabilidade da inserção de uma letra pela fórmula da Equação 4-2,

$$P(C_k|g_1, g_2, \dots, g_n) = P(C_k) \prod_{i=1}^n P(g_i|C_k) \quad (4-2)$$

onde $P(C_k)$ representa a probabilidade a priori da letra e g_1, g_2, \dots, g_n representam os gestos realizados pelo usuário. Já a probabilidade de cada gesto para uma letra é calculada utilizando a Equação 4-3,

$$P(g|C_k) = \frac{P(g)P(C_k|g)}{P(C_k)} \quad (4-3)$$

após a realização dos gestos, presume-se que a letra com maior probabilidade é a desejada pelo usuário.

Após a realização dos gestos, a letra com maior probabilidade é inserida automaticamente para o usuário, entretanto, ele poderá trocar esta letra por outra. Conforme

será exposto na seção 4.4, o protótipo desenvolvido apresenta as cinco letras de maior probabilidade para o usuário.

4.3.2 Probabilidade da letra

O classificador *Naïve Bayes* trabalha com a probabilidade a priori de um elemento. Portanto, a probabilidade a priori da letra $P(C_K)$ foi definida como a frequência de uso da letra em um idioma. Desta forma, as letras mais frequentes possuem maior probabilidade a priori. Entretanto, a probabilidade a priori da letra pode mudar de acordo com o idioma.

Para o português, a probabilidade a priori da letra $P(C_k)$ foi calculada utilizando a frequência de uso das letras na língua portuguesa. Para isto, foi criado um algoritmo que calculou a ocorrência das letras em 3000 artigos científicos, em diversas áreas do conhecimento, e em páginas da Internet na língua portuguesa.

Já para a língua inglesa a priori da letra $P(C_k)$ foi calculada utilizando a frequência de uso das letras na língua inglesa que foi obtida no livro *Cryptological Mathematics* (Lewand, 2000).

Para que o método possa ser utilizado em outros idiomas, é necessário apenas ter a frequência de uso das letras. Desta forma, o método é adaptável ao idioma, adaptando-se às necessidades do usuário.

4.4 Protótipo desenvolvido

Utilizando o método para entrada de texto baseado em gestos exposto na seção anterior, foi desenvolvido um protótipo para *smartwatch* que trabalha seguindo os passos apresentados na Figura 4.2 e sua interface pode ser visualizada na Figura 4.3, que apresenta a interface do aplicativo e os passos para a inserção da palavra "TEXTO".

Este protótipo utiliza o algoritmo de reconhecimento contínuo para reconhecer os gestos e posteriormente utiliza o classificador *Naïve Bayes* para identificar a possível letra a ser inserida.

Para cada gesto realizado, calculada-se a probabilidade de todas as letras e são exibidas as cinco letras com maior probabilidade de serem inseridas, o usuário pode selecionar uma letra ou aguardar 2 segundos para a letra de maior probabilidade ser inserida.

O protótipo foi utilizado para um estudo com usuários descrito na próxima seção.

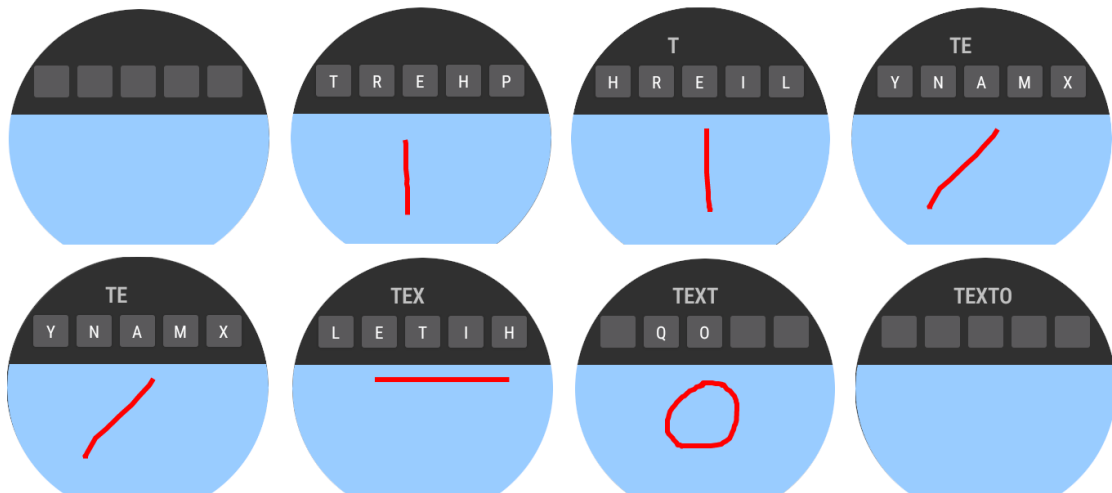


Figura 4.3: Passos para inserção da palavra “TEXTO” no protótipo utilizando reconhecimento contínuo de gestos e o classificador *Naïve Bayes*.

4.5 Estudo com usuários

Os experimentos foram conduzidos com 10 participantes com idade entre 21 e 48 anos com a média de 28 anos. Destes, cinco são alunos da graduação e cinco alunos da pós-graduação e todos estudantes da área de computação. Apenas um possui smartwatch. Um declarou ter experiência regular com *smartwatches* e os outros nove declararam ter pouca ou nenhuma experiência com smartwatch. Dois participantes utilizaram o *smartwatch* na mão direita e os outros na mão esquerda.

Um objetivo deste método é que com no máximo duas interações o usuário possa inserir uma letra, sejam estas interações a realização de um gesto baseando-se no conjunto da Figura 4.1 ou a escolha de uma letra nas opções apresentadas pelo protótipo.

Ao realizar um gesto o aplicativo exibe as cinco letras com maior probabilidade de serem inseridas, o usuário pode selecionar uma letra ou aguardar 2 segundos para a letra de maior probabilidade ser inserida.

Ao realizar um gesto e a letra desejada for a de maior probabilidade, não será necessária outra interação do usuário, pois, a letra será inserida automaticamente, desta forma, haverá apenas uma interação, a do gesto. Mas, se a letra não for a de maior probabilidade e estiver disponível nas outras opções, serão duas interações, uma do gesto e outra da escolha da letra.

Caso o usuário realize um gesto e a letra não esteja nas opções fornecidas, ele poderá realizar um segundo gesto e, se a letra desejada for a primeira opção, ela será inserida automaticamente, assim, serão apenas duas interações também. No entanto, se a letra não for a de maior probabilidade, haverá mais de duas interações.

Com o intuito de validar o classificador e o método de entrada de texto proposto, o protótipo foi instalado nos *smartwatches* *Motorola Moto 360* e *Samsung Gear Live*. Foi

realizado um experimento e não foi exposto aos participantes o propósito de inserir uma letra com até duas interações. Pois, este propósito foi omitido, para que os participantes não fossem influenciados na hora de inserir as letras.

Antes de iniciar o experimento, o protótipo e suas funcionalidades foram expostas aos participantes dos experimentos. O conjunto de gestos disponíveis para serem utilizados que estão demonstrados na Figura 4.1 foi exposto aos participantes e os mesmos puderam observá-los durante todo o experimento. Para realização dos experimentos foi utilizado o protótipo exibido na Figura 4.3.

No experimento, os participantes inseriram as cinco letras mais frequentes da língua inglesa (E, T, A, O, I) e as cinco letras menos frequentes da língua inglesa (Z, Q, X, J, K). Cada participante inseriu estas letras três vezes.

Os resultados destes experimentos poderão ser observados na seção 4.6, que irá expor os resultados desta pesquisa.

4.5.1 Teste de usabilidade e experiência

Com intuito de avaliar a usabilidade e experiência do protótipo desenvolvido, aplicou-se um questionário aos participantes dos experimentos que responderam a afirmativas relacionadas à usabilidade para verificar a eficiência e eficácia do método proposto e questões relacionadas à experiência dos participantes. As afirmativas foram respondidas pelos participantes utilizando a escala de Likert. As afirmativas aplicadas aos participantes foram:

1. A forma de digitar texto é intuitiva.
2. É fácil aprender a utilizar a técnica, ou seja, foi fácil inserir as primeiras letras.
3. Depois do tempo de aprendizagem (após ter inserido algumas letras), foi fácil e rápido inserir as letras.
4. A técnica não apresenta problemas na identificação de letras.
5. É agradável digitar texto utilizando a técnica proposta.
6. Eu utilizaria esta técnica se tivesse um smartwatch.
7. Foi agradável inserir as letras utilizando esta técnica.

A próxima seção irá discorrer sobre os resultados do teste de usabilidade e experiência.

4.6 Resultados

O protótipo foi utilizado para a validação do método proposto e a realização de um teste de usabilidade e experiência proposto com participantes. O teste foi projetado

para validar a implementação do classificador *Naïve Bayes* e o método de entrada de texto proposto.

É preciso lembrar que um objetivo específico deste trabalho é inserir uma letra com até duas interações, levando-se em conta para isso que uma interação pode ser a realização de um gesto ou a escolha de uma letra nas opções apresentadas.

Sendo assim, o estudo com usuários, bem como, os testes de usabilidade e experiência mostram que é possível que com no máximo duas interações o usuário a possa inserir uma letra, sejam estas interações realização de um gesto ou escolha de uma letra.

A Tabela 4.1, apresenta o percentual da quantidade de interações que os participantes utilizaram para inserir das letras mais frequentes e menos frequentes da língua inglesa.

Tabela 4.1: Percentual da quantidade de interações utilizadas para inserir as letras mais frequentes e menos frequentes. Adaptado de (Nascimento et al., 2017).

Interações	Mais Frequentes (%)	Menos Frequentes (%)
1	28,00%	0,00%
2	68,00%	77,78%
3	4,00%	22,22%

É possível observar que para as letras mais frequentes, os participantes utilizaram mais de duas interações em apenas 4% das letras, logo, 96% das letras foram inseridas com até duas interações. Já para as letras menos frequentes, observa-se que os participantes inseriram 77,78% das letras utilizando duas interações.

A taxa de acerto dos participantes para inserir as letras pode ser visualizada na Tabela 4.2. É possível verificar que a taxa de acerto foi de 100% para todas letras, exceto, as letras J e K.

Tabela 4.2: Taxa de acerto dos participantes para as letras mais frequentes e menos frequentes. Adaptado de (Nascimento et al., 2017).

Mais Frequentes		Menos Frequentes	
Letra	%	Letra	%
E	100,00%	Z	100,00%
T	100,00%	Q	100,00%
A	100,00%	X	100,00%
O	100,00%	J	85,71%
I	100,00%	K	90,00%
Média	100,00%	Média	95,14%

Contudo, a média de acerto foi de 100% para as letras mais frequentes e de 95,14% para as letras menos frequentes. Estes dados permitem dizer que o protótipo demonstra-se eficiente em relação ao acerto das classificações.

A Tabela 4.3 apresenta a média de interações utilizadas pelos participantes para inserir cada letra. Observa-se nesta tabela que foram utilizadas 1,8 interações em média para inserir uma letra das letras mais frequentes da língua inglesa. Observa-se também que foram utilizadas 2,1 interações em média para inserir uma letra menos frequente. Assim, é possível afirmar que o protótipo possui potencial para inserir uma letra utilizando no máximo duas interações.

Tabela 4.3: Média de Interações utilizadas pelos participantes para inserir as letras. Adaptado de (Nascimento et al., 2017).

Mais Frequentes		Menos Frequentes	
Letra	%	Letra	%
E	2,0	Z	2,3
T	2,2	Q	2,0
A	1,4	X	2,1
O	1,2	J	1,9
I	2,0	K	2,0%
Média	1,8	Média	2,1

Foi possível observar também que o *smartwatch Samsung Gear Live* apresentou um atraso para identificar a letra após a realização dos gestos. Já o *Motorola Moto 360* obteve um desempenho melhor e não apresentou atrasos para identificação das letras.

Como é possível observar na Figura 4.4 a maioria dos participantes marcaram a opção concordo totalmente ou concordo para todas as afirmativas. Com isto, é possível verificar que o protótipo atinge seu objetivo de permitir a entrada de texto com até duas interações com eficiência e eficácia e que os usuários tiveram uma boa experiência ao utilizá-lo.

Ressalta-se ainda que o classificador criado é independente de idioma, assim, ele pode ser utilizado em diversos idiomas, para isto, basta que se utilize a frequência de ocorrência das letras no idioma desejado, permitindo assim, utilizar o protótipo desenvolvido em diversos países.

4.7 Entrada de texto em ambientes virtuais

Esta seção apresenta um estudo de caso sobre entrada de texto baseado em gestos para ambientes virtuais, utilizando *smartwatches* e o *Google Cardboard*. De forma que seja possível inserir uma letra sem que o usuário tenha que desenhá-la por completo e que o usuário não precise olhar diretamente para o *smartwatch*.

Para isto, criou-se uma interface de comunicação entre o *smartwatch* e o *Google Cardboard*. O *smartwatch* utiliza o método com reconhecimento contínuo de gestos e o classificador *Naïve Bayes* descrito na seção anterior e se comunica com o ambiente

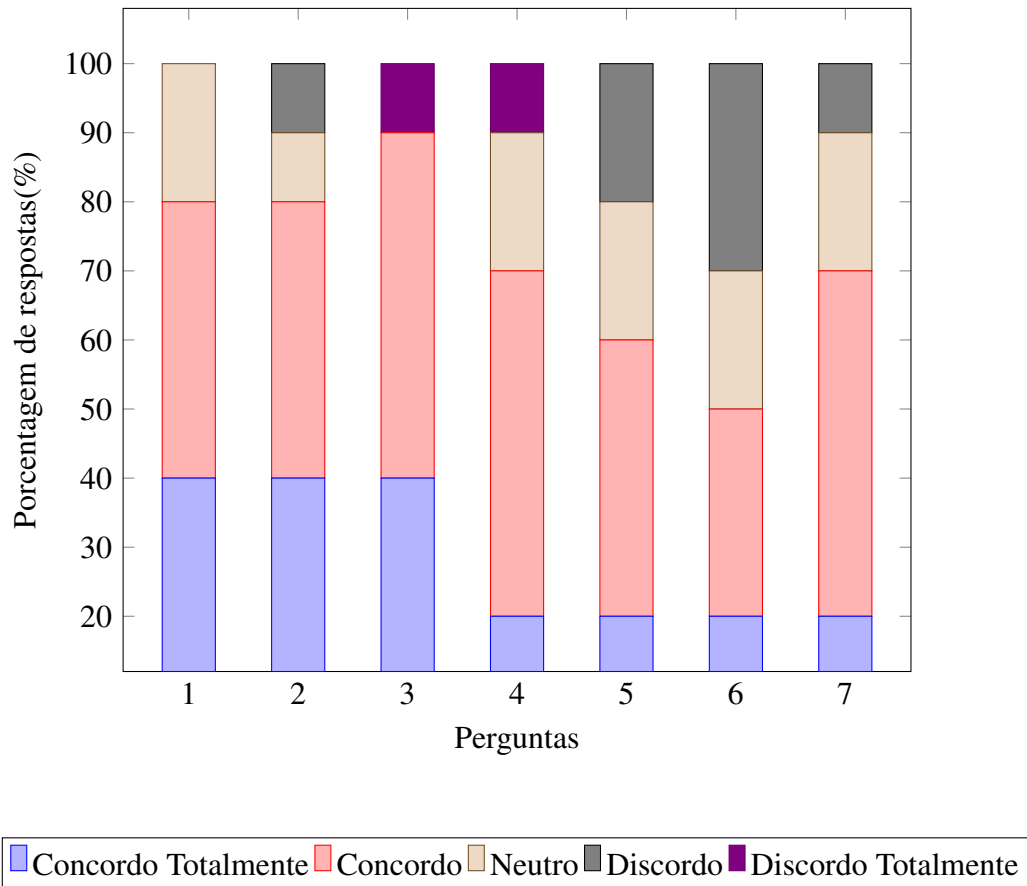


Figura 4.4: Respostas dos participantes do experimento para o questionário aplicado. Adaptado de (Nascimento et al., 2017).

virtual proporcionado pelo *Google Cardboard* utilizando a interface de comunicação desenvolvida.

Desta forma, o método possui potencial para permitir a inserção de uma letra em um ambiente virtual com no máximo duas interações sem que o usuário precise olhar para o *smartwatch*, pois, o método apresentado no capítulo anterior permite a inserção de uma letra com no máximo duas interações.

4.7.1 Google Cardboard

O *Google Cardboard* é uma plataforma de Realidade Virtual de baixo custo que utiliza um *smartphone* e um suporte normalmente o material utilizado é o papelão, mas, há como desenvolver um modelo do mesmo utilizando uma impressora 3D (Yoo & Parker, 2015; Patterson, 2017).

Os aplicativos desenvolvidos para o *Google Cardboard* podem se comunicar com dispositivos móveis ou com a Web (Yoo & Parker, 2015; Fabola et al., 2015).

A ferramenta *Google Cardboard* é utilizada como plataforma de realidade virtual neste trabalho, entretanto, a técnica pode ser implementada em outras ferramentas. Ele

proporciona uma interface que permite ao usuário visualizar em tempo real o gesto que está executando no *smartwatch*. Permite também que o usuário visualize os gestos que já realizou, mostra as letras de maior probabilidades e as letras já inseridas.

4.7.2 Protótipo desenvolvido

Desenvolveu-se protótipo que trabalha seguindo os passos apresentados na Figura 4.2 e suas interfaces podem ser visualizada nas Figuras 4.5 e 4.6. A Figura 4.5 mostra a interface do aplicativo executando no *smartwatch* e os passos para a inserção da palavra “VIRTUAL”. Já a Figura 4.6, apresenta a interface no ambiente virtual que apresenta as letras inseridas, bem como, a visualização dos gestos que são realizados.



Figura 4.5: Passos para inserção da palavra “VIRTUAL” no *smartwatch* utilizando o protótipo desenvolvido.

Foram utilizados o *smartwatch* Motorola Moto 360 e o *smartphone* Motorola Moto G 3ª Geração para o desenvolvimento deste protótipo.

Este protótipo utiliza o algoritmo de reconhecimento contínuo de gestos e posteriormente utiliza o classificador *Naïve Bayes* para identificar a possível letra a ser inserida. Todo gesto realizado no *smartwatch* é exibido em tempo real no ambiente virtual por esta interface, assim como, as letras já inseridas, os gestos realizados e as letras com maior probabilidade.

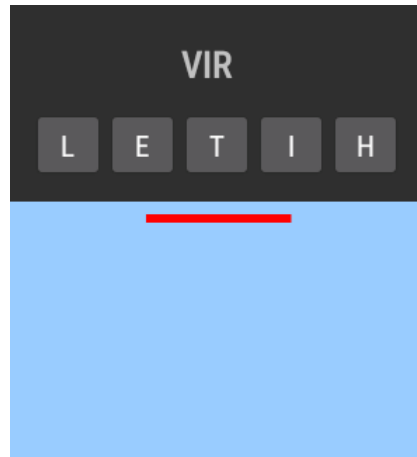


Figura 4.6: Interface do protótipo executando no *Google Cardboard*.

4.8 Considerações finais deste capítulo

Este capítulo apresentou um estudo de caso com entrada de texto em *smartwatches* utilizando o método de interação desenvolvido. O método foi utilizado para realizar a entrada de texto em *smartwatches* e em ambientes virtuais utilizando *smartwatches*. Os testes mostraram que é possível realizar a entrada de texto utilizando até duas interações, sendo uma interação a realização de um gesto ou a escolha de uma letra nas opções apresentadas.

O próximo capítulo apresenta um estudo de caso utilizando o método desenvolvido para interagir com jogos de plataforma.

Estudo de Caso: Interação com Jogos de Plataforma

5.1 Introdução

Os jogos de plataforma são jogos antigos, mas, devido à popularização dos emuladores, eles podem ser executados em diversas plataformas, como por exemplo, o PC e o *Raspberry PI 3* (Baldauf *et al.*, 2015).

O jogo Super Mario World foi lançado no ano de 1990 para o console Super Nintendo (SNES), contudo, seu sucesso foi grande que mesmo após vários anos ainda é um jogo bastante difundido.

Recentemente, pesquisas estão sendo desenvolvidas sobre o uso de smartphones e *smartwatches* para controlar jogos e para coletar dados da forma com que as pessoas estão jogando (Birke *et al.*, 2012; Jacob *et al.*, 2014; Joselli *et al.*, 2012; Joshi *et al.*, 2012; Park *et al.*, 2014).

Várias pesquisas também são desenvolvidas para coletar dados de jogadores de jogos de plataforma, como por exemplo, o famoso jogo Super Mario World. Da mesma forma, são desenvolvidas pesquisas que criam técnicas de Inteligência Artificial (AI) para jogarem este mesmo jogo (Baldauf *et al.*, 2015; Hou *et al.*, 2011; Kurihara, 2015; Sørensen *et al.*, 2016; Zafar & Mujtaba, 2012).

Devido à popularidade do jogo Super Mario World e da crescente utilização dos *smartwatches*, esta seção apresenta o estudo de caso utilizando o método descrito no capítulo 3 para interagir com o jogos de plataforma utilizando *smartwatches*. O jogo "Super Mario World" será utilizado neste estudo de caso. Para isto, será necessário: relacionar cada gesto a uma ação no jogo de modo intuitivo, enviar a ação ao jogo e por fim, executá-la no jogo. A comunicação entre o *smartwatch* e o jogo é realizada com rede sem fio.

5.2 Protótipo

Nesse contexto, baseando-se no conjunto de gestos exposto na Figura 3.3, foi definido um conjunto de gestos que permitem a interação do jogador com o jogo. Assim, o jogador pode interagir com o jogo utilizando gestos simples e intuitivos. A Figura 5.1, apresenta os gestos e suas respectivas ações no jogo Super Mario World.

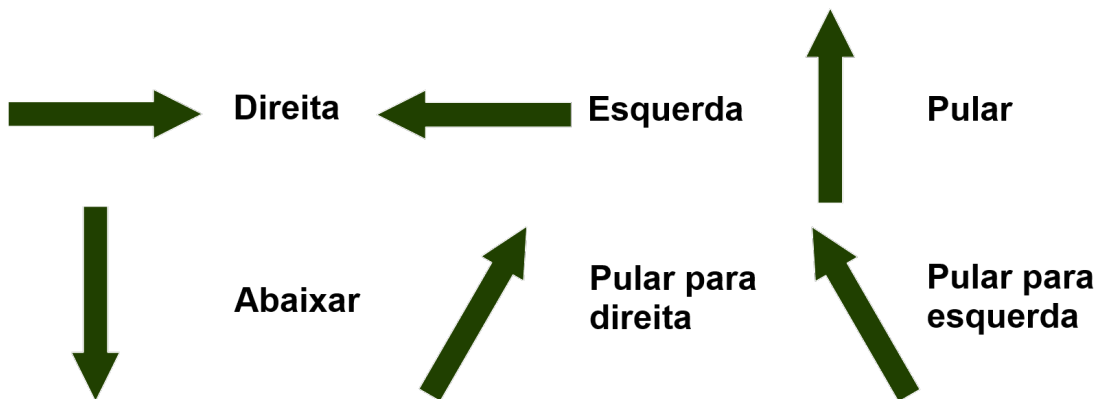


Figura 5.1: Conjunto de gestos e suas respectivas ações no jogo Super Mario World. Adaptado de (Nascimento et al., 2018).

As setas nas extremidades dos gestos apresentados na Figura 5.1 representam o sentido do gesto. Deve-se ressaltar que dois gestos podem possuir a mesma representação gráfica, mas, serem diferentes dependendo de seu início e fim, como os gestos **direita** e **esquerda** por exemplo. Como pode ser observado na Figura 5.1, todos os gestos representam uma reta.

Sendo assim, desenvolveu-se um protótipo que possui um aplicativo para *smartwatches* que comunica-se com a plataforma de emulação utilizando *sockets* em uma rede sem fio local. O aplicativo será detalhado na próxima seção.

5.2.1 Aplicativo para smartwatch

Desenvolveu-se um aplicativo para *smartwatch* que permite a um jogador controlar o jogo Super Mario World. A interação do jogador com o *smartwatch* é realizada com gestos, utilizando o método exposto no capítulo 3.

Como o reconhecimento de gestos é contínuo, não é necessário que o jogador finalize o gesto para que este seja reconhecido. Sendo assim, O aplicativo foi projetado para enviar a ação ao jogo quando o jogador realizar um gesto de pelo menos 2cm e com a precisão de reconhecimento mínima de 80%.

O aplicativo para *smartwatch* foi desenvolvido para o sistema *Android Wear* e utiliza o conjunto de gestos exposta na Figura 5.1 para que o jogador envie as ações ao

jogo. A Figura 5.2 apresenta a interface do aplicativo para *smartwatch* executando em *smartwatches* com telas quadrada e redonda, respectivamente.

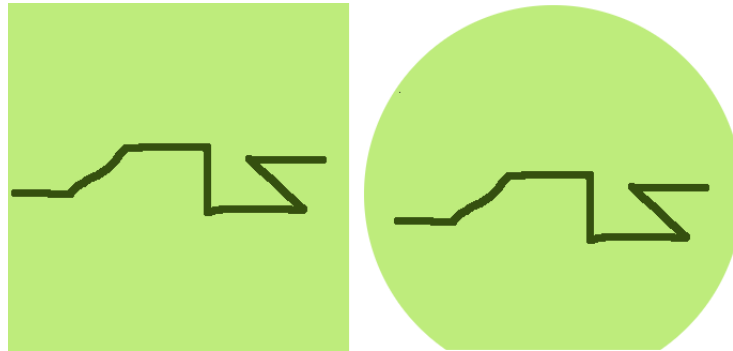


Figura 5.2: Interface do aplicativo em smartwatches com telas quadrada e redonda, ambos executando a sequência de ações: direita, pular para direita, direita, abaixar, direita, pular para esquerda e direita (Nascimento *et al.*, 2018).

Assim, quando o jogador realiza um gesto, o primeiro passo é reconhecê-lo com o algoritmo de reconhecimento contínuo de gestos. Em sequência, identifica-se a ação que ele representa. Cada gesto possui uma ação no jogo correspondente a ele, como pode ser observado na Figura 5.1.

A ação é enviada pelo aplicativo à plataforma de emulação no *Raspberry PI 3* que utilizando uma rede sem fio local. O serviço da plataforma de emulação que simula as ações no teclado recebe os dados e os envia para o emulador que está executando o jogo Super Mario World. Os passos desde a realização do gesto pelo jogador até sua execução no jogo estão ilustrados na Figura 5.3.

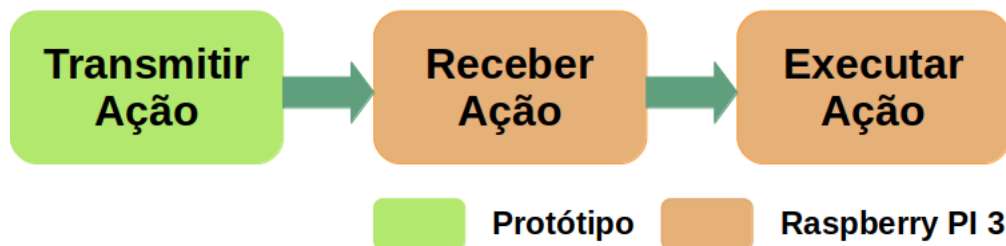


Figura 5.3: Passos para enviar ação ao jogo à partir do gesto realizado pelo jogador. Adaptado de (Nascimento *et al.*, 2018).

5.2.2 Plataforma de emulação

O Sistema Operacional (OS) utilizado foi o Ubuntu executando no *Raspberry PI 3 Model B*.

O *Raspberry PI 3 Model B* é um mini computador e possui o tamanho de um cartão de crédito. Possui um processador Quad-core de 1.2 GHz, 1 GB RAM e possui

conectividade Wirelles, Bluetooth. Desta forma, é possível instalar emuladores de vários consoles. Além disso, ele possui baixo custo, o preço oficial quando foi lançado foi de \$35,00 ou £29,99.

Utilizou-se um emulador do console Super Nintendo (SNES), que é responsável por executar o jogo. Portanto, é necessário enviar comandos ao emulador para que ele execute as ações.

Uma das formas de interagir com um emulador é utilizar o teclado. Sendo assim, foi desenvolvido um serviço utilizando a tecnologia Java que simula as ações de pressionar e soltar teclas do teclado.

O aplicativo envia dados e o *Raspberry PI 3* com a plataforma de emulação apenas recebe. A comunicação é realizada por *sockets*. Os dados enviados são códigos que representam ações no jogo. Um código é representado número inteiro, desta forma, apenas um número inteiro é enviado pela WLAN, permitindo assim que não haja atraso na transmissão. A Figura 5.4 demonstra este processo.



Figura 5.4: Comunicação entre o aplicativo para *smartwatch* e o *Raspberry PI 3*.

Como o serviço desenvolvido simula as ações de pressionar e soltar teclas, ele pode ser utilizado em diversos emuladores, logo, o método desenvolvido poderá ser utilizado para controlar jogos de diversos consoles, desde os mais antigos como o NES até os mais novos que já possuem emulador como o Playstation 3, Playstation 4 e Xbox One, por exemplo.

5.3 Detecção de mudança de gestos

Utilizando o método exposto no capítulo 3, foi possível realizar a interação, após a realização de um gesto, a ação que ele representa é executada no jogo até que o jogador retire o dedo da tela. Contudo, é preciso que o jogador retire o dedo da tela antes de iniciar um novo gesto.

Para solucionar este problema, foi desenvolvida uma técnica que permite que o jogador inicie um novo gesto sem retirar o dedo tela. Com isto, após o reconhecimento do gesto a ação que ele representa é executada no jogo até que o jogador faça um movimento novo ou retire o dedo da tela.

Caso o jogador retire o dedo da tela, todas as teclas que estão pressionadas serão liberadas. Contudo, se o jogador iniciar um novo gesto, todas as teclas pressionadas

atualmente serão liberadas e as teclas referentes àquele gesto serão pressionadas. Para isto, verifica-se constantemente o gesto que o jogador está realizando, caso seja identificado o início de um novo gesto esta ação acontece. Como demonstra a Figura 5.5.

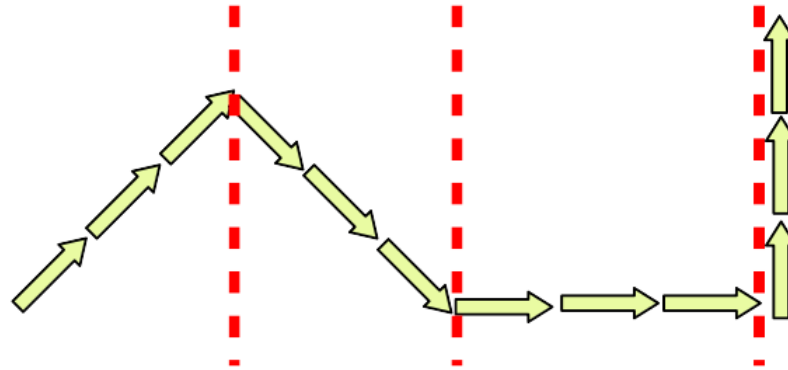


Figura 5.5: Ponto de detecção da mudança de gesto realizado pelo jogador (Nascimento et al., 2018).

Pode-se observar na Figura 5.5 que um gesto é representado por várias setas, cada seta representa o reconhecimento de um gesto. Após o gesto ser reconhecido, seus pontos anteriores são descartados, por isso, ao reconhecer um novo gesto o método considera apenas os movimentos realizados após o último reconhecimento. Também é possível verificar na Figura 5.5 uma reta pontilhada na cor vermelha, esta reta representa o início de um novo gesto.

Ressalta-se que esta técnica pode ser utilizada quando os gestos realizados em sequência são retas.

Após o jogador retirar o dedo da tela, os gestos realizados são apagados da tela presente na tela é apagado, assim, quando o jogador iniciar um novo gesto, apenas ele será exposto pela interface do aplicativo.

O protótipo desenvolvido foi utilizado para a realização de um experimento com jogadores, explanado na próxima seção.

5.4 Comandos especiais

Há outras ações que um jogador pode enviar ao jogo Super Mario World além dos expostos na Figura 5.1. Por exemplo, além de andar para direita ou esquerda, o jogador pode correr à direita e à esquerda. Sendo assim, utilizou-se uma técnica que verifica a pressão aplicada na tela pelo jogador para permitir o envio dos comandos de correr à direita ou esquerda.

À medida que o jogador aumenta a pressão do dedo, o tamanho da área que ele pressiona também aumenta. Desta forma, quando o jogador realizar um movimento

direita ou **esquerda** e aumentar a pressão na tela, os movimentos serão modificados para **correr para direita** e **correr para esquerda**, respectivamente.

A Figura 5.6 representa a pressão exercida pelo jogador na tela do smartwatch, pode-se observar nesta figura que as menores pressões estão representadas pela cor amarela e as maiores pressões pela cor vermelha, bem como as pressões intermediárias pela cor laranja.



Figura 5.6: Representação gráfica da pressão exercida pelo jogador na tela do smartwatch (Nascimento *et al.*, 2018).

Como os dedos das pessoas possuem diversos tamanhos e cada pessoa pode fazer diferentes tipos de pressão na tela. Ao iniciar o aplicativo o jogador realiza uma calibração do sistema, onde dele realiza os gestos para as ações **direita** e **esquerda**, bem como para as ações **correr para direita** e **correr para esquerda**.

Com isto, pode-se definir a diferença de pressão que o jogador aplica sobre a tela para realizar as ações **direita** e **esquerda** para a pressão aplicada às ações **correr para direita** e **correr para esquerda**.

5.5 Paralelização do reconhecimento de gestos

Para o algoritmo de reconhecimento contínuo de gestos, cada gesto representa um padrão a ser reconhecido.

O algoritmo de reconhecimento contínuo de gestos calcula a probabilidade do gesto que está sendo realizado pertencer a todos os padrões de seu conjunto. Portanto, o tempo para calcular as probabilidades depende da quantidade de padrões. Estes cálculos são feitos sequencialmente, ou seja, calcula-se a probabilidade de um padrão por vez utilizando uma estrutura de repetição.

Como o método proposto propõe controlar jogos utilizando gestos, é necessário que o reconhecimento seja rápido e eficiente.

Considerando que a probabilidade de um gesto pertencer a um padrão não depende da probabilidade de outro padrão, desenvolveu-se uma técnica que cria uma *thread* para cada calcular a probabilidade de cada padrão. Desta forma, foi possível reduzir o tempo necessário para reconhecer um gesto e aproveitar melhor os recursos do smartwatch.

Utilizando a paralelização da etapa de reconhecimento dos gestos, foi possível reduzir o tempo de reconhecimento seja em até 4 vezes. A seção 5.7 irá mostrar que o tempo para que uma ação seja realizada no jogo utilizando a paralelização foi em média

80ms. Contudo, sem a paralelização o tempo necessário foi em média 350ms o que pode prejudicar a experiência do jogador.

5.6 Estudo com usuários

O experimento foi conduzido com 20 participantes com idade entre 16 e 40 anos com a média de 24 anos. Durante o experimento, quatro participantes utilizaram o *smartwatch* na mão direita e os outros participantes na mão esquerda.

Com o objetivo de validar o método desenvolvido o aplicativo foi instalado no *Motorola Moto 360* e no *Asus ZenWatch 2*.

Antes de iniciar o experimento, o protótipo e suas funcionalidades foram expostas aos participantes do experimento. O conjunto de gestos disponíveis para serem utilizados que estão demonstrados na Figura 5.1 foi exposto aos participantes e os mesmos puderam observá-los durante todo o experimento. Para realização do experimento foi utilizado o protótipo com o aplicativo exibido na Figura 5.2.

No experimento, os participantes jogaram o jogo *Super Mario World* durante 20 minutos. Sendo assim, o experimento proporcionou um total de 400 minutos de experiência com o método proposto.

Os resultados deste experimento podem ser observados na seção 5.7, que irá expor os resultados desta pesquisa.

5.6.1 Teste de usabilidade e experiência

Com intuito de avaliar a usabilidade e experiência do protótipo desenvolvido, aplicou-se um questionário aos participantes do experimento que responderam a afirmativas relacionadas à usabilidade e experiência para verificar a eficiência e eficácia do método proposto e questões relacionadas à experiência dos participantes.

As afirmativas foram respondidas pelos participantes utilizando a escala de Likert. As afirmativas aplicadas aos participantes foram:

1. O método proposto é intuitivo.
2. Foi fácil controlar o jogo nos primeiros minutos utilizando o protótipo.
3. Após alguns minutos utilizando o protótipo você se sentiu familiarizado.
4. Todas as ações são enviadas de maneira correta ao jogo.
5. As ações são executadas de forma rápida e satisfatória no jogo.
6. É agradável controlar o jogo com o método proposto.
7. Eu utilizaria o método proposto para jogar no meu cotidiano.

Para verificar a experiência e usabilidade dos usuários em relação aos comandos especiais para as ações **correr para direita** e **correr para esquerda**, aplicou-se o seguinte questionário:

1. As ações **correr para direita** e **correr para esquerda** são fáceis de executar.
2. As ações **correr para direita** e **correr para esquerda** são executadas com precisão no jogo.
3. As ações **correr para direita** e **correr para esquerda** são executadas de forma rápida e satisfatória no jogo.
4. A técnica de aumentar a pressão na tela para executar as ações **correr para direita** e **correr para esquerda** é apropriada.

A próxima seção irá discorrer sobre os teste de usabilidade e experiência.

5.7 Resultados

O protótipo foi utilizado para a validação do método proposto e a realização de um teste de usabilidade e experiência proposto com participantes. O teste foi projetado para validar a implementação da plataforma de emulação desenvolvida, bem como, o funcionamento do protótipo.

É preciso lembrar que o objetivo deste método é permitir que um jogador controle jogos de plataforma à partir de seu *smartwatch* utilizando gestos. E realiza um estudo de caso com o jogo Super Mario World.

A Figura 5.7 mostra as respostas dos participantes do experimento para as afirmativas do primeiro questionário, relativo ao teste de usabilidade e experiência dos usuários com o método proposto.

Pode-se observar no item 1 da Figura 5.7 que todos os participantes afirmaram que o método é intuitivo, pois, 80% marcou a opção concordo totalmente e 20% a opção concordo. Em relação à aprendizagem do método, pode-se observar no item 2 da Figura 5.7 que ele possui fácil aprendizagem, pois, 100% dos participantes marcaram a opção concordo totalmente.

Verificando as respostas do item 3, observa-se que verifica-se que 85% dos participantes afirmaram ser fácil e rápido controlar o jogo com o método desenvolvido. As respostas dos participantes para o item 4 do questionário mostram que todos os participantes afirmaram que as ações são enviadas de forma correta ao jogo.

O item 5 do questionário se refere ao tempo de resposta do sistema, pode-se observar na Figura 5.7 que todos os participantes do experimento afirmaram que as ações foram enviadas rapidamente ao jogo. E durante os testes, observou-se que o tempo de

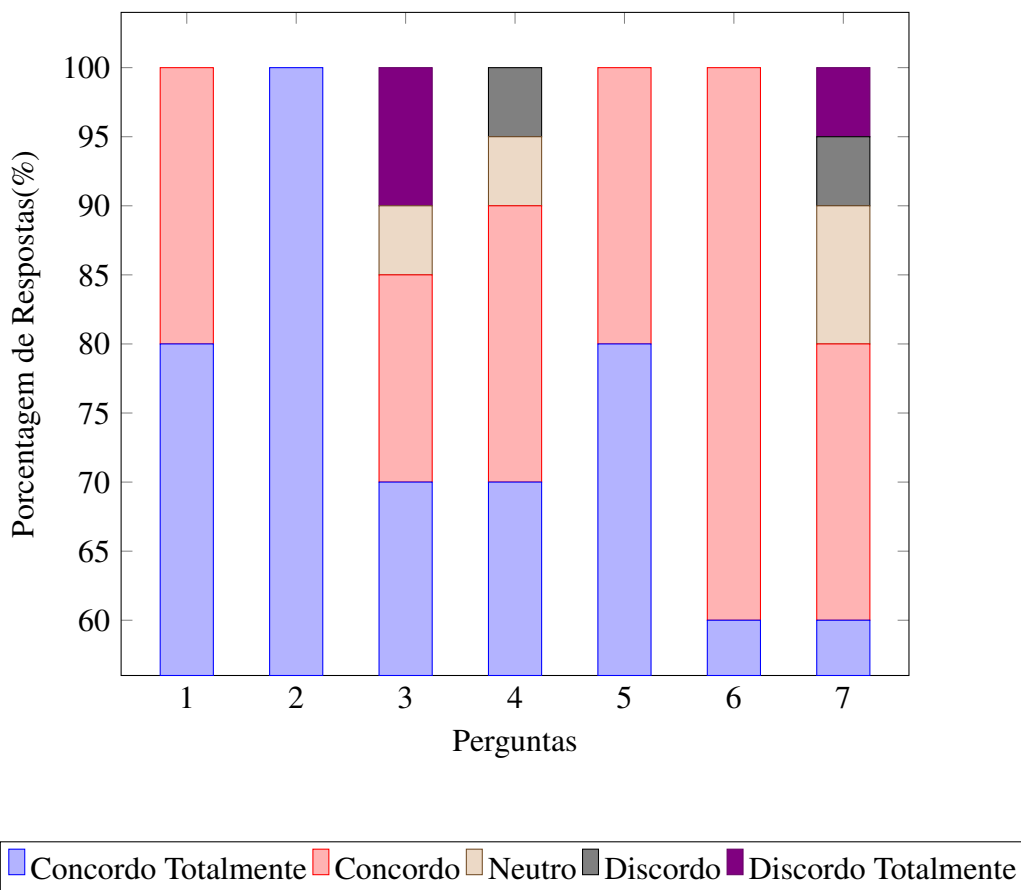


Figura 5.7: Respostas dos participantes do experimento para o questionário de usabilidade e experiência aplicado. Adaptado de (Nascimento et al., 2018).

para executar uma ação no jogo após ela ser realizada pelo jogador foi em média 80ms, permitindo assim uma boa experiência e um feedback rápido aos jogadores.

O *feedback* rápido, é possível, pois, utiliza o algoritmo de reconhecimento contínuo de gestos, sendo assim, não é necessário terminar um gesto para que ele seja reconhecido. Outro fator para um rápido feedback foi a técnica desenvolvida para paralelização do cálculo das probabilidades na etapa de reconhecimento dos gestos, que reduziu o tempo para a execução de uma ação no jogo de 350ms para 80ms.

Pode-se observar também que os participantes afirmaram ser agradável utilizar o método proposto e o utilizaria em seu cotidiano, como demonstra os itens 6 e 7 da Figura 5.7. Observa-se na Figura 5.7, que a maioria dos participantes marcaram a opção concordo totalmente ou concordo para todas as afirmativas. Com isto, é possível verificar que o método desenvolvido possui potencial para ser utilizado para controlar jogos.

A Figura 5.8 mostra as respostas dos participantes em relação à sua experiências com os comandos especiais para as ações **correr para direita** e **correr para esquerda**.

As respostas dos participantes do experimento demonstram em geral que eles obtiveram uma boa experiência com a técnica para executar as ações **correr para direita**

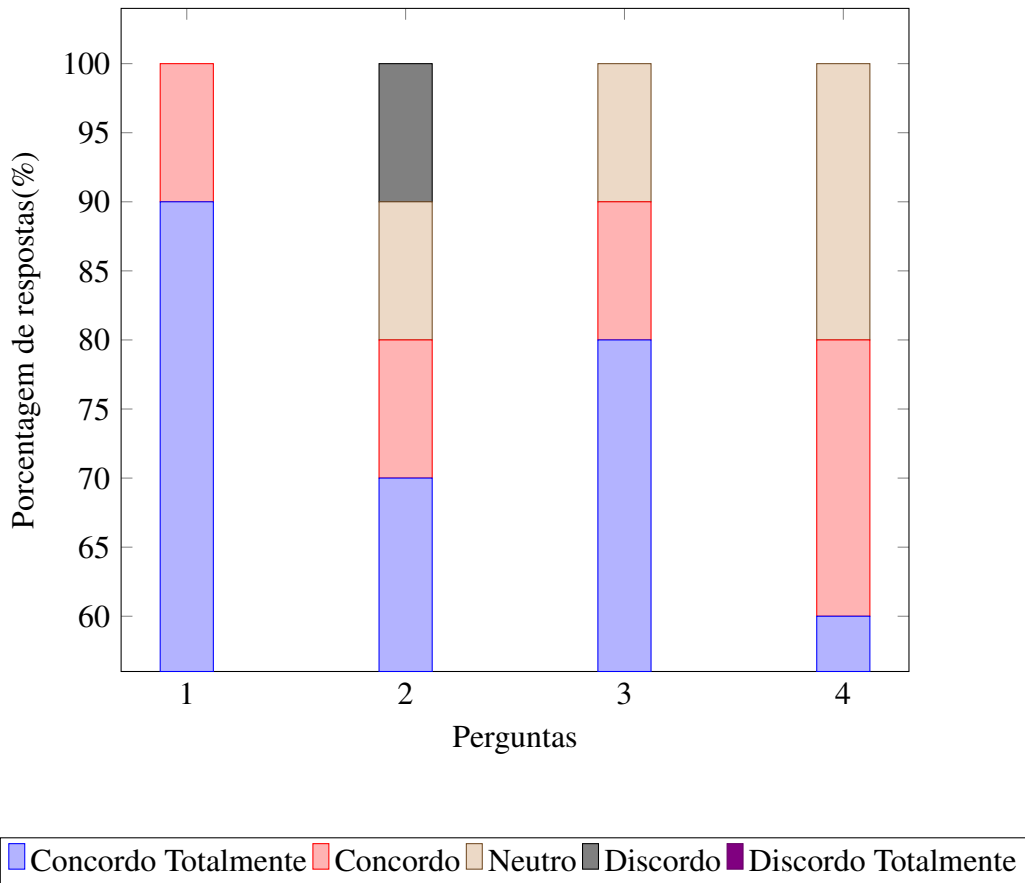


Figura 5.8: Respostas dos participantes do experimento para o questionário aplicado sobre a usabilidade e experiência com a execução das ações **correr para direita** e **correr para esquerda**. Adaptado de (Nascimento et al., 2018).

e **correr para esquerda**, como pode ser observado na Figura 5.8. Pode-se observar nos item 1 da Figura 5.8 que todos os participantes afirmaram que as ações **correr para direita** e **correr para esquerda** são fáceis de ser executadas, pois 90% marcou a opção concordo totalmente e 10% a opção concordo.

Observando as respostas dos participantes para o item 2, pode-se concluir que as ações **correr para direita** e **correr para esquerda** foram enviadas com precisão ao jogo. As respostas do item 3 da Figura 5.8 indicam que as ações foram enviadas ao jogo rapidamente. Já as respostas para o item 4 mostram que 80% dos usuários afirmaram que a técnica de aumentar a pressão na tela é apropriada para executar as ações **correr para direita** e **correr para esquerda**.

Desta forma, é possível concluir que a técnica de aumentar a pressão na tela para enviar as ações **correr para direita** e **correr para esquerda** foram bem aceitas pelos participantes do experimento, bem como todo o método. Foi possível observar durante a realização do experimento que os participantes moviam o *smartwatch* no mesmo sentido em que realizam os gestos.

Como foi citado acima, a ação foi executada no jogo em média 80ms após a

realização do gesto pelo usuário. Durante o experimento, observou-se que o *smartwatch* *Motorola Moto 360* obteve desempenho inferior ao *Asus ZenWatch 2*, contudo, nossos testes demonstram que isto foi imperceptível aos jogadores.

5.8 Considerações finais deste capítulo

Este capítulo expôs um estudo de caso que utiliza o método desenvolvido para interagir com jogos de plataforma utilizando *smartwatches* e reconhecimento contínuo de gestos. O estudo de caso foi realizado com o jogo “Super Mario World”.

Para uma melhor experiência, foi desenvolvida uma técnica que permite ao jogador mudar o gesto que está realizando sem precisar retirar o dedo da tela ou realizar alguma ação específica, permitindo assim, que o jogador realize vários gestos e em sequência. Outra técnica desenvolvida foi verificar a pressão exercida na tela pelo jogador para um gesto possa representar mais de uma ação no jogo. Para tornar o reconhecimento dos gestos mais rápido, criou-se uma técnica que permite paralelizar a etapa de cálculo das probabilidades de que o gesto que está sendo realizado seja um modulo do conjunto de gestos.

O próximo capítulo apresenta um estudo de caso que utiliza o método desenvolvido para interagir com reprodutores de vídeo e filmes interativos.

Estudo de Caso: Interação com Reprodutores de Vídeo e Filmes Interativos

6.1 Introdução

Este capítulo apresenta um estudo de caso que utiliza o método desenvolvido para interagir com reprodutores de vídeo e filmes interativos. O reprodutor de vídeo de Netflix e o primeiro filme interativo para adultos da Netflix “Black Mirror: Bandersnatch” foram utilizados como estudos de caso.

6.2 Interação com reprodutores de vídeo

Os serviços de streaming existem há alguns anos, contudo, nos últimos anos eles ganharam mais espaço e estão presente na vida de diversas pessoas e em diferentes dispositivos (Li *et al.*, 2018b). Combinando os quatro maiores serviços adaptativos de streaming sob demanda Netflix, Youtube, Amazon Video e Hulu contribuem com 55% do tráfego da Internet (Guo *et al.*, 2018).

A Netflix é um serviço de assinatura que fornece filmes e séries via streaming presente em diversos países com milhões de usuários (Ruiz-Navas & Miyazaki, 2017; Summers *et al.*, 2016).

Devido à popularidade da Netflix e do crescente uso de *smartwatches*, realizou-se um estudo de caso que utiliza o método desenvolvido para interagir com reprodutor da Netflix utilizando *smartwatches*. Para isto foi necessário especificamente: reconhecer gestos, relacionar cada gesto a uma ação no Netflix de modo intuitivo, enviar a ação e executá-la no Netflix.

Desta forma, apresenta-se nesta seção, os resultados do estudo de caso utilizando *smartwatches* e reconhecimento contínuo de gestos para interagir com o reprodutor da Netflix.

6.2.1 Protótipo

Desenvolveu-se um protótipo que permite ao usuário interagir com o reprodutor da Netflix utilizando o *smartwatch*. Utilizando este protótipo, o usuário pode pausar, continuar, retroceder, avançar, aumentar e diminuir o volume do reprodutor da Netflix utilizando gestos semelhantes aos ícones tradicionais para estas tarefas. No protótipo, cada gesto representa uma ação a ser executada no reprodutor da Netflix. A Figura 6.1 mostra os gestos e suas respectivas ações no Netflix.

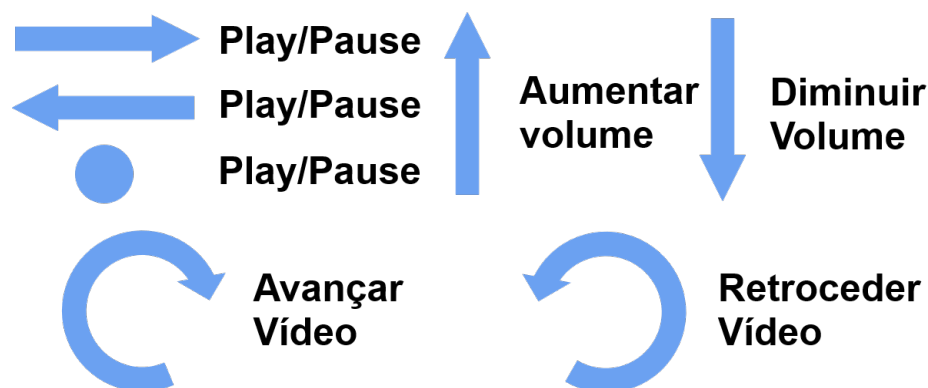


Figura 6.1: Conjunto de gestos e suas respectivas ações no reprodutor da Netflix. Adaptado de (Nascimento et al., 2019).

O protótipo desenvolvido utiliza o método exposto no capítulo 3 para realizar a interação entre o usuário e o *smartwatch*.

Aplicativo para smartwatch

O aplicativo foi desenvolvido para o sistema *Android Wear*. Como o reconhecimento de gestos é contínuo, não é necessário que o usuário finalize o gesto para que este seja reconhecido, desta forma, o protótipo foi projetado para enviar a ação ao Netflix quando o usuário realizar de no mínimo 2 cm e com a precisão de reconhecimento mínima de 70%.

A Figura 6.2 apresenta a interface do aplicativo executando em um *smartwatch*.

Plataforma de comunicação

Vários dispositivos podem executar Netflix, como por exemplo, o PC, Smartphones, Smart TVs, entre outros. Neste trabalho o Netflix foi executado em um PC com processador Intel Core i7-5500U 2.40GHz, 8 GB de memória RAM e placa de vídeo NVIDIA GeForce 830M.

Sendo assim, foi desenvolvida uma plataforma de comunicação que é responsável por receber os gestos realizados no aplicativo e executar suas respectivas ações no

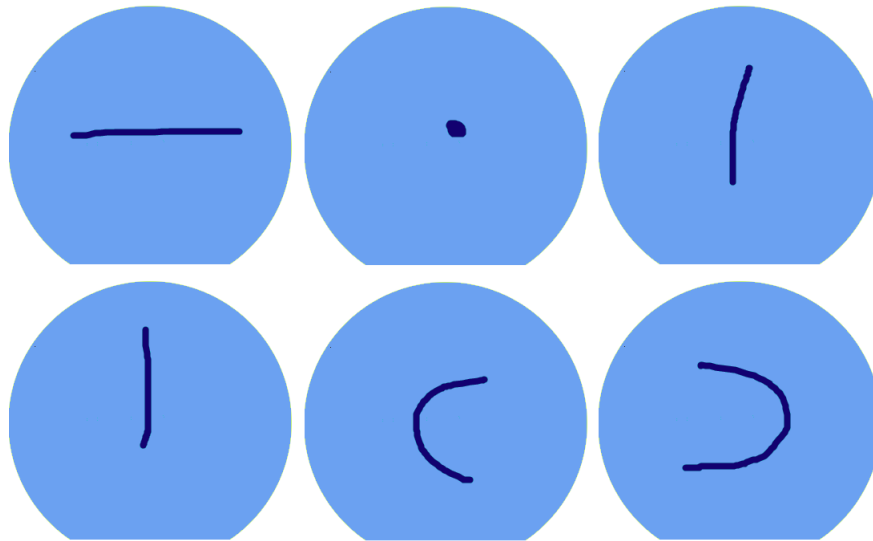


Figura 6.2: Interface do aplicativo em um *smartwatch* executando as ações: pausar, iniciar, aumentar volume, diminuir volume, avançar vídeo e retroceder vídeo (Nascimento *et al.*, 2019).

Netflix. A comunicação entre o aplicativo e a plataforma de comunicação é realizada utilizando uma rede sem fio WLAN. Para executar as ações da Netflix, desenvolvemos um serviço que simula as ações de pressionar e soltar teclas do teclado. A Figura 6.3, ilustra o processo de comunicação entre os protótipos e a plataforma de comunicação.

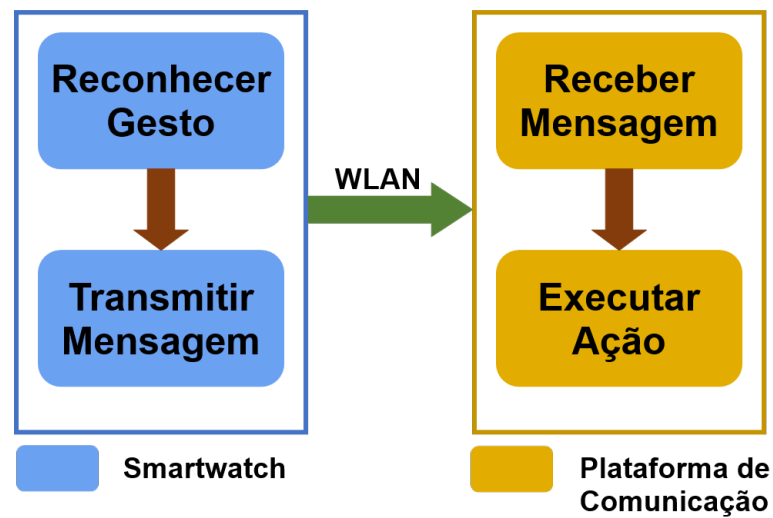


Figura 6.3: Modelo de comunicação utilizando uma rede sem fio entre o aplicativo para *smartwatch* e a plataforma de comunicação. Adaptado de (Horbylon Nascimento *et al.*, 2019).

Desta forma, ao realizar um gesto no protótipo este é enviado à plataforma de comunicação que é responsável por simular o pressionamento de uma tecla para executar a ação que o gesto representa.

6.2.2 Estudo com usuários

O experimento foi conduzido com 10 participantes com idade entre 21 e 39 anos com a média de 28 anos. Destes, um é aluno da graduação e nove alunos da pós-graduação. Todos os participantes são da área de computação. Três participantes possuem *smartwatch*.

Em relação à experiência com *smartwatches*, 1 declarou ser muito experiente, 1 disse ser experiente, 2 disseram ter experiência regular, 5 afirmaram ter pouca experiência e 1 declarou que não possuem nenhuma experiência.

Durante o experimento, 1 participante utilizou o *smartwatch* na mão direita e os outros participantes na mão esquerda.

Com o objetivo de validar o estudo de caso, o aplicativo foi instalado no *Motorola Moto 360*.

Antes de iniciar o experimento, o protótipo e suas funcionalidades foram expostas aos participantes do experimento. O conjunto de gestos disponíveis para serem utilizados que estão demonstrados na Figura 6.1 foi exposto aos participantes e os mesmos puderam observá-los durante todo o experimento. Para realização do experimento foi utilizado o aplicativo exibido na Figura 6.2.

Teste de usabilidade e experiência

Para avaliar a usabilidade e experiência do método desenvolvido, aplicou-se um questionário aos participantes do experimento que responderam a afirmativas relacionadas à usabilidade e experiência para verificar a eficiência e eficácia do método proposto. As questões foram respondidas pelos participantes utilizando a escala de Likert. As afirmativas aplicadas aos participantes foram:

1. Os gestos propostos para utilização do método são intuitivos.
2. É fácil utilizar o método, ou seja, foi fácil controlar o Netflix com o protótipo nos primeiros minutos.
3. As ações realizadas no aplicativo são enviadas corretamente ao Netflix.
4. As ações realizadas no aplicativo são executadas de forma rápida e satisfatória no Netflix.
5. É agradável controlar o Netflix com o método proposto.
6. Eu utilizaria este protótipo para controlar o Netflix no meu cotidiano.

A seção 6.2.3 discorrerá sobre os resultados do experimento assim como, do teste de usabilidade e experiência.

6.2.3 Resultados

O protótipo foi utilizado para a realização de um estudo com usuários, no qual foi realizado um teste de usabilidade e experiência com o objetivo de validar o método desenvolvido, assim como, o protótipo. A Figura 6.4 mostra as respostas dos participantes do experimento para as afirmativas do teste de usabilidade e experiência.

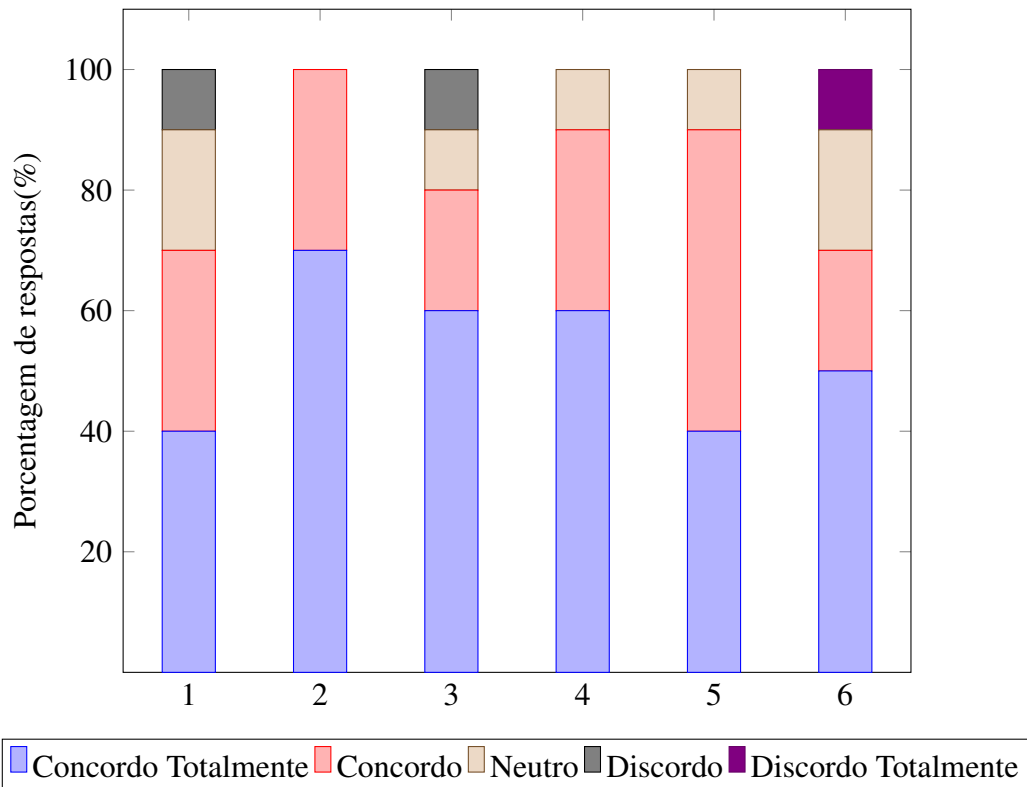


Figura 6.4: Respostas dos participantes do experimento para o questionário de usabilidade e experiência aplicado. Adaptado de (Nascimento et al., 2019).

Observa-se no item 1 da Figura 6.4 que a maioria dos usuários afirmaram que os gestos propostos no método são intuitivos pois, 40% dos usuários disseram concordar totalmente e 30% afirmaram concordar, totalizando 70%. Apenas 20% afirmaram ser neutros e 10% discordaram.

Já as respostas dos participantes para o item 2, mostra que é fácil utilizar o método para controlar o Netflix, pois, todos os participantes afirmaram concordar ou concordar totalmente.

As respostas para o item 3 que se refere ao envio correto das ações ao Netflix, mostram que para 80% dos participantes as ações foram enviadas corretamente, pois, afirmaram concordar ou concordar totalmente.

Em relação ao tempo de resposta para a realização das ações no Netflix, nossos testes mostram que o tempo para a execução de uma ação no Netflix após a realização do gesto foi menor que 70ms. Considerando o item 4 da Figura 6.4, observa-se que 90%

dos participantes afirmaram concordar ou concordar totalmente que as ações realizadas no aplicativo são enviadas de forma rápida e satisfatória no Netflix.

Considerando se é agradável utilizar o método, 90% dos participantes também afirmaram ser agradável controlar o Netflix utilizando o método proposto, como pode ser observado no item 5 da Figura 6.4.

Como observa-se no item 6, que se refere à utilização do método no cotidiano, 70% dos participantes afirmaram concordar ou concordar totalmente que utilizariam o método no seu cotidiano, 20% afirmaram ser neutros e 10% afirmaram que não utilizariam no cotidiano.

Os participantes do experimento tiveram oportunidade de fazer comentários abertos sobre o método proposto, podendo fazer críticas, dar sugestões e sugerir melhorias. Alguns participantes sugeriram alterar as funções dos gestos reta para direita e reta para esquerda para avançar e retroceder o vídeo respectivamente. Outros participantes sugeriram utilizar circunferências para aumentar e diminuir o volume.

Pode-se observar de acordo com a resposta dos participantes, que o método desenvolvido possui potencial para ser utilizado no cotidiano das pessoas, os gestos propostos são intuitivos, mas, pode ser feito um novo experimento com gestos diferentes. Observa-se também que o tempo de resposta é satisfatório e que o protótipo possui potencial de ser agradável ao utilizá-lo.

6.3 Interação com filmes interativos

Um filme interativo permite ao usuário interagir em diferentes momentos e escolher a história e até mesmo o final do filme, isto pode proporcionar diferentes experiências de acordo com a escolha e as preferências de cada usuário, desta forma, a história do filme não é linear (Netflix, 2019). Recentemente a Netflix lançou seu primeiro filme interativo para adultos o “Black Mirror: Bandersnatch”, a história mostra um programador tentando criar um jogo interativo.

A Figura 6.5 apresenta uma amostra de uma tela do filme “Black Mirror: Bandersnatch”, que apresenta duas opções ao usuário, sendo que, ele pode escolher uma delas.

Este filme pode ser executado em dispositivos como Smart TVs e computadores, por exemplo e controlado por seus respectivos dispositivos de entrada: controle remoto, teclado e mouse.

Considerando que o *smartwatch* é um dispositivo vestível que fica preso ao pulso do usuário, levanta-se a hipótese de que ele pode ser utilizado para controlar o filme “Black Mirror: Bandersnatch”, pois, o usuário poderá controlar o curso do filme

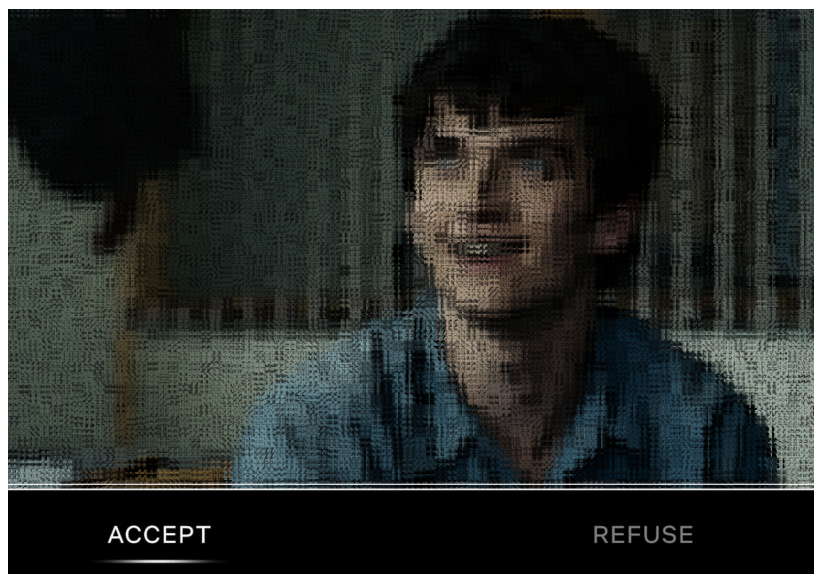


Figura 6.5: Visualização da tela de escolha. (Exemplo adaptado do filme Bandersnatch).

sem utilizar um teclado ou controle, utilizando apenas um dispositivo no formato de um relógio.

Sendo assim, apresenta-se nesta seção os resultados da pesquisa de interação com filmes interativos utilizando *smartwatches* e reconhecimento contínuo de gestos, realizando um estudo de caso com o filme “Black Mirror: Bandersnatch”.

Para permitir a interação, foi necessário: definir um conjunto de gestos e suas respectivas ações no filme, estabelecer comunicação entre o *smartwatch* e o dispositivo que executa o filme e por fim, executar as ações realizadas no *smartwatch* no filme. O protótipo apresentados na próxima subseção permite ao usuário realizar esta escolha.

6.3.1 Aplicativo para *smartwatch*

Foi criado um conjunto de gestos que permite ao usuário interagir com o filme interativo Bandersnatch, ao realizar um desses gestos a ação que ele representa é executada no filme. As ações são: selecionar opção e escolher opção, a Figura 6.6 expõe os gestos e suas respectivas ações no filme interativo. Os gestos do conjunto foram gerados a partir da equação reduzida da reta.

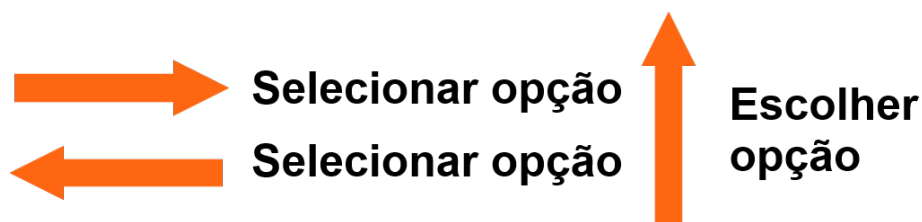


Figura 6.6: Conjunto de gestos e suas respectivas ações no filme interativo Bandersnatch. Adaptado de (Horbylon Nascimento et al., 2019).

Foi desenvolvido um aplicativo para interação com filmes interativos, e o filme “Black Mirror: Bandersnatch” foi utilizado como estudo de caso. Utilizando este protótipo, o usuário pode mudar e selecionar opções de interação do filme realizando um dos gestos expostos na Figura 6.6 na tela do *smartwatch*. O aplicativo foi desenvolvido para o sistema *Android Wear*, a Figura 6.7 ilustra as ações de um usuário selecionando e escolhendo opções em um *smartwatch*.

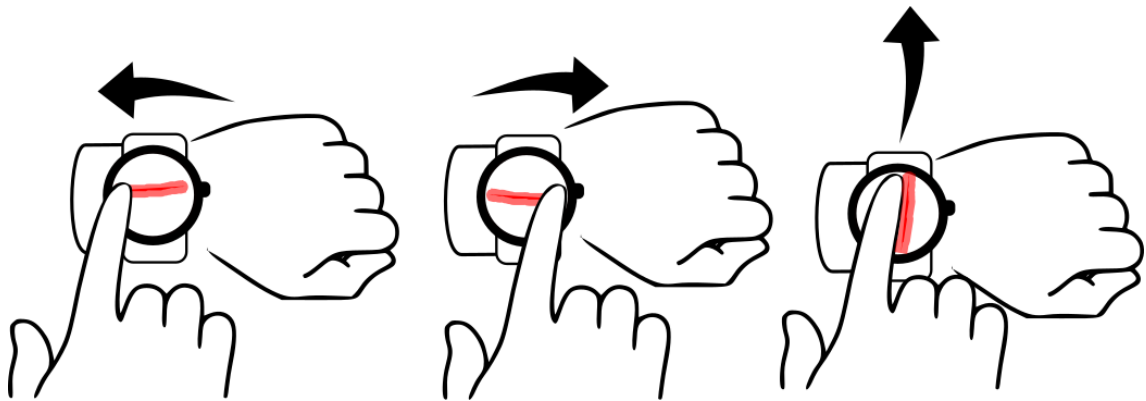


Figura 6.7: Ilustração de um usuário realizando as ações de selecionar a opção da esquerda, selecionar a opção da direita e escolher a opção selecionada no aplicativo (Horbylon Nascimento *et al.*, 2019).

Considerando que ao utilizar o algoritmo de reconhecimento contínuo de gestos, o reconhecimento é contínuo, um gesto pode ser reconhecido antes de ser finalizado pelo usuário. Desta forma, o protótipo foi projetado para enviar a ação ao filme quando o usuário realizar um gesto com pelo menos 2 cm e com a precisão de reconhecimento mínima de 70%.

6.3.2 Comunicação entre o aplicativo e o filme

O filme interativo Bandersnatch foi reproduzido em um computador com processador Intel Core i7-5500U 2.40GHz, 8 GB de memória RAM e placa de vídeo NVIDIA GeForce 830M.

Quando o usuário realiza um gesto, o primeiro passo é reconhecer o gesto utilizando o algoritmo de reconhecimento contínuo de gestos, depois identifica-se a ação que ele representa e esta é executada no filme.

O aplicativo se comunica com a plataforma de comunicação descrita na seção 6.2.1. Apenas um código representado por um número inteiro é enviado pela rede, diminuindo assim, qualquer possível atraso na comunicação.

Para executar a ação no filme interativo, simulamos as ações de mover o cursor e click do mouse no computador.

Desta forma, há um serviço de simulação ativo que é responsável por receber as mensagens e executar suas respectivas ações no filme interativo. Sempre que este serviço recebe uma mensagem, ele identifica a ação relacionada ao código recebido e a executa. Para as ações de alterar entre as opções, o cursor do mouse é posicionado em cima da opção, já para selecionar uma opção a ação executada é o click do mouse.

6.3.3 Estudo com usuários

O experimento foi conduzido com 10 participantes, com idade entre 26 e 54 anos. Dentre eles, 3 são da área de computação. Nenhum dos participantes possuía *smartwatch*.

Sobre a experiência com o uso de *smartwatches*, 1 afirmou ter experiência regular e os outros disseram ter pouca ou nenhuma experiência. Durante o experimento todos os participantes utilizaram o *smartwatch* na mão esquerda.

Para realizar o experimento, o aplicativo foi instalado no *smartwatch Motorola Moto 360*.

Antes de iniciar o experimento, o protótipo e suas funcionalidades foram expostas aos participantes. O conjunto de gestos exibido na Figura 6.6 foi exposto aos participantes e os mesmos puderam observá-lo durante todo o experimento.

Os participantes puderam escolher em qual pulso utilizar o *smartwatch*. Desta forma, ficou a critério de cada participante escolher em qual pulso utilizar o *smartwatch* e conseqüentemente, a mão que seria utilizada para realizar os gestos.

Teste de usabilidade e experiência

Primeiramente foi realizado o teste de usabilidade e depois o teste de experiência com usuários. No teste de usabilidade verificou-se a eficiência e a eficácia do método. O teste de experiência explorou a percepção dos usuários em relação ao método desenvolvido.

Um questionário foi aplicado aos participantes do experimento para avaliar a usabilidade e experiência, bem como, a experiência e a eficácia do método no estudo de caso. As questões foram respondidas pelos participantes utilizando a escala de Likert. As afirmativas aplicadas aos participantes foram:

1. O método proposto é intuitivo.
2. Os gestos propostos para utilização do método são intuitivos.
3. O método proposto é fácil de ser utilizado, ou seja, foi fácil controlar o filme nos primeiros minutos utilizando o protótipo.
4. Você se sentiu familiarizado com o protótipo nos primeiros minutos de utilização.
5. As ações realizadas no aplicativo são enviadas corretamente ao filme.
6. As ações realizadas no aplicativo são executadas de forma rápida no filme.

7. É agradável controlar o filme com o método proposto.
8. Eu utilizaria este método para controlar filmes interativos no meu cotidiano.

A próxima subseção discorre sobre os resultados do estudo com usuários, assim como, do teste de usabilidade e experiência.

6.3.4 Resultados

O protótipo desenvolvido foi utilizado em um experimento com usuários juntamente com um teste de usabilidade e experiência com o objetivo de validar o método proposto, assim como, avaliar o estudo de caso. A Figura 6.8 mostra as respostas dos participantes do experimento para as afirmativas do teste de usabilidade e experiência.

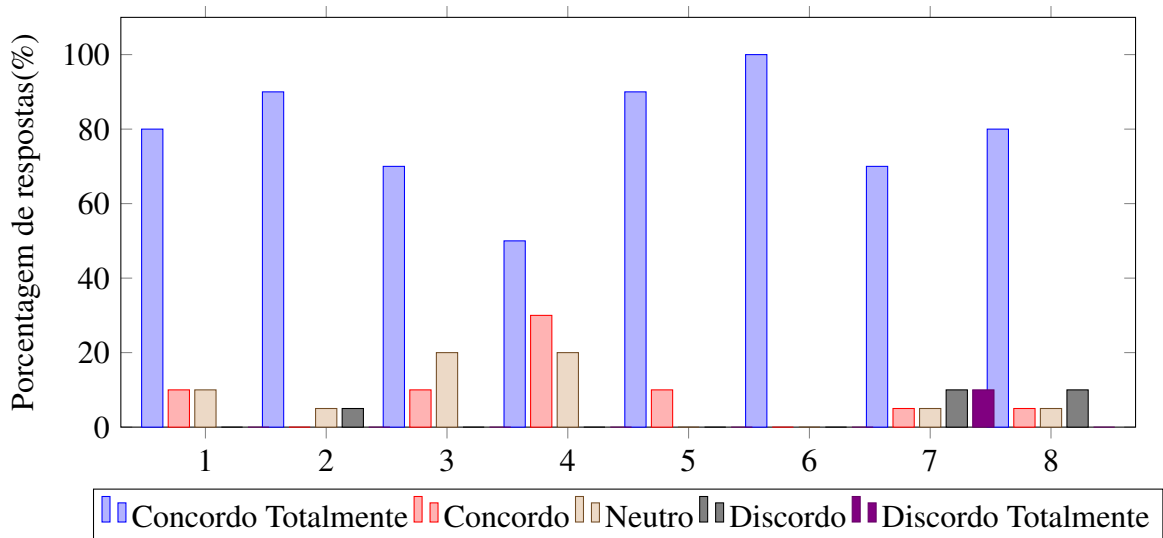


Figura 6.8: Respostas dos participantes do experimento para o questionário de usabilidade e experiência aplicado para o protótipo. Adaptado de (Horbylon Nascimento et al., 2019).

Observando a Figura 6.8 é possível ver que 80% dos usuários afirmaram concordar totalmente que o método proposto é intuitivo, 10% disseram concordar e outros 10% afirmaram ser neutros. 90% dos participantes afirmaram concordar totalmente que os gestos propostos são intuitivos. Em relação aos gestos propostos serem intuitivos, 90% dos usuários afirmaram concordar totalmente.

As repostas dos participantes para o item 3, mostra que o aprendizado foi fácil, pois, todos afirmaram concordar totalmente que foi fácil utilizar o método proposto nos primeiros minutos de utilização. Já as respostas para da questão 4 mostram que os participantes se sentiram familiarizados rapidamente com o protótipo, pois, 50% afirmaram concordar totalmente e 30% afirmaram concordar que sentiram-se familiarizados nos primeiros minutos de utilização.

Todos os participantes afirmaram que as ações realizadas no aplicativo são realizadas rapidamente no filme, como pode ser observado no item 5 da Figura 6.8, pois, todos os participantes marcaram a opção concordo totalmente ou concordo.

O item 8 da Figura 6.8 mostra que 70% dos participantes afirmaram ser agradável utilizar o método proposto, já 80% dos participantes disseram que utilizariam o método proposto no cotidiano.

Pode-se observar de acordo com a resposta dos participantes, que o método desenvolvido possui potencial para ser utilizado no cotidiano das pessoas, o método e os gestos propostos são intuitivos. Observa-se também que o tempo de resposta é satisfatório e que o protótipo possui potencial de ser agradável ao utilizá-lo no cotidiano

Observa-se também na Figura 6.8, que a maioria dos participantes marcaram a opção concordo totalmente ou concordo para todas as afirmativas. Com isto, é possível verificar que o método desenvolvido possui potencial para ser utilizado para controlar filmes interativos.

Comparação entre o *smartwatch* e o controle remoto

Em relação à preferência dos usuários para controlar filmes não lineares pelo *smartwatch* ou pelo controle remoto, podemos observar que na Figura 6.9 que 90% dos participantes acharam melhor utilizar o *smartwatch*.

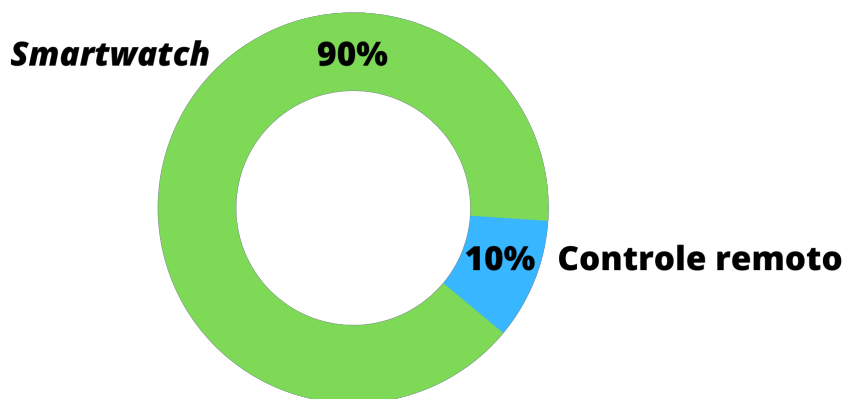


Figura 6.9: Porcentual da preferência dos usuários para interagir com filmes interativos utilizando o *smartwatch* ou o controle remoto. Adaptado de (Nascimento & Soares, 2020).

Pode-se observar de acordo com a resposta dos participantes que o método desenvolvido tem potencial para ser utilizado no cotidiano das pessoas, assim como, os gestos propostos são intuitivos. Observa-se também que o tempo de resposta é satisfatório e que o protótipo tem potencial para ser agradável ao utilizá-lo.

Apesar de ser uma proposta nova, os usuários mostraram entusiasmo ao utilizar esta nova forma de interação, pois, o *smartwatch* é um dispositivo que fica no pulso do

usuário, além disso, esta nova abordagem permite a interação sem que o usuário precise olhar para o *smartwatch*, pois, utiliza comandos simples, intuitivos e fáceis de memorizar.

Também foi verificado que o tempo médio para o usuário realizar os gestos no *smartwatch* é equivalente ao tempo utilizado para encontrar e acionar um botão no controle remoto, isto indica uma boa experiência dos usuários com o método desenvolvido.

6.4 Considerações finais deste capítulo

Este capítulo apresentou estudos de caso com o método desenvolvido para interagir com reprodutores de vídeo e filmes interativos. Os estudos de caso foram realizados com o reprodutor de vídeo da Netflix e o filme interativo “Black Mirror: Bandersnatch”.

Os resultados mostram que é possível utilizar *smartwatches* com reconhecimento contínuo de gestos para interagir com reprodutores de vídeos e filmes interativos. Realizou-se também uma pesquisa sobre a preferência dos usuários entre o *smartwatch* e o controle remoto para interagir com filmes interativos e 90% dos usuários afirmaram preferir utilizar o *smartwatch*.

O próximo capítulo apresenta um estudo de caso utilizando o método desenvolvido para interagir com eletrodomésticos.

Estudo de Caso: Interação com Eletrodomésticos

7.1 Introdução

O termo “tecnologia doméstica” se refere a toda tecnologia desenvolvida com o objetivo de uso doméstico, como por exemplo, os eletrodomésticos. Vários dispositivos, como por exemplo, ar condicionado, televisão, lâmpada, reprodutores de música e de vídeo estão presentes nas casas, fazem parte do cotidiano das pessoas e são utilizados para diversos fins (Kronbauer *et al.*, 2015; Seklou *et al.*, 2019).

Considerando que a automação dos eletrodomésticos está em crescimento e que o uso de *smartwatches* também está em crescimento, torna-se interessante utilizar *smartwatches* para interagir estes dispositivos. Considerando que vários dispositivos não podem ser conectados a uma rede doméstica, pois, não possuem conexão de rede, o infravermelho foi utilizado como meio de comunicação com os eletrodomésticos.

Desta forma, o “Broadlink RM Mini 3” foi utilizado para enviar sinais infravermelhos aos dispositivos. Ele é um mini controlador infravermelho omnidirecional, com capacidade de alcance de 12 metros e possui tamanho compacto (5 x 5 x 6cm) e pesa apenas 135g. Por ser omnidirecional, ele não precisa estar na direção do eletrodoméstico, com isto, um único controlador pode ser utilizado para todos os dispositivos no ambiente com até 12 metros de distância. A Figura 7.1 exibe um exemplo de configuração de um ambiente com o “Broadlink RM Mini 3”.

Sendo assim, apresenta-se neste capítulo os resultados do estudo utilizando o método desenvolvido para interagir com eletrodomésticos utilizando reconhecimento contínuo de gestos em *smartwatches* e comunicação por infravermelho. Para permitir a interação foi necessário: definir conjunto de gestos e suas respectivas ações nos dispositivos, estabelecer comunicação entre o *smartwatch* e o eletrodoméstico e por fim, enviar comandos aos eletrodomésticos.

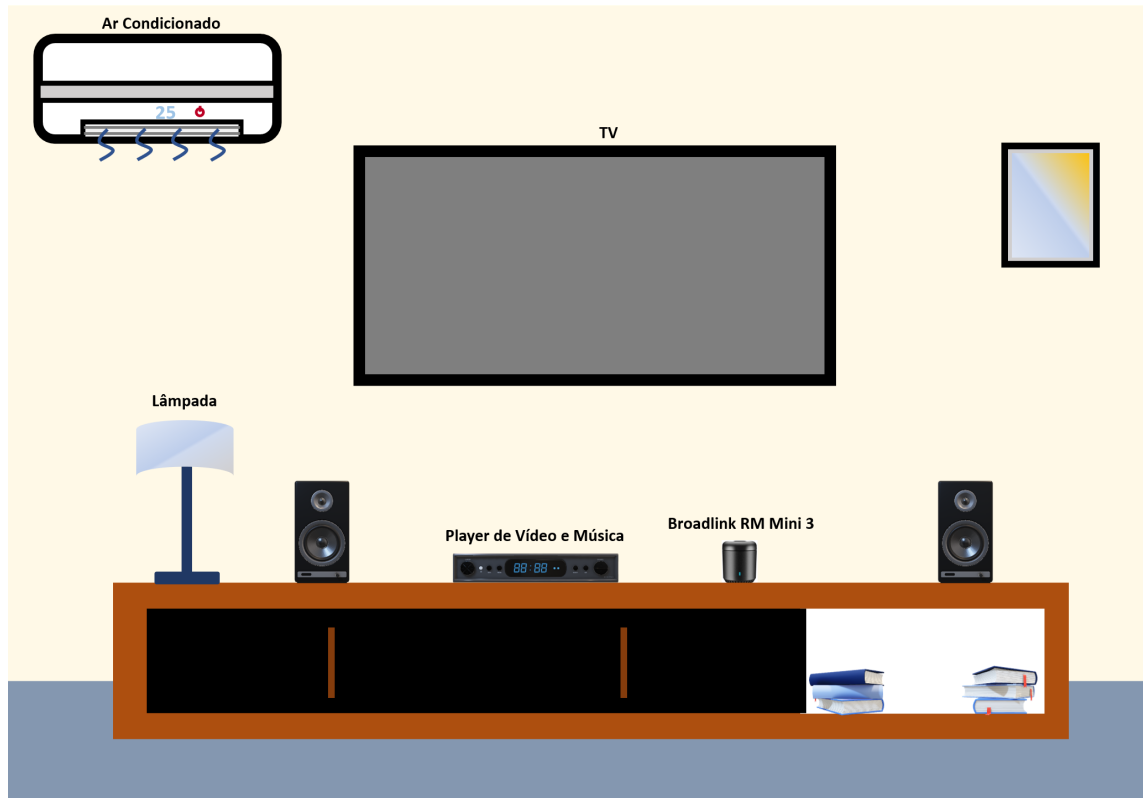


Figura 7.1: Exemplo de ambiente com televisão, ar condicionado, lâmpada, reproduutor de vídeo e música e o controlador “Broadlink RM Mini 3”. Adaptado de (Horbylon Nascimento & Soares, 2021).

7.2 Protótipo

Desenvolveu-se um protótipo que permite ao usuário interagir eletrodomésticos utilizando smartwatches. A interação do usuário com o *smartwatch* é realizada por meio de gestos, sendo assim, criou-se um conjunto de gestos simples e intuitivos composto por retas e curvas. Os dispositivos que o protótipo é capaz de interagir são: ar condicionado, lâmpada, televisão, reproduutor de vídeo e reproduutor de áudio.

Considerando que o método é capaz de interagir vários dispositivos, o usuário pode selecionar o dispositivo a ser controlado deslizando o dedo para cima e para baixo. A Figura 7.2 exibe os gestos utilizados para selecionar um dispositivo.



Figura 7.2: Gestos utilizados para selecionar um dispositivo. Adaptado de (Horbylon Nascimento & Soares, 2021).

A Figura 7.3, apresenta os gestos e suas ações nos dispositivos. Como pode ser observado na Figura 7.3, alguns gestos representam mais de uma ação, dependendo do dispositivo. Podemos observar também que o gesto para executar as ações ligar/desligar é o mesmo para todos dispositivos. As ações relacionadas aos gestos foram projetadas para serem intuitivas e de fácil memorização.






Gesto	Ar Condicionado	Televisão	Reprodutor de vídeo	Reprodutor de música	Lâmpada
	Ligar/Desligar	Ligar/Desligar	Ligar/Desligar	Ligar/Desligar	Ligar/Desligar
	Aumentar Temperatura	Aumentar Volume	Aumentar Volume	Aumentar Volume	--
	Diminuir Temperatura	Diminuir Volume	Diminuir Volume	Diminuir Volume	--
	--	Mudar Canal	Avançar Vídeo	Próxima Música	--
	--	Mudar Canal	Retroceder Vídeo	Música Anterior	--

Figura 7.3: Conjunto de gestos e suas respectivas ações nos eletrodomésticos. Adaptado de (Horbylon Nascimento & Soares, 2021).

Desenvolveu-se um aplicativo para o sistema *Android Wear*, que foi instalado no *smartwatch* “Fossil Gen 4” para a realização da avaliação com especialistas. A Figura 7.4 ilustra um usuário utilizando o protótipo em um *smartwatch* para interagir um aparelho de ar condicionado.

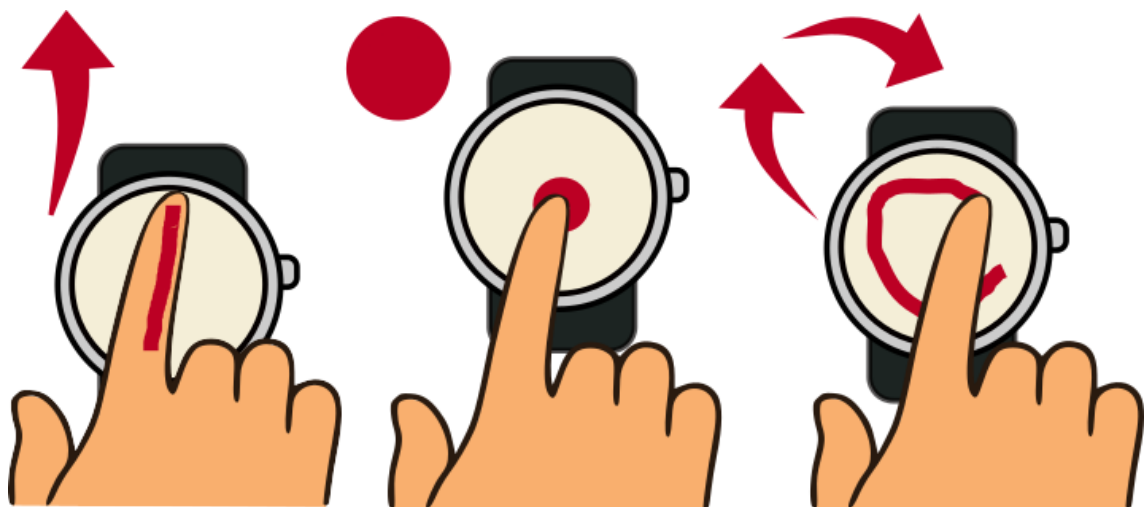


Figura 7.4: Ilustração de um usuário utilizando o protótipo para realizar as seguintes ações: selecionar o dispositivo, ligar o ar condicionado e aumentar a temperatura (Horbylon Nascimento & Soares, 2021).

O reconhecimento dos gestos foi feito utilizando o algoritmo de reconhecimento contínuo de gestos proposto por Kristensson & Denby (2011). Por ser capaz de prever gestos parciais, não é necessário que o usuário finalize o gesto para que ele seja reconhecido, sendo possível executar rapidamente a ação desejada pelo usuário. O aplicativo foi projetado para enviar a ação ao dispositivo quando o usuário realizar um gesto de pelo menos 2cm e com a precisão de reconhecimento mínima de 80%.

7.2.1 Comunicação entre o *smartwatch* e os dispositivos

Considerando que vários dispositivos não podem ser conectados a uma rede doméstica, pois, não possuem conexão de rede, utilizou-se o infravermelho como meio de comunicação com os dispositivos.

Para interagir um dispositivo, o usuário realiza os gestos expostos na Figura 7.3, em sequência o gesto é reconhecido utilizando o algoritmo de reconhecimento contínuo de gestos. Após o reconhecimento, o comando relacionado ao gesto é enviado ao “Broadlink RM Mini 3” que envia o sinal infravermelho ao eletrodoméstico. Estes passos são representados na Figura 7.5.

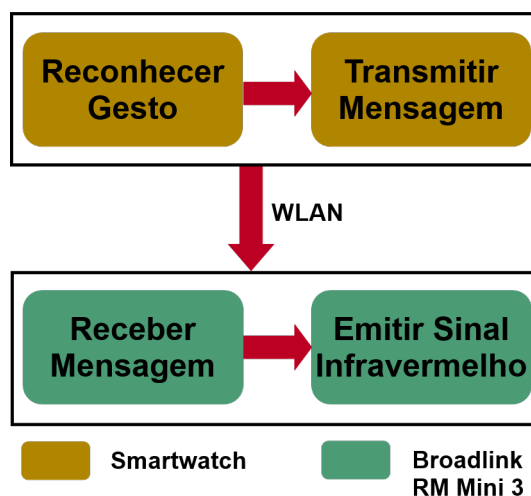


Figura 7.5: Etapas para emitir um sinal infravermelho após a realização de um gesto. Adaptado de (Horbylon Nascimento & Soares, 2021).

Como pode ser observado na Figura 7.5, a comunicação entre o *smartwatch* e o “Broadlink RM Mini 3” é realizada por uma rede WLAN, desta forma, o usuário pode interagir os eletrodomésticos mesmo que não esteja no mesmo local que eles estejam instalados, precisando apenas estar conectado na rede WLAN.

Foi criada uma base de dados contendo os códigos infravermelho dos dispositivos utilizados, sendo assim, quando o usuário realiza um gesto relativo a este comando, o código é enviado pela WLAN ao “Broadlink RM Mini 3” que é responsável por emitir o sinal infravermelho que será recebido pelo dispositivo.

7.3 Avaliação de especialistas

Com o objetivo de validar a utilização do método desenvolvido para interagir com eletrodomésticos, portanto, o aplicativo foi instalado no *smartwatch* “*Fossil Gen 4*”, com as seguintes especificações: Tela redonda de 1,4 polegadas, 454x454 pixels, 4GB memória RAM, processador Qualcomm Snapdragon 2100 com 1.2GHz ARM Cortex A7 de 4 núcleos.

O método foi testado e avaliado em um estudo exploratório por 5 especialistas voluntários, durante os experimento, os especialistas selecionavam o dispositivo a ser controlado utilizando os gestos expostos na Figura 7.2 e em seguida controlavam o dispositivo utilizando os gestos expostos na Figura 7.3. Os especialistas interagiram todos os dispositivos suportados pelo método na seguinte sequência: Ar condicionado, televisão, reprodutor de vídeo, reprodutor de música e lâmpada. A Tabela 7.1 mostra a sequência de comandos que os especialistas testaram para cada dispositivo.

Tabela 7.1: Dispositivos controlados pelos especialistas com a seguinte sequência de comandos. Adaptado de (Horbylon Nascimento & Soares, 2021).

Dispositivo	Sequência de comandos
Ar condicionado	<ul style="list-style-type: none"> • Ligar • Aumentar temperatura • Diminuir temperatura • Desligar
Televisão	<ul style="list-style-type: none"> • Ligar • Aumentar volume • Diminuir volume • Mudar canal • Desligar
Reprodutor de vídeo	<ul style="list-style-type: none"> • Ligar • Aumentar volume • Diminuir volume • Avançar vídeo • Retroceder vídeo • Desligar
Reprodutor de música	<ul style="list-style-type: none"> • Ligar • Aumentar volume • Diminuir volume • Próxima música • Música anterior • Desligar
Lâmpada	<ul style="list-style-type: none"> • Ligar • Desligar

Tabela 7.2: Questionário de usabilidade. Adaptado de (Brooke, 1996; Horbylon Nascimento & Soares, 2021)

Q1.	Eu utilizaria este sistema para interagir com eletrodomésticos no meu cotidiano.	↑
Q2.	Eu acho o sistema desnecessariamente complexo.	↓
Q3.	Eu achei o sistema intuitivo e fácil de usar.	↑
Q4.	Eu acho que precisaria da ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar o sistema.	↓
Q5.	Eu acho que as várias funções do sistema estão muito bem integradas.	↑
Q6.	Eu acho que o sistema apresenta muita inconsistência.	↓
Q7.	Eu imagino que as pessoas aprenderão usar este sistema rapidamente.	↑
Q8.	Eu achei o sistema muito complicado de usar.	↓
Q9.	Eu me senti confiante ao usar o sistema.	↑
Q10.	Eu precisei aprender várias coisas antes de usar o sistema.	↓

(↑ - Pergunta positiva, ↓ - Pergunta negativa).

7.3.1 Escala de Usabilidade do Sistema (*System Usability Scale (SUS)*)

Após o fim do experimento, aplicou-se um questionário aos especialistas para verificar a usabilidade do método. No teste de usabilidade verificamos a eficiência e eficácia do método, assim como, a satisfação dos especialistas ao utilizar o método. O teste de experiência explorou a percepção dos especialistas com o método desenvolvido.

+

Para a criação do questionário, realizou-se uma adaptação do questionário “Escala de Usabilidade do Sistema” (*System Usability Scale (SUS)*) proposto por Brooke (1996). O questionário SUS foi utilizado por permitir avaliar uma grande variedade de produtos e serviços e ser independente de tecnologia. Ele possui 10 questões, que o usuário responde utilizando a escala Likert, de 1 a 5, onde 1 significa “discordo totalmente” e 5 significa “concordo totalmente”. A Tabela 7.2, mostra as questões do questionário.

O questionário SUS possui itens alternados em afirmações positivas e negativas, com o objetivo de evitar vieses de respostas, com o objetivo de fazer com que o avaliador leia a questão e analise a questão e para verificar se ele concorda ou discorda da questão.

Desta forma, para calcular a pontuação das respostas ímpares, deve-se subtrair 1 de 5, da pontuação atribuída pelo usuário ($x - 1$), onde x é a nota atribuída pelo usuário. Já para as repostas pares, deve-se subtrair a pontuação atribuída pelo usuário de 5, ou seja, $(5 - x)$, onde x é a pontuação atribuída pelo usuário. Sendo assim, todas as respostas terão pontuação de 0 a 4, sendo 4 a melhor pontuação. Depois, deve-se multiplicar a pontuação de todas as repostas por 2,5, com isto, a pontuação de cada questão estará no intervalo de 0 a 10 e a soma da pontuação das questões no intervalo de 0 a 100, é importante ressaltar que não é porcentagem, mas, uma medida geral de percepção de usabilidade. Para ser considerada uma boa usabilidade a pontuação precisa ser no mínimo 68 (Brooke, 1996, 2013).

Bangor et al. (Bangor et al., 2009), definiram uma escala de adjetivos descritivos de acordo com a pontuação das repostas do questionário SUS. A Tabela 7.3, exhibe os adjetivos do SUS de acordo com a pontuação das repostas.

Tabela 7.3: Estatísticas descritivas das pontuações do SUS para classificações por adjetivos. Adaptado de (Bangor et al., 2009).

Adjetivo	Pontuação média do SUS
Pior imaginável	12,5
Horrível	20,3
Pobre	35,7
OK	50,9
Bom	71,4
Excelente	85,5
Melhor imaginável	90,9

A próxima seção apresenta os resultados da avaliação com especialistas, assim como, o resultado do teste de usabilidade.

7.4 Resultados e discussão

O protótipo desenvolvido foi utilizado em uma avaliação com especialistas e aplicamos com um teste de usabilidade e experiência. Ao finalizar o teste, os especialistas responderam um questionário baseado no questionário adaptado do SUS, exposto na Tabela 7.2. A Figura 7.6, exhibe a pontuação média para cada questão do questionário.

Analisando a pontuação de cada questão individualmente podemos verificar os pontos fortes do protótipo, assim como, em quais aspectos ele pode melhorar. A questão 1, obteve pontuação 9, sendo assim, há fortes indícios que os usuários utilizariam o método desenvolvido em seu cotidiano para interagir com os eletrodomésticos. Analisando a pontuação das questões de número 2 a 4, concluímos que os avaliadores acharam o

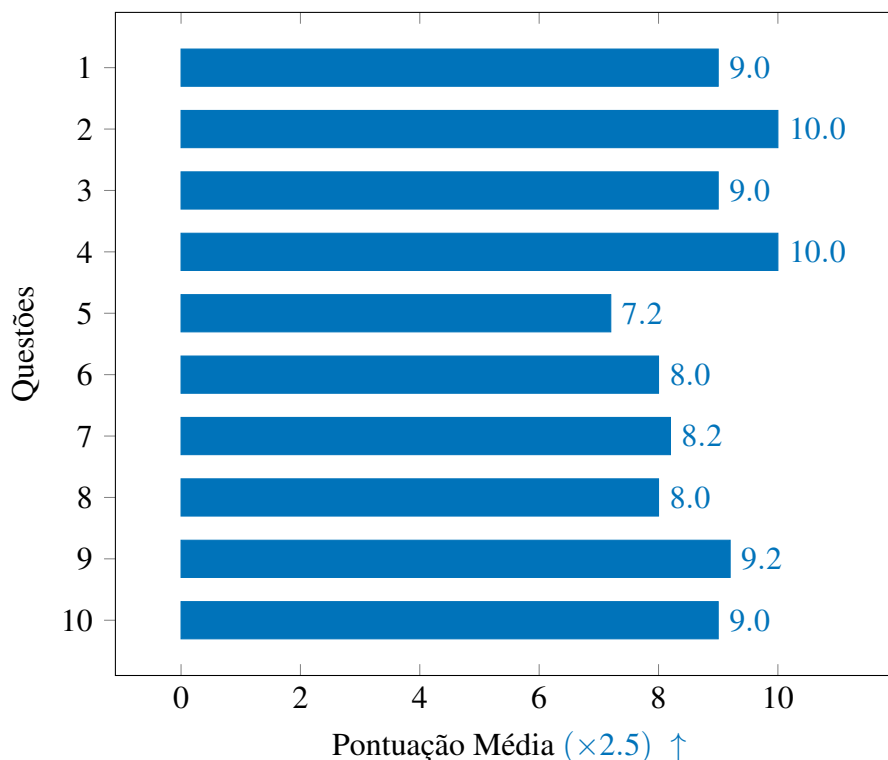


Figura 7.6: Pontuação média normalizada para cada afirmação do questionário. Adaptado de (Horbylon Nascimento & Soares, 2021).

protótipo simples, fácil de usar e que não é necessário ter um treinamento ou ajuda de uma pessoa com experiência na área para utilizar o protótipo.

Verificando as pontuações das questões de número 5 e 6, percebemos que o protótipo pode melhor em relação à integração das funções para facilitar o uso. Durante o teste verificamos que os avaliadores consideraram importante que o protótipo pudesse detectar o cômodo da casa em que ele estava para priorizar a seleção dos dispositivos presentes no local.

Considerando as questões 7 e 8, os avaliadores consideraram que as pessoas aprenderão a usar o sistema rapidamente, analisando juntamente com a questão número 8, podemos considerar que os avaliadores consideraram o sistema simples. Com a pontuação das questões 9 e 10, podemos considerar que os avaliadores se sentiram confiantes ao utilizar o sistema e não precisaram de treinamento para o utiliza o sistema.

Conforme foi exposto na seção anterior, Bangor *et al.* (2009), criaram uma escala de adjetivos descritivos de acordo com a soma pontuação das questões. A soma da média da pontuação das questões foi 88,2, o que coloca o protótipo desenvolvido na categoria “Excelente”.

A avaliação mostrou que utilizando o método desenvolvido foi possível selecionar os dispositivos e controlá-los utilizando o conjunto de gestos proposto. Observamos durante o experimento que os comandos foram enviados corretamente ao dispositivo se-

lecionado com um tempo de resposta satisfatório. Os especialistas consideraram fácil e rápido controlar os dispositivos utilizando o protótipo.

Desta forma, o método desenvolvido possui potencial para ser utilizado para controlar eletrodomésticos utilizando o smartwatch, sem a necessidade de utilizar um controle remoto para cada dispositivo, pois, mostrou ser capaz de controlar diferentes dispositivos de marcas diferentes utilizando um pequeno conjunto de gestos.

Como os gestos utilizados são simples e baseados em formas geométricas, o usuário precisa realizar apenas um gesto na tela para controlar um dispositivo, desta maneira, ele não precisa olhar para o *smartwatch* para executar uma ação.

Utilizando o algoritmo de reconhecimento contínuo de gestos foi possível reconhecer um gestos sem que o usuário precisa-se finalizá-lo, permitindo assim, uma interação rápida entre o usuário e o protótipo.

7.5 Considerações finais deste capítulo

Foi exposto neste capítulo um estudo que utilizou o método desenvolvido para interagir com eletrodomésticos. Apresentou-se um protótipo que permite aos usuários controlar os dispositivos utilizando gestos simples, baseados em formas geométricas como retas e curvas. Para controlar os eletrodomésticos, o usuário realiza os gestos expostos na Figura 7.3 no *smartwatch* e em sequência o gesto é reconhecido utilizando o algoritmo de reconhecimento contínuo de gestos. Após o reconhecimento, o comando relacionado ao gesto é enviado ao “Broadlink RM Mini 3” que emite o sinal infravermelho a ser recebido pelo eletrodoméstico.

Realizou-se uma avaliação com especialistas com o objetivo de validar o estudo que utiliza o método desenvolvido para interagir com eletrodomésticos.

O próximo capítulo apresenta a conclusão que foi obtida de acordo com os resultados dos estudos de caso realizados utilizando o método de interação desenvolvido.

Conclusões e Contribuições deste Trabalho

Apresentou-se neste trabalho uma pesquisa cujo o objetivo foi desenvolver e avaliar um método de interação que utiliza telas sensíveis ao toque de *smartwatches* com reconhecimento contínuo de gestos para interagir com dispositivos e ambientes.

O objetivo desta pesquisa foi validar as hipóteses apresentadas na seção 1.3. A principal hipótese pesquisada foi: “*O reconhecimento contínuo de gestos pode ser utilizado em telas sensíveis ao toque de smartwatches com gestos simples, baseados em formas geométricas para interagir com o próprio smartwatch e também interagir com outros dispositivos*”. Sendo assim, foram realizados estudos de caso com o método desenvolvido para validar as hipóteses expostas na seção 1.3. Desta forma, as principais contribuições deste trabalho são:

- Conceituação da utilização de reconhecimento contínuo de gestos em telas sensíveis ao toque de *smartwatches* para interagir com o próprio *smartwatch* e também com outros dispositivos.
- Definição de um conjunto de gestos que pode ser utilizado nas interações entre o usuário e o *smartwatch*.
- Aplicação do método desenvolvido em estudos de caso que mostraram ser possível utilizar o método para:
 - Realizar a entrada de texto em *smartwatches*.
 - Interagir com jogos de plataforma.
 - Interagir com outros dispositivos.
- Revisão sistemática sobre interação utilizando *smartwatches* com reconhecimento de gestos.

O método desenvolvido utiliza um conjunto de gestos simples, baseados em formas geométricas. Os resultados positivos ao utilizar o método nos estudos de caso realizados, a primeira hipótese é validada. Os resultados dos estudos de caso mostram que utilizando o método é possível: realizar a entrada de texto no próprio *smartwatch* ou em um ambiente virtual, validando segunda hipótese. Também mostram que o método

permite interagir com jogos de plataforma, reprodutores de vídeo e filmes interativos e eletrodomésticos, validando a terceira hipótese. Os estudos de caso utilizaram subconjuntos de gestos, baseados no conjunto de gestos do método que foi exposto na Figura 3.3 para interagir com o usuário. Foram realizados testes de usabilidade e experiência que mostram que o método possui potencial para ser utilizado no cotidiano, validando assim, a quarta hipótese.

Os resultados também mostram que o uso do algoritmo de reconhecimento contínuo de gestos foi eficiente no método desenvolvido, pois, foi possível reconhecer os gestos antes que fossem finalizados, proporcionando assim, um *feedback* rápido ao usuário.

Durante o desenvolvimento do trabalho foram feitas adaptações no algoritmo de reconhecimento contínuo de gestos: paralelização da etapa de reconhecimento de gestos e criou-se uma técnica para detectar a mudanças de gestos, que permite identificar quando o usuário inicia um novo gesto sem que ele precise retirar o dedo da tela.

O método foi desenvolvido com objetivo de prover novas formas de interação com dispositivos e ambientes inteligentes utilizando *smartwatches* com reconhecimento de gestos. Os resultados da pesquisa mostram que é possível utilizar *smartwatches* com reconhecimento de gestos para interagir com dispositivos e ambientes inteligentes de forma rápida e intuitiva.

8.1 Trabalhos futuros

O uso de *smartwatches* com reconhecimento contínuo de gestos mostrou-se motivante e desafiador, portanto, ao finalizar este trabalho pode-se observar novos desafios.

Observa-se que o método desenvolvido possibilitou ampliar as possibilidades de interação com dispositivos e ambientes utilizando *smartwatches* e reconhecimento contínuo de gestos, desta forma, espera-se que seja possível utilizá-lo no desenvolvimento de novas técnicas e gerações de *smartwatches*.

8.2 Trabalhos gerados com esta tese

Durante o desenvolvimento deste trabalho, os resultados da pesquisa, assim como, o método desenvolvido e os estudos de caso foram publicados em 9 trabalhos, sendo 1 em periódico, 6 em conferências internacionais e 2 em conferências nacionais. Em sequência, são apresentados os detalhes dos trabalhos publicados. Eles estão divididos pelo tipo de publicação e listados em ordem cronológica decrescente.

Trabalho publicado em periódico

- **Nascimento, T. H.**, Soares, F. WatchControl: A Control for Interactive Movie Using Continuous Gesture Recognition in Smartwatches. *Journal of Information Processing.*, v.28, p.643 - 649, 2020. (Nascimento & Soares, 2020).

Trabalhos publicados em conferências internacionais

- **Nascimento, T. H.**, Soares, F. Home Appliance Control Using Smartwatches with Continuous Gesture Recognition. *Distributed, Ambient and Pervasive Interactions. HCII 2021. Lecture Notes in Computer Science.*, v. 12782, 2021. (Horbylon Nascimento & Soares, 2021).
- **Nascimento, T. H.**, Ferreira, C. B. R., Rodrigues, W. G., Soares, F. Interaction with Smartwatches Using Gesture Recognition: A Systematic Literature. *The 44th IEEE Computer Society International Conference on Computers, Software & Applications (COMPSAC 2020)*. (Horbylon Nascimento et al., 2020).
- **Nascimento, T. H.**, Soares, F. A. M. N., Vieira, M. A., Nascimento, H. A. D., Mombach, J. G., Campos, L. M. C., Rodrigues, W. G., Miranda, W. F. Using smartwatches as an Interactive Movie Controller: A Case Study with the Bandersnatch Movie. *The 43rd IEEE Computer Society International Conference on Computers, Software & Applications (COMPSAC 2019)*. (Horbylon Nascimento et al., 2019).
- **Nascimento, T. H.**, Soares, F. A. M. N., Nascimento, H. A. D., Vieira, M. A., Carvalho, T. P., Miranda, W. F. Netflix Control Method Using smartwatches and Continuous Gesture Recognition. *32nd Canadian Conference on Electrical & Computer Engineering (CCECE 2019)*. (Nascimento et al., 2019).
- **Nascimento, T. H.**, Soares, F. A. M. N., Nascimento, H. A. D., Salvini, R. L., Luna, M. M., Gonçalves, C., Souza, E. F. Interaction with Platform Games Using smartwatches and Continuous Gesture Recognition: A Case Study. *The 42nd IEEE Computer Society International Conference on Computers, Software & Applications (COMPSAC 2018)*. (Nascimento et al., 2018).
- **Nascimento, T. H.**, Soares, F. A. M. N., Irani, P. P., Oliveira, L. L. G., Soares, A. S. Method for Text Entry in Smartwatches Using Continuous Gesture Recognition. *The 41st IEEE Computer Society International Conference on Computers, Software & Applications (COMPSAC 2017)*. (Nascimento et al., 2017).

Trabalhos publicados em conferências nacionais

- **Nascimento, T. H.**, Soares, F. A. M. N., Oliveira, D. V., Salvini, R. L., Costa, R. M., Gonçalves, C. Method for Text Input with Google Cardboard: An Approach Using Smartwatches and Continuous Gesture Recognition. *Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR 2017)*. (Nascimento et al., 2017).
- **Nascimento, T. H.**, Soares, F. A. M. N., Ferreira, C. B. R., Oliveira, L. L. G., Soares, A. S., Irani, P. P., Viera, M. A. Text input in Smartwatches Based Gestures Using Geometric Shape. *Simpósio Brasileiro sobre Fatores Humanos em Sistemas Computacionais (IHC 2016)*. (Nascimento et al., 2016).

Referências Bibliográficas

- Abu Sulayman, I. I. M., Almalki, S. H. A., Soliman, M. S., & Dwairi, M. O. 2017. Designing and Implementation of Home Automation System Based on Remote Sensing Technique with Arduino Uno Microcontroller. Pages 1–9 of: 2017 9th IEEE-GCC Conference and Exhibition (GCCCE).
- Adiono, T., Tandiwawan, B., Fuada, S., Muttaqin, R., Fathany, M. Y., Adjarto, W., & Harimurti, S. 2017. Prototyping design of IR remote controller for smart home applications. Pages 1304–1308 of: TENCON 2017 - 2017 IEEE Region 10 Conference.
- Adiono, T., Anindya, S. F., Fuada, S., & Fathany, M. Y. 2018. Developing of General IrDa Remote to Wirelessly Control IR-based Home Appliances. Pages 461–463 of: 2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE).
- Affiah, K., Fuada, S., Putra, R. V. W., Adiono, T., & Fathany, M. Y. 2016. Design of low power mobile application for Smart Home. Pages 127–131 of: 2016 International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD).
- Agarwal, S., & Ghosh, S. 2017 (12). Evaluation of Microgesture Recognition Using a Smartwatch. Pages 986–991 of: 2017 16th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA).
- Ahmad, Farooq, & Musilek, Petr. 2006. UbiHand: A Wearable Input Device for 3D Interaction. In: ACM SIGGRAPH 2006 Research Posters. SIGGRAPH '06. New York, NY, USA: ACM.
- Ahn, Youngseok, Hwang, Sungjae, Yoon, HyunGook, Gim, Junghyeon, & Ryu, Jung-hee. 2015. BandSense: Pressure-sensitive Multi-touch Interaction on a Wristband. Pages 251–254 of: Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. CHI EA '15. New York, NY, USA: ACM.
- Alanwar, A., Alzantot, M., Ho, B., Martin, P., & Srivastava, M. 2017 (4). SeleCon: Scalable IoT Device Selection and Control Using Hand Gestures. Pages 47–58 of: 2017 IEEE/ACM Second International Conference on Internet-of-Things Design and Implementation (IoTDI).

- Baldauf, Matthias, Fröhlich, Peter, Adegeye, Florence, & Suetter, Stefan. 2015. Investigating On-Screen Gamepad Designs for Smartphone-Controlled Video Games. ACM Trans. Multimedia Comput. Commun. Appl., **12**(1s), 22:1–22:21.
- Bangor, Aaron, Kortum, Philip, & Miller, James. 2009. Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. J. Usability Studies, **4**(3), 114–123.
- Becker, Vincent, Fessler, Linus, & Sörös, Gábor. 2019. GestEar: Combining Audio and Motion Sensing for Gesture Recognition on Smartwatches. Page 10–19 of: Proceedings of the 23rd International Symposium on Wearable Computers. ISWC '19. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery.
- Bernaerts, Yannick, Druwé, Matthias, Steensels, Sebastiaan, Vermeulen, Jo, & Schöning, Johannes. 2014. The Office Smartwatch: Development and Design of a Smartwatch App to Digitally Augment Interactions in an Office Environment. Pages 41–44 of: Proceedings of the 2014 Companion Publication on Designing Interactive Systems. DIS Companion '14. New York, NY, USA: ACM.
- Birke, Alexander, Schoenau-Fog, Henrik, & Reng, Lars. 2012. Space Bugz!: A Smartphone-controlled Crowd Game. Pages 217–219 of: Proceeding of the 16th International Academic MindTrek Conference. MindTrek '12. New York, NY, USA: ACM.
- Brooke, John. 1996. SUS: A 'Quick and Dirty' Usability Scale. Pages 189–194 of: Usability Evaluation In Industry, first edn. London: Taylor and Francis.
- Brooke, John. 2013. SUS: A Retrospective. J. Usability Studies, **8**(2), 29–40.
- Chakravarthi, M.Kalyan, Tiwari, Rohit Kumar, & Handa, Shaunak. 2015. Accelerometer Based Static Gesture Recognition and Mobile Monitoring System Using Neural Networks. Procedia Computer Science, **70**, 683 – 687. Proceedings of the 4th International Conference on Eco-friendly Computing and Communication Systems.
- Chen, F., Deng, J., Pang, Z., Nejad, M.B., Yang, H., & Yang, G. 2018. Finger angle-based hand gesture recognition for smart infrastructure using wearable wrist-worn camera. Applied Sciences (Switzerland), **8**(3).
- Chen, F., Lv, H., Pang, Z., Zhang, J., Hou, Y., Gu, Y., Yang, H., & Yang, G. 2019. WristCam: A Wearable Sensor for Hand Trajectory Gesture Recognition and Intelligent Human-Robot Interaction. IEEE Sensors Journal, 1–1.

- Chen, Lifei, & Wang, Shengrui. 2012. Automated Feature Weighting in Naive Bayes for High-dimensional Data Classification. Pages 1243–1252 of: Proceedings of the 21st ACM International Conference on Information and Knowledge Management. CIKM '12. New York, NY, USA: ACM.
- Choi, C., & Kim, S. J. 2019. Preliminary Studies of SEMG-Based Finger Gesture Classification for Smart Watch Application Using Deep Learning. Pages 562–563 of: 2019 14th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI).
- Church, Alex, Kenrick, Ethan, Park, Yun, Hudlass-Galley, Luke, Krishan Sachdeva, Anmol, Yang, Zhiyu, McIntosh, Jess, & Bennett, Peter. 2018. CuffLink: A Wristband to Grab and Release Data Between Devices. Pages LBW136:1–LBW136:6 of: Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. CHI EA '18. New York, NY, USA: ACM.
- Costante, G., Porzi, L., Lanz, O., Valigi, P., & Ricci, E. 2014 (9). Personalizing a smartwatch-based gesture interface with transfer learning. Pages 2530–2534 of: 2014 22nd European Signal Processing Conference (EUSIPCO).
- Darbar, Rajkumar, Dash, Punyashlok, & Samanta, Debasis. 2016. ETAO Keyboard: Text Input Technique on Smartwatches. Procedia Computer Science, 84, 137 – 141. Proceeding of the Seventh International Conference on Intelligent Human Computer Interaction (IHCI 2015).
- Delva, M. L., Sakr, M., Chegani, R. S., Khoshnam, M., & Menon, C. 2018 (8). Investigation into the Potential to Create a Force Myography-based Smart-home Controller for Aging Populations. Pages 770–775 of: 2018 7th IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (Biorob).
- Dobbelstein, David, Haas, Gabriel, & Rukzio, Enrico. 2017. The Effects of Mobility, Encumbrance, and (Non-)Dominant Hand on Interaction with Smartwatches. Page 90–93 of: Proceedings of the 2017 ACM International Symposium on Wearable Computers. ISWC '17. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery.
- Dunlop, Mark, & Levine, John. 2012. Multidimensional Pareto Optimization of Touchscreen Keyboards for Speed, Familiarity and Improved Spell Checking. Pages 2669–2678 of: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. CHI '12. New York, NY, USA: ACM.
- Dunlop, Mark D., & Montgomery Masters, Michelle. 2008. Investigating Five Key Predictive Text Entry with Combined Distance and Keystroke Modelling. Personal Ubiquitous Comput., 12(8), 589–598.

- Dunlop, Mark D., Komninou, Andreas, & Durga, Naveen. 2014. Towards High Quality Text Entry on Smartwatches. Pages 2365–2370 of: CHI '14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. CHI EA '14. New York, NY, USA: ACM.
- Dwivedi, Bharat, Misra, Archan, & Lee, Youngki. 2016. Demo: Drumming Application Using Commodity Wearable Devices. Pages 101–101 of: Proceedings of the 14th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services Companion. MobiSys '16 Companion. New York, NY, USA: ACM.
- Fabola, A., Miller, A., & Fawcett, R. 2015 (Sept). Exploring the past with Google Cardboard. Pages 277–284 of: 2015 Digital Heritage, vol. 1.
- Ferrari, A., Galli, V., Puccinelli, D., & Giordano, S. 2017 (6). On the usage of smart devices to augment the user interaction with multimedia applications. Pages 1–9 of: 2017 IEEE 18th International Symposium on A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM).
- Gelormini, D., & Bishop, B. 2013 (July). Optimizing the android virtual keyboard: A study of user experience. Pages 1–4 of: Multimedia and Expo Workshops (ICMEW), 2013 IEEE International Conference on.
- Genaro Motti, Vivian, & Caine, Kelly. 2014. Understanding the Wearability of Head-mounted Devices from a Human-centered Perspective. Pages 83–86 of: Proceedings of the 2014 ACM International Symposium on Wearable Computers. ISWC '14. New York, NY, USA: ACM.
- Giang, Wayne C. W., Shanti, Inas, Chen, Huei-Yen Winnie, Zhou, Alex, & Donmez, Birsan. 2015. Smartwatches vs. Smartphones: A Preliminary Report of Driver Behavior and Perceived Risk While Responding to Notifications. Page 154–161 of: Proceedings of the 7th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications. AutomotiveUI '15. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery.
- Gkournelos, Christos, Karagiannis, Panagiotis, Kousi, Niki, Michalos, George, Koukas, Spyridon, & Makris, Sotiris. 2018. Application of Wearable Devices for Supporting Operators in Human-Robot Cooperative Assembly Tasks. Procedia CIRP, 76, 177 – 182. 7th CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems (CATS 2018).
- Go, K., Kikawa, M., Kinoshita, Y., & Mao, X. 2019. Eyes-Free Text Entry with Edge-Write Alphabets for Round-Face Smartwatches. Pages 183–186 of: 2019 International Conference on Cyberworlds (CW).

- Gong, Jun, Yang, Xing-Dong, & Irani, Pourang. 2016. WristWhirl: One-handed Continuous Smartwatch Input Using Wrist Gestures. Pages 861–872 of: Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology. UIST '16. New York, NY, USA: ACM.
- Greenwald, Scott W., Vazquez, Christian D., & Maes, Pattie. 2015. TakeTwo: Using Google Glass for Augmented Memory. Pages 161–161 of: Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. CHI EA '15. New York, NY, USA: ACM.
- Gromov, B., Guzzi, J., Abbate, G., Gambardella, L., & Giusti, A. 2019. Video: Pointing Gestures for Proximity Interaction. Pages 370–370 of: 2019 14th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI).
- Guo, L., Cock, J. De, & Aaron, A. 2018 (6). Compression Performance Comparison of x264, x265, libvpx and aomenc for On-Demand Adaptive Streaming Applications. Pages 26–30 of: 2018 Picture Coding Symposium (PCS).
- Horbylon Nascimento, T., Alphonsus Alves De Melo Nunes Soares, F., Alves Vieira, M., Paula Felix, J., Gonçalves Mombach, J., Mancine Coelho De Campos, L., Galvão Rodrigues, W., Flavio De Miranda, W., & Martins Da Costa, R. 2019 (July). Using Smartwatches as an Interactive Movie Controller: A Case Study with the Bandersnatch Movie. Pages 263–268 of: 2019 IEEE 43rd Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), vol. 2.
- Horbylon Nascimento, Thamer, & Soares, Fabrizzio. 2021. Home Appliance Control Using Smartwatches with Continuous Gesture Recognition. Pages 122–134 of: Streitz, Norbert, & Konomi, Shin'ichi (eds), Distributed, Ambient and Pervasive Interactions. Cham: Springer International Publishing.
- Horbylon Nascimento, Thamer, Ferreira, Cristiane B. R., Rodrigues, Wellington G., & Soares, Fabrizzio. 2020. Interaction with Smartwatches Using Gesture Recognition: A Systematic Literature Review. Pages 1661–1666 of: 2020 IEEE 44th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC).
- Hou, N. C., Hong, N. S., On, C. K., & Teo, J. 2011 (Oct). Infinite Mario Bros AI using Genetic Algorithm. Pages 85–89 of: 2011 IEEE Conference on Sustainable Utilization and Development in Engineering and Technology (STUDENT).
- Huihui, L. 2019. Surface Gesture as Extension Usage Scenario of Smart Watch. Pages 385–389 of: 2019 IEEE 10th International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS).

- Ike, Tsukasa, Nakasu, Toshiaki, & Yamauchi, Yasunobu. 2014. Contents-aware Gesture Interaction Using Wearable Motion Sensor. Pages 5–8 of: Proceedings of the 2014 ACM International Symposium on Wearable Computers: Adjunct Program. ISWC '14 Adjunct. New York, NY, USA: ACM.
- Jacob, L. B., Kohwalter, T. C., Machado, A. F. V., Clua, E. W. G., & d. Oliveira, D. 2014 (Nov). A Non-intrusive Approach for 2D Platform Game Design Analysis Based on Provenance Data Extracted from Game Streaming. Pages 41–50 of: 2014 Brazilian Symposium on Computer Games and Digital Entertainment.
- Jiang, S., Lv, B., Sheng, X., Zhang, C., Wang, H., & Shull, P. B. 2016 (12). Development of a real-time hand gesture recognition wristband based on sEMG and IMU sensing. Pages 1256–1261 of: 2016 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO).
- Jiang, S., Lv, B., Guo, W., Zhang, C., Wang, H., Sheng, X., & Shull, P. B. 2018. Feasibility of Wrist-Worn, Real-Time Hand, and Surface Gesture Recognition via sEMG and IMU Sensing. IEEE Transactions on Industrial Informatics, **14**(8), 3376–3385.
- Joselli, M., da Silva, J. Ricardo, Zamith, M., Clua, E., Pelegriño, M., Mendonça, E., & Soluri, E. 2012 (Sept). An architecture for game interaction using mobile. Pages 1–5 of: 2012 IEEE International Games Innovation Conference.
- Joshi, M., Khobragade, R., Sarda, S., Deshpande, U., & Mohan, S. 2012 (Nov). Object-Oriented Representation and Hierarchical Reinforcement Learning in Infinite Mario. Pages 1076–1081 of: 2012 IEEE 24th International Conference on Tools with Artificial Intelligence, vol. 1.
- Kartsch, V., Benatti, S., Mancini, M., Magno, M., & Benini, L. 2018. Smart Wearable Wristband for EMG based Gesture Recognition Powered by Solar Energy Harvester. In: 2018 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS).
- Kefer, Kathrin, Holzmann, Clemens, & Findling, Rainhard Dieter. 2016. Comparing the Placement of Two Arm-Worn Devices for Recognizing Dynamic Hand Gestures. Pages 99–104 of: Proceedings of the 14th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multi Media. MoMM '16. New York, NY, USA: ACM.
- Kerber, Frederic, Schardt, Philipp, & Löchtefeld, Markus. 2015. WristRotate: A Personalized Motion Gesture Delimiter for Wrist-worn Devices. Pages 218–222 of: Proceedings of the 14th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia. MUM '15. New York, NY, USA: ACM.
- Keyboard, Minuum. 2008. Minuum Keyboard.

- Kim, Ji-Hae, Hong, Gwang-Soo, Kim, Byung-Gyu, & Dogra, Debi P. 2018. deepGesture: Deep learning-based gesture recognition scheme using motion sensors. Displays, **55**, 38 – 45. *Advances in Smart Content-Oriented Display Technology*.
- Kitchenham, Barbara. 2004. Procedures for Performing Systematic Reviews. Vol. 33. Keele University.
- Knighten, J., McMillan, S., Chambers, T., & Payton, J. 2015 (3). Recognizing social gestures with a wrist-worn smartband. Pages 544–549 of: 2015 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communication Workshops (PerCom Workshops).
- Kristensson, P.O., & Denby, L.C. 2011. Continuous Recognition and Visualization of Pen Strokes and Touch-Screen Gestures. EUROGRAPHICS Symposium on Sketch-Based Interfaces and Modeling.
- Kronbauer, Artur Henrique, Gomes, Fabio Fonseca, & Araujo, Brunno Brito. 2015. Remote Home: A Universal Control for Residential Environments. Page 213–216 of: Proceedings of the 21st Brazilian Symposium on Multimedia and the Web. WebMedia '15. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery.
- Kubo, Yuki, Shizuki, Buntarou, & Tanaka, Jiro. 2016. B2B-Swipe: Swipe Gesture for Rectangular Smartwatches from a Bezel to a Bezel. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. Page 3852–3856.
- Kurihara, Kazutaka. 2015. Toolification of Games: Achieving Non-game Purposes in the Redundant Spaces of Existing Games. Pages 31:1–31:5 of: Proceedings of the 12th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology. ACE '15. New York, NY, USA: ACM.
- Laput, Gierad, Xiao, Robert, & Harrison, Chris. 2016. ViBand: High-Fidelity Bio-Acoustic Sensing Using Commodity Smartwatch Accelerometers. Pages 321–333 of: Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology. UIST '16. New York, NY, USA: ACM.
- Lewand, Robert. 2000. Cryptological Mathematics. Baltimore.
- Li, Hong, Chawla, Shishir, Li, Richard, Jain, Sumeet, Abowd, Gregory D., Starner, Thad, Zhang, Cheng, & Plötz, Thomas. 2018a. Wristwash: Towards Automatic Handwashing Assessment Using a Wrist-Worn Device. Page 132–139 of: Proceedings of the 2018 ACM International Symposium on Wearable Computers. ISWC '18. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery.

- Li, J., Krasula, L., Callet, P. Le, Li, Z., & Baveye, Y. 2018b (6). Quantifying the Influence of Devices on Quality of Experience for Video Streaming. Pages 308–312 of: 2018 Picture Coding Symposium (PCS).
- Li, Y., Yang, N., Li, L., Liu, L., & Yang, Y. 2018c. Finger gesture recognition using a smartwatch with integrated motion sensors. Web Intelligence, **16**(2), 123–129.
- Li, Y., Wang, T., Khan, A., Li, L., Li, C., Yang, Y., & Liu, L. 2018 (7). Hand Gesture Recognition and Real-time Game Control Based on A Wearable Band with 6-axis Sensors. Pages 1–6 of: 2018 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN).
- Liang, X., Heidari, H., & Dahiya, R. 2017 (9). Wearable Capacitive-Based Wrist-Worn Gesture Sensing System. Pages 181–184 of: 2017 New Generation of CAS (NGCAS).
- Liang, X., Ghannam, R., & Heidari, H. 2019. Wrist-Worn Gesture Sensing With Wearable Intelligence. IEEE Sensors Journal, **19**(3), 1082–1090.
- Lim, S.-C., Shin, J., Kim, S.-C., & Park, J. 2015. Expansion of smartwatch touch interface from touchscreen to around device interface using infrared line image sensors. Sensors (Switzerland), **15**(7), 16642–16653.
- Lin, Xinye, Chen, Yixin, Chang, Xiao-Wen, Liu, Xue, & Wang, Xiaodong. 2018. SHOW: Smart Handwriting on Watches. Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol., **1**(4).
- Lin, Yu-Cheng. 2013. The Relationship between Touchscreen Sizes of Smartphones and Hand Dimensions. Pages 643–650 of: Stephanidis, Constantine, & Antona, Margherita (eds), Universal Access in Human-Computer Interaction. Applications and Services for Quality of Life. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Luna, M. M., Carvalho, T. P., Soares, F. A. A. M. N., Nascimento, H. A. D., & Costa, R. M. 2017 (7). Wrist Player: A Smartwatch Gesture Controller for Smart TVs. Pages 336–341 of: 2017 IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), vol. 2.
- Maereg., Andualem, Lou., Yang, Secco., Emanuele, & King., Raymond. 2020. Hand Gesture Recognition based on Near-infrared Sensing Wristband. Pages 110–117 of: Proceedings of the 15th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications - HUCAPP,. SciTePress.
- Magrofuoco, N., Pérez-Medina, J., Roselli, P., Vanderdonckt, J., & Villarreal, S. 2019. Eliciting Contact-Based and Contactless Gestures With Radar-Based Sensors. IEEE Access, **7**, 176982–176997.

- Mezari, A., & Maglogiannis, I. 2018. An Easily Customized Gesture Recognizer for Assisted Living Using Commodity Mobile Devices. Journal of Healthcare Engineering, **2018**.
- Mezari, Antigoni, & Maglogiannis, Ilias. 2017. Gesture Recognition Using Symbolic Aggregate Approximation and Dynamic Time Warping on Motion Data. Pages 342–347 of: Proceedings of the 11th EAI International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare. PervasiveHealth '17. New York, NY, USA: ACM.
- Microsoft. 2015. The Analog Keyboard Project.
- Moazen, D., Sajjadi, S. A., & Nahapetian, A. 2016 (1). AirDraw: Leveraging smart watch motion sensors for mobile human computer interactions. Pages 442–446 of: 2016 13th IEEE Annual Consumer Communications Networking Conference (CCNC).
- Morganti, Elisa, Angelini, Leonardo, Adami, Andrea, Lalanne, Denis, Lorenzelli, Leandro, & Mugellini, Elena. 2012. A Smart Watch with Embedded Sensors to Recognize Objects, Grasps and Forearm Gestures. Procedia Engineering, **41**, 1169 – 1175. International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors 2012 (IRIS 2012).
- Mukasa, Tomoyuki, Murakami, Shintaro, & Tung, Tony. 2016. Virtual Interior Stylization. Pages 5:1–5:1 of: ACM SIGGRAPH 2016 Appy Hour. SIGGRAPH '16. New York, NY, USA: ACM.
- Nascimento, T. H., Soares, F. A. A. M. N., Irani, P. P., d. Oliveira, L. L. G., & d. S. Soares, A. 2017 (July). Method for Text Entry in Smartwatches Using Continuous Gesture Recognition. Pages 549–554 of: 2017 IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), vol. 2.
- Nascimento, T. H., d. M. N. Soares, F. A. A., Oliveira, D. V., Salvini, R. L., d. Costa, R. M., & Gonçalves, C. 2017 (Nov). Method for Text Input with Google Cardboard: An Approach Using Smartwatches and Continuous Gesture Recognition. Pages 223–226 of: 2017 19th Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR).
- Nascimento, T. Horbylon, de Melo Nunes Soares, F. Alphonsus Alves, do Nascimento, H. Alexandre Dantas, Salvini, R. Lopes, Luna, M. Machado, Gonçalves, C., & de Souza, E. Faria. 2018 (7). Interaction with Platform Games Using Smartwatches and Continuous Gesture Recognition: A Case Study. Pages 253–258 of: 2018 IEEE 42nd Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), vol. 02.
- Nascimento, Thamer H., Soares, Fabrizio Alphonsus A. M. N., Ferreira, Cristiane B. R., Oliveira, Leandro L. G., Soares, Anderson S., Irani, Pourang P., & Vieria, Marcos A.

2016. Text Input in Smartwatches Based Gestures Using Geometric Shape. Pages 42:1–42:4 of: Proceedings of the 15th Brazilian Symposium on Human Factors in Computer Systems. IHC '16. New York, NY, USA: ACM.
- Nascimento, Thamer Horbylon. 2015. Método de Entrada de Texto Baseada em Gestos para Dispositivos com Telas ensíveis ao Toque. M.Phil. thesis, Universidade Federal de Goiás.
- Nascimento, Thamer Horbylon, & Soares, Fabrizzio. 2020. WatchControl: A Control for Interactive Movie Using Continuous Gesture Recognition in Smartwatches. Journal of Information Processing, **28**, 643–649.
- Nascimento, Thamer Horbylon, Soares, Fabrizzio Alphonus A. M. N., Nascimento, Hugo A. D., Vieira, Marcos Alves, Carvalho, Thyago Peres, & Miranda, Wesley Flávio de. 2019. Netflix Control Method Using Smartwatches and Continuous Gesture Recognition. Pages 1–4 of: 2019 IEEE Canadian Conference of Electrical and Computer Engineering (CCECE).
- Nebeling, Michael, To, Alexandra, Guo, Anhong, de Freitas, Adrian A., Teevan, Jaime, Dow, Steven P., & Bigham, Jeffrey P. 2016. WearWrite: Crowd-Assisted Writing from Smartwatches. Pages 3834–3846 of: Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. CHI '16. New York, NY, USA: ACM.
- Netflix. 2019. Interactive content on Netflix.
- Oakley, Ian, & Lee, Doyoung. 2014a. Interaction on the Edge: Offset Sensing for Small Devices. Pages 169–178 of: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. CHI '14. New York, NY, USA: ACM.
- Oakley, Ian, & Lee, Doyoung. 2014b. Interaction on the Edge: Offset Sensing for Small Devices. Pages 169–178 of: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. CHI '14. New York, NY, USA: ACM.
- Oakley, Ian, & Lee, Doyoung. 2014c. Interaction on the Edge: Offset Sensing for Small Devices. Pages 169–178 of: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. CHI '14. New York, NY, USA: ACM.
- Oney, Stephen, Harrison, Chris, Ogan, Amy, & Wiese, Jason. 2013. ZoomBoard: A Diminutive Qwerty Soft Keyboard Using Iterative Zooming for Ultra-small Devices. Pages 2799–2802 of: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. CHI '13. New York, NY, USA: ACM.

- Park, Taiwoo, Lee, Uichin, MacKenzie, Scott, Moon, Miri, Hwang, Inseok, & Song, Junehwa. 2014. Human Factors of Speed-based Exergame Controllers. Pages 1865–1874 of: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. CHI '14. New York, NY, USA: ACM.
- Patterson, K. 2017 (March). Genome gazing: A 360° stereoscopic animation for Google cardboard. Pages 439–439 of: 2017 IEEE Virtual Reality (VR).
- Pietroszek, K., Tahai, L., Wallace, J. R., & Lank, E. 2017 (3). Watchcasting: Freehand 3D interaction with off-the-shelf smartwatch. Pages 172–175 of: 2017 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI).
- Ramcharitar, Adrian, & Teather, Robert J. 2017. A Fitts' Law Evaluation of Video Game Controllers: Thumbstick, Touchpad and Gyrosensor. Pages 2860–2866 of: Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. CHI EA '17. New York, NY, USA: ACM.
- Rapp, Amon, & Cena, Federica. 2015. Affordances for Self-tracking Wearable Devices. Pages 141–142 of: Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers. ISWC '15. New York, NY, USA: ACM.
- Ray, A. B., & Deb, S. 2016 (Dec). Smartphone Based Virtual Reality Systems in Classroom Teaching — A Study on the Effects of Learning Outcome. Pages 68–71 of: 2016 IEEE Eighth International Conference on Technology for Education (T4E).
- Ruiz-Navas, S., & Miyazaki, K. 2017 (7). Adapting Technological Capabilities for World Digital Business: The Case of Netflix. Pages 1–10 of: 2017 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET).
- Rupprecht, F., Heck, B., Hamann, B., & Ebert, A. 2019. Signal-processing transformation from smartwatch to Arm movement gestures. Advances in Intelligent Systems and Computing, 781, 109–121.
- Rupprecht, Franca Alexandra, Ebert, Achim, Schneider, Andreas, & Hamann, Bernd. 2017. Virtual Reality Meets Smartwatch: Intuitive, Natural, and Multi-Modal Interaction. Pages 2884–2890 of: Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. CHI EA '17. New York, NY, USA: ACM.
- Seklou, K., Kokkinos, P., Tselikas, N. D., & Boukouvalas, A. C. 2019. Monitoring and Management of Home Appliances with NETCONF and YANG. Page 25–32 of: Proceedings of the 23rd Pan-Hellenic Conference on Informatics. PCI '19. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery.

- Shi, Bowen, Yang, Ji, Huang, Zhanpeng, & Hui, Pan. 2015. Offloading Guidelines for Augmented Reality Applications on Wearable Devices. Pages 1271–1274 of: Proceedings of the 23rd ACM International Conference on Multimedia. MM '15. New York, NY, USA: ACM.
- Siddhuria, Shaishav, Malacria, Sylvain, Nancel, Mathieu, & Lank, Edward. 2018. Pointing at a Distance with Everyday Smart Devices. Pages 173:1–173:11 of: Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. CHI '18. New York, NY, USA: ACM.
- Sørensen, Patrikk D., Olsen, Jepph M., & Risi, Sebastian. 2016. Interactive Super Mario Bros Evolution. Pages 41–42 of: Proceedings of the 2016 on Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion. GECCO '16 Companion. New York, NY, USA: ACM.
- Speir, Jessica, Ansara, Rufino R., Killby, Colin, Walpole, Emily, & Girouard, Audrey. 2014. Wearable Remote Control of a Mobile Device: Comparing One- and Two-handed Interaction. Pages 489–494 of: Proceedings of the 16th International Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices & Services. MobileHCI '14. New York, NY, USA: ACM.
- Summers, J., Brecht, T., Eager, D., & Gutarin, A. 2016 (7). Characterizing the workload of a netflix streaming video server. Pages 1–12 of: 2016 IEEE International Symposium on Workload Characterization (IISWC).
- Taheri, Sona, Mammadov, Musa, & Bagirov, Adil M. 2011. Improving Naive Bayes Classifier Using Conditional Probabilities. Pages 63–68 of: Proceedings of the Ninth Australasian Data Mining Conference - Volume 121. AusDM '11. Darlinghurst, Australia, Australia: Australian Computer Society, Inc.
- Tian, J., Liu, J., Liang, S., Ning, Y., Li, H., & Zhao, G. 2016 (Nov). Wireless transmission system for motion sensing game controller based on low power Bluetooth technology. Pages 1318–1322 of: 2016 IEEE 13th International Conference on Signal Processing (ICSP).
- Truong, Hoang, Nguyen, Phuc, Bui, Nam, Nguyen, Anh, & Vu, Tam. 2017. Demo: Low-power Capacitive Sensing Wristband for Hand Gesture Recognition. Pages 21–21 of: Proceedings of the 9th ACM Workshop on Wireless of the Students, by the Students, and for the Students. S3 '17. New York, NY, USA: ACM.
- Truong, Hoang, Zhang, Shuo, Muncuk, Ufuk, Nguyen, Phuc, Bui, Nam, Nguyen, Anh, Lv, Qin, Chowdhury, Kaushik, Dinh, Thang, & Vu, Tam. 2018. CapBand: Battery-Free Successive Capacitance Sensing Wristband for Hand Gesture Recognition. Page

- 54–67 of: Proceedings of the 16th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems. SenSys '18. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery.
- Villani, V., Sabattini, L., Riggio, G., Secchi, C., Minelli, M., & Fantuzzi, C. 2017. A Natural Infrastructure-Less Human–Robot Interaction System. IEEE Robotics and Automation Letters, **2**(3), 1640–1647.
- Villani, Valeria, Sabattini, Lorenzo, Battilani, Nicola, & Fantuzzi, Cesare. 2016. Smartwatch-Enhanced Interaction with an Advanced Troubleshooting System for Industrial Machines. IFAC-PapersOnLine, **49**(19), 277 – 282. 13th IFAC Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems HMS 2016.
- Visuri, Aku, Sarsenbayeva, Zhanna, van Berkel, Niels, Goncalves, Jorge, Rawassizadeh, Reza, Kostakos, Vassilis, & Ferreira, Denzil. 2017. Quantifying sources and Types of Smartwatch Usage Sessions. Pages 3569–3581 of: Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. CHI '17. New York, NY, USA: ACM.
- Volkinburg, K. Van, & Washington, G. 2017. Development of a Wearable Controller for Gesture-Recognition-Based Applications Using Polyvinylidene Fluoride. IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems, **11**(4), 900–909.
- Vu, Tran Huy, Misra, Archan, Roy, Quentin, Wei, Kenny Choo Tsu, & Lee, Youngki. 2018. Smartwatch-Based Early Gesture Detection & Trajectory Tracking for Interactive Gesture-Driven Applications. Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol., **2**(1).
- Wang, W., Liang, X., Assaad, M., & Heidari, H. 2019. Wearable Wristworn Gesture Recognition Using Echo State Network. Pages 875–878 of: 2019 26th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS).
- Wen, Hongyi, Ramos Rojas, Julian, & Dey, Anind K. 2016. Serendipity: Finger Gesture Recognition Using an Off-the-Shelf Smartwatch. Pages 3847–3851 of: Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. CHI '16. New York, NY, USA: ACM.
- Wu, J., Tian, Z., Sun, L., Estevez, L., & Jafari, R. 2015 (6). Real-time American Sign Language Recognition using wrist-worn motion and surface EMG sensors. Pages 1–6 of: 2015 IEEE 12th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN).
- Xu, Cheng, & Lyons, Kent. 2015. Shimmering Smartwatches: Exploring the Smartwatch Design Space. Page 69–76 of: Proceedings of the Ninth International Conference

- on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction. TEI '15. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery.
- Yeo, Hui-Shyong, Lee, Juyoung, Bianchi, Andrea, & Quigley, Aaron. 2016. WatchMI: Pressure Touch, Twist and Pan Gesture Input on Unmodified Smartwatches. Pages 394–399 of: Proceedings of the 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services. MobileHCI '16. New York, NY, USA: ACM.
- Yeo, Hui-Shyong, Lee, Juyoung, Kim, Hyung-il, Gupta, Aakar, Bianchi, Andrea, Vogel, Daniel, Koike, Hideki, Woo, Woontack, & Quigley, Aaron. 2019. WRIST: Watch-Ring Interaction and Sensing Technique for Wrist Gestures and Macro-Micro Pointing. In: Proceedings of the 21st International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services. MobileHCI '19. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery.
- Yoo, Soojeong, & Parker, Callum. 2015. Controller-less Interaction Methods for Google Cardboard. Pages 127–127 of: Proceedings of the 3rd ACM Symposium on Spatial User Interaction. SUI '15. New York, NY, USA: ACM.
- Yoon, H., Park, S., & Lee, K. 2017 (10). DeLightTouch: Light sensor assisted multi-touch gestures on unmodified commodity smartwatches. Pages 993–995 of: 2017 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC).
- Zafar, A., & Mujtaba, H. 2012 (Dec). Identifying Catastrophic Failures in Offline Level Generation for Mario. Pages 62–67 of: 2012 10th International Conference on Frontiers of Information Technology.
- Zaidi, Nayyar A., Cerquides, Jesús, Carman, Mark J., & Webb, Geoffrey I. 2013. Alleviating Naive Bayes Attribute Independence Assumption by Attribute Weighting. J. Mach. Learn. Res., **14**(1), 1947–1988.
- Zhang, Cheng, Yang, Junrui, Southern, Caleb, Starner, Thad E., & Abowd, Gregory D. 2016. WatchOut: Extending Interactions on a Smartwatch with Inertial Sensing. Pages 136–143 of: Proceedings of the 2016 ACM International Symposium on Wearable Computers. ISWC '16. New York, NY, USA: ACM.
- Zhang, Y., Liu, B., & Liu, Z. 2018 (3). WristMouse: Wearable mouse controller based on pressure sensors. Pages 177–180 of: 2018 IEEE 15th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN).

- Zhang, Y., Liu, B., & Liu, Z. 2019. Recognizing Hand Gestures With Pressure-Sensor-Based Motion Sensing. IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems, **13**(6), 1425–1436.
- Zhu, A., Lin, P., & Cheng, S. 2012. Design and Realization of Home Appliances Control System Based on the Android Smartphone. Pages 56–59 of: 2012 International Conference on Control Engineering and Communication Technology.
- Zhu, P., Zhou, H., Cao, S., Yang, P., & Xue, S. 2018 (8). Control with Gestures: A Hand Gesture Recognition System Using Off-the-Shelf Smartwatch. Pages 72–77 of: 2018 4th International Conference on Big Data Computing and Communications (BIGCOM).