



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS  
FACULDADE DE COMPUTAÇÃO

Isabela Lopes Maués Batista

# **O Uso da Informação Tátil em Jogos Digitais: Um estudo de caso aplicado ao jogo Pong**

Belém

2021

Isabela Lopes Maués Batista

# **O Uso da Informação Tátil em Jogos Digitais: Um estudo de caso aplicado ao jogo Pong**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na Faculdade de Computação do Instituto de Ciências Exatas e Naturais como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Universidade Federal do Pará

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Marcelle Pereira Mota  
Prof. Dr. Dionne Cavalcante Monteiro

Belém

2021

Solicite sua ficha catalográfica em: <<http://bcficat.ufpa.br/>>

Isabela Lopes Maués Batista

## **O Uso da Informação Tátil em Jogos Digitais: Um estudo de caso aplicado ao jogo Pong**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na Faculdade de Computação do Instituto de Ciências Exatas e Naturais como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Conceito: \_\_\_\_\_

Belém, 22 de dezembro de 2021.

### **BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marcelle Pereira Mota** - Orientadora  
ICEN / Faculdade de Computação

---

**Prof. Dr. Dionne Cavalcante Monteiro** - Coorientador  
ICEN / Faculdade de Computação

---

**Prof. Dr. Raimundo Viégas Junior**  
ICEN / Faculdade de Computação

---

**Prof. Dr. Josivaldo de Souza Araújo**  
ICEN / Faculdade de Computação

*À todos que ajudaram a fazer este trabalho se tornar realidade.*

# Agradecimentos

No encerramento desse ciclo, quero agradecer primeiramente a Deus, pela vida e saúde para poder perseverar em busca de meus sonhos. Aos meus pais por todo apoio, amor, carinho e dedicação. A Diego por toda atenção, carinho e apoio dispensados, muito importantes na conclusão dessa etapa da vida academia. Aos meus professores, mestres e incentivadores, que me guiaram ao longo dessa jornada em busca do conhecimento e na construção de valores que me acompanharão por toda a vida e, finalmente; a Universidade Federal do Pará, através de seus servidores, pelo acolhimento e apoio ao longo dessa jornada acadêmica chamada graduação. Atores sem os quais essa jornada não seria possível.

*“Quando se concentra no que lhe falta, você perde o que tem. Quando se concentra no que tem, você consegue o que lhe falta.”*  
*(Greg McKeown, 2021)*

# Resumo

Jogos são utilizados para objetivos além do entretenimento. No entanto, mesmo com toda a popularidade, ainda ocorrem problemas, como (i) não ser possível o jogador receber *feedback* do jogo e (ii) não ser possível distinguir as respostas do jogo. Este trabalho tem como objetivo abordar esses dois problemas no contexto da acessibilidade e estudar o potencial do uso de uma tecnologia em relação às técnicas tradicionais de comunicação de eventos em jogos digitais. Neste trabalho foi proposto e desenvolvido um protótipo de pulseira vibratória capaz de comunicar ao usuário padrões de vibração correspondentes aos eventos de um jogo digital. O jogo escolhido para ser integrado à tecnologia e utilizado nos testes com usuários finais foi o jogo Pong e teve 5 dos seus eventos mapeados em 5 padrões de vibração distintos. O sistema foi submetido a uma avaliação de interação humano-computador por um método de observação com 10 usuários finais em potencial para obtenção de dados preliminares sobre sua aceitação pelo público ao qual é destinado: à todos. No geral, a percepção dos participantes foi positiva. As considerações feitas pelos participantes nos aspectos físico e visual foram principalmente nos quesitos do tamanho e da ergonomia do protótipo desenvolvido. A partir da análise dos resultados obtidos, pode-se concluir que há uma oportunidade da indústria, não apenas de jogos, para aproveitar melhor o conceito de *feedback* tátil para a transmissão de informações, seja por meio da criação de dispositivos de finalidade específico como o apresentado neste trabalho ou por meio da extensão das funcionalidades dos dispositivos já existentes e amplamente utilizados.

**Palavras-chave:** Feedback Tátil. Jogos Digitais. Computação vestível.



# Abstract

Games are used for purposes other than entertainment. However, even with all the popularity, problems still occur, such as (i) the player not being able to receive game feedback and (ii) not being able to distinguish the game responses. This work aims to address these two problems in the context of accessibility and study the potential of using a technology in relation to traditional event communication techniques in digital games. In this work, a prototype of a vibrating wristband capable of communicating vibration patterns corresponding to events in a digital game to the user was proposed and developed. The game chosen to be integrated with the technology and used in tests with end users was the Pong game and had 5 of its events mapped into 5 different vibration patterns. The system underwent a human-computer interaction assessment by an observation method with 10 potential end users to obtain preliminary data on its acceptance by the target audience, everyone. Overall, the participants' perception was positive. The considerations made by the participants in the physical and visual aspect were mainly in terms of size and ergonomics of the prototype developed. From the analysis of the results obtained, it can be concluded that there is an opportunity for the industry, not only the game industry, to make better use of the concept of tactile feedback for the transmission of information, either through the creation of specific purpose devices such as the presented in this work or through the extension of the functionalities of the already existing and widely used devices.

**Keywords:** Tactile Feedback. Digital Games. Wearable Computing.

# Lista de Figuras

Figura 1.	Modelo de sistemas embarcados. . . . .	22
Figura 2.	Componentes utilizados no sistema embarcado. Da esquerda para a direita, motor de vibração, ESP32 e caixa para pilhas. . . . .	26
Figura 3.	Jogo Pong usado na implementação. . . . .	27
Figura 4.	Parte inferior do contentor que tem o contato direto com o braço do usuário. . . . .	29
Figura 5.	Parte superior do contentor, com visualização da entrada USB da caixa e compartimento do motor de vibração. . . . .	29
Figura 6.	Alças em elástico e velcro. . . . .	29
Figura 7.	Componentes e Tecnologias do Sistema. . . . .	30
Figura 8.	Modelo 3D do contentor. . . . .	31
Figura 9.	Modelo 3D da tampa do contentor. . . . .	32
Figura 10.	Posicionamento do motor de vibração no contentor. . . . .	32
Figura 11.	Posicionamento e orientação do ESP32 no contentor. . . . .	33
Figura 12.	Posicionamento da caixa para pilhas. . . . .	33
Figura 13.	Posicionamento das alças no contentor. . . . .	33
Figura 14.	Atividades do teste de usabilidade. . . . .	36
Figura 15.	Porcentagem de padrões de vibração reconhecidas. . . . .	44
Figura 16.	Percentagem de opiniões sobre a duração dos padrões de vibração. . . . .	44
Figura 17.	Percentagem de opiniões do intervalo entre vibrações de um padrão de vibração. . . . .	45

# Lista de tabelas

Tabela 1.	Materiais utilizados, suas quantidades e seus valores unitários. . . . .	18
Tabela 2.	Eventos monitorados do jogo e seus respectivos padrões de vibração. .	31
Tabela 3.	Perfil da participante do teste piloto. . . . .	37
Tabela 4.	Perfil dos participantes. . . . .	39

# Lista de abreviaturas e siglas

IHC	Interação Humano Computador
TA	Tecnologia Assistiva
VCC	<i>Voltage Common Collector</i>
GND	<i>Graduated Neutral Density filter</i>
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
<b>1.1</b>	<b>Contribuições do trabalho</b>	<b>15</b>
<b>1.2</b>	<b>Motivação</b>	<b>16</b>
<b>1.3</b>	<b>Justificativa</b>	<b>16</b>
<b>1.4</b>	<b>Objetivos</b>	<b>17</b>
1.4.1	Objetivo Geral	17
1.4.2	Objetivos Específicos	17
<b>1.5</b>	<b>Metodologia</b>	<b>18</b>
1.5.1	Materiais	18
1.5.2	Métodos	19
<b>1.6</b>	<b>Trabalhos Relacionados</b>	<b>19</b>
<b>1.7</b>	<b>Estrutura do trabalho</b>	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>22</b>
<b>2.1</b>	<b>Sistemas computacionais e Interação Humano Computador</b>	<b>22</b>
2.1.1	Sistemas Embarcados	22
2.1.2	Dispositivo háptico	23
2.1.3	Usabilidade	23
2.1.4	Acessibilidade	24
2.1.5	Tecnologia Assistiva	24
<b>2.2</b>	<b>Jogos digitais</b>	<b>24</b>
2.2.1	Jogabilidade	25
<b>2.3</b>	<b>O jogo Pong</b>	<b>25</b>
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b>	<b>26</b>
<b>3.1</b>	<b>Desenvolvimento do Sistema Embarcado</b>	<b>26</b>
3.1.1	Projeto de Circuito	27
3.1.2	Código fonte	27
<b>3.2</b>	<b>Desenvolvimento dos Componentes de Software do Jogo</b>	<b>27</b>
<b>3.3</b>	<b>Integração entre o Sistema Embarcado e o Jogo</b>	<b>27</b>
<b>3.4</b>	<b>Confecção e Montagem da Pulseira</b>	<b>28</b>
3.4.1	Contendor do Sistema Embarcado	28
3.4.2	Alça da Pulseira	29
<b>3.5</b>	<b>Funcionamento Geral</b>	<b>30</b>
<b>3.6</b>	<b>Funcionamento Específico dos Componentes do Sistema</b>	<b>30</b>
<b>3.7</b>	<b>Passos para a implementação</b>	<b>31</b>

<b>3.8</b>	<b>Manual do Usuário</b>	<b>34</b>
<b>4</b>	<b>TESTE DO SISTEMA COM USUÁRIOS FINAIS</b>	<b>35</b>
<b>4.1</b>	<b>Sobre a Avaliação</b>	<b>35</b>
4.1.1	Método de Avaliação	35
4.1.2	Preparação para a Avaliação	36
4.1.3	Materiais da Avaliação	37
<b>4.2</b>	<b>Realização dos Testes</b>	<b>37</b>
4.2.1	Realização do Teste Piloto	37
4.2.1.1	Perfil dos Participantes	38
<b>4.3</b>	<b>Resultados Obtidos</b>	<b>39</b>
4.3.1	Opinião dos participantes sobre a pulseira	40
4.3.1.1	Opinião dos participantes sobre o tamanho da pulseira	40
4.3.1.2	Opinião dos participantes sobre o peso da pulseira	40
4.3.1.3	Opinião dos participantes quanto a alimentação do sistema	40
4.3.1.4	Opinião dos participantes quanto a relação conforto versus benefício e sobre a viabilidade do uso da pulseira enquanto joga	40
4.3.1.5	O que os participantes gostaram sobre a pulseira	41
4.3.1.6	O que os participantes não gostaram sobre a pulseira	42
4.3.1.7	O que os participantes mudariam sobre a pulseira	42
4.3.2	Opinião dos participantes sobre os eventos mapeados e padrões de vibração	42
4.3.2.1	Relação entre a quantidade de eventos e padrões de vibração que os participantes conseguiram identificar e relacionar	43
4.3.2.2	Opinião dos participantes quanto a duração e o aprendizado dos padrões de vibração	44
4.3.2.3	Opinião dos participantes sobre espaçamento de tempo entre os os eventos e vibrações	45
4.3.2.4	Opinião dos participantes quanto a recordação dos padrões de vibração	45
4.3.3	Opinião dos participantes sobre a possibilidade de alterar algum padrão de vibração	46
4.3.3.1	Opinião dos participantes quanto a possibilidade de além de poder jogar os jogos no modo silencioso ou com uso de fones de ouvido, poder jogar no modo de vibração	46
4.3.4	Opinião dos participantes quanto à questões de Privacidade	47
4.3.5	Opinião dos participantes quanto ao uso da pulseira em jogos já existentes	47
4.3.6	Opinião dos participantes quanto a praticabilidade de um jogo onde os eventos são informados exclusivamente por meio de vibrações e se os mesmos o jogariam	47
4.3.7	Opinião dos participantes quanto a aplicabilidade da pulseira fora do ambiente de jogos digitais	47
4.3.8	Opinião dos participantes quanto ao atendimento de suas necessidades	48

4.3.9	Opinião dos participantes quanto a aquisição do produto caso fosse disponibilizado no mercado . . . . .	48
4.4	<b>Análise dos Resultados Obtidos . . . . .</b>	<b>49</b>
5	<b>CONCLUSÃO . . . . .</b>	<b>50</b>
5.1	<b>Dificuldades e Limitações na Construção do Trabalho . . . . .</b>	<b>50</b>
5.2	<b>Trabalhos Futuros . . . . .</b>	<b>51</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>52</b>
	<b>APÊNDICE A – FORMULÁRIO DO TESTE COM USUÁRIOS. . .</b>	<b>54</b>

# 1 Introdução

Jogos digitais são utilizados para objetivos além do entretenimento sendo a segunda indústria de mídia com maior receita, o equivalente a cerca de 160 bilhões de dólares no ano de 2020 (GUTTMANN, 2021), indicativo de sua grande popularidade. No entanto, mesmo com toda a popularidade ainda foi possível em pesquisas como de Yuan constatar problemas como (i) não ser possível o jogador receber *feedback* do jogo e (ii) não ser possível distinguir as respostas do jogo (YUAN; FOLMER; HARRIS, 2010).

Portanto, após uma revisão de trabalhos relacionados, foi proposto e desenvolvido um protótipo de pulseira vibratória em sistema embarcado capaz de comunicar ao usuário padrões de vibração correspondentes as eventos de um jogo digital em Python. O jogo escolhido para ser integrado à tecnologia e utilizado nos testes com usuários finais foi o jogo Pong e teve 5 dos seus eventos mapeados em 5 padrões distintos.

O sistema também foi submetido ao teste com usuários finais por meio de uma avaliação de IHC, onde as considerações negativas feitas pelos participantes no aspecto físico e visual foram principalmente nos quesitos do tamanho e da ergonomia. Os participantes também foram questionados sobre os quesitos de aprendizado e recordação dos padrões de vibração apresentados durante a atividade do teste. Todos os resultados são dispostos e discutidos anonimamente e demonstram um resultado preliminar positivo sobre a aceitação dos usuários ao produto desenvolvido.

## 1.1 Contribuições do trabalho

Neste trabalho foi feito o desenvolvimento de uma pulseira com ferramentas de código aberto, grátis e utilizando materiais relativamente mais acessíveis quando comparados aos valores dos equipamentos disponíveis no mercado como visto na Tabela 1. Além disso, as instruções e materiais como códigos fontes foram disponibilizados no Github para replicação da tecnologia apresentada neste trabalho, consultar ???. Portanto o trabalho pode ser usado como ponto de partida para a realização de experimentações com o conceito já testado com usuários finais e que apresenta resultados preliminares satisfatórios.

Quanto à atividade de avaliação do protótipo de pulseira, foi realizada uma avaliação de IHC, descrita no Capítulo 4, onde foram levantados os principais pontos de melhoria e extraída a opinião dos usuários sobre o protótipo de pulseira vibratória desenvolvido e a experiência desses usuários ao usá-la ao jogar o jogo Pong. Adicionalmente foram elencados cenários onde os participantes conseguiam imaginar a aplicação da tecnologia fora do ambiente de jogos digitais, para expandir a noção sobre possíveis aplicabilidades



do conceito.

Unindo as respostas dos participantes e a leitura dos trabalhos relacionados, percebeu-se que a tecnologia também possui um potencial de atender pessoas com deficiência quando utilizada como um meio de resposta ao usuário quanto tecnologia assistiva, apoiando mais pesquisas no campo da acessibilidade.

## 1.2 Motivação

A motivação do projeto surgiu a partir do interesse pessoal da autora em experiência do usuário, em especial no campo da acessibilidade. O usuário sempre surge com novas necessidades que vão além das funcionalidades convencionais e pura preferência estética quando se trata do design da aplicação.

A escolha de jogos digitais como sistema a ser usado em experimentos, apesar do potencial de aplicação em sistemas com outros propósitos se deve à crucialidade da informação referente aos eventos para a experiência do usuário, sendo fundamental para que o usuário se mantenha interessado em utilizar o sistema. Além disso, sistemas de jogos digitais costumam fazer uso de acessórios adicionais dentre seus periféricos, como fones de ouvido e controles. Portanto a criação de uma nova tecnologia pode significar que a mesma possa ser incorporada aos acessórios já existentes ou possa fazer parte do conjunto de equipamentos que o usuário já utiliza, objetivando a mesma praticidade.

Outra ponto importante é a relação do custo para a produção do protótipo em comparação aos preços dos dispositivos encontrados no mercado que poderiam vir a incluir a mesma funcionalidade proposta neste trabalho. O preço desses dispositivos como controles de videogames, smartphones e pulseiras ou relógios inteligentes está bem acima do total da soma dos materiais utilizados observados na Tabela 1. A oportunidade de criar uma tecnologia que não só fosse disponibilizada para a replicação, mas que apresentasse o menor custo de produção possível dentre os recursos disponíveis, foi uma grande motivação tanto para a escolha dos materiais utilizados quanto para o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, um dos objetivos da carreira profissional da autora é seguir criando *softwares* e tecnologias cada vez mais inclusivas, ou como neste trabalho, criar tecnologias que aproximem os usuários do sistema. Portanto, a escolha do tema e a definição da proposta foram uma forma de expressar seus ideais como profissional de tecnologia da informação.

## 1.3 Justificativa

Segundo Mäenpää Heidi, utilizar respostas hápticas mostrou-se a solução mais fácil de se implementar durante a produção para a otimização de jogos para pessoas com

deficiência auditiva (MÄENPÄÄ, 2014). Portanto, ao criar meios, como o dispositivo proposto neste trabalho, para que seja possível implementar tal adaptação em jogos, cria-se oportunidade para que essa prática seja difundida especialmente nas novas gerações de jogos digitais que estão por vir. Ou seja, essa iniciativa pode vir a criar uma discussão acadêmica sobre o tema e atrair a atenção da indústria de jogos atual e de seus consumidores, devido à popularidade do jogo escolhido para implementação dos testes, e assim promover o uso e o desenvolvimento de tecnologias mais inclusivas.

## 1.4 Objetivos

Este projeto tem como objetivo abordar esses dois problemas no contexto da acessibilidade e estudar o potencial do uso de uma tecnologia em relação às técnicas tradicionais de comunicação de eventos do jogo, como o uso de legendas que segundo Zryd podem ter um efeito negativo na imersão do usuário (ZRYD, 2017). Além disso, propõe-se que a tecnologia desenvolvida poderia melhorar a experiência do usuário no quesito da imersão, já que os recursos disponíveis atualmente dividem a atenção do jogador já que o mesmo usa sua visão para ambas informações, tanto às visuais do jogo, quanto às descrições de informações sonoras como legendas e gráficos que indicam o eventos ocorridos no jogo.

Nesta seção são apresentados os objetivos geral e específicos deste trabalho. É definida a proposta do que será feito em marcos importantes para a realização deste estudo e obtenção dos resultados apresentados em Capítulo 4.

### 1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver e testar com usuários finais uma tecnologia capaz de comunicar informações comumente transmitidas por estímulos visuais e sonoros em jogos de maneira alternativa e possivelmente mais imersiva que os modos citados anteriormente. Para isso, foi feito um estudo e implementação do conceito de uma pulseira vibratória capaz de indicar os eventos ocorridos em um jogo digital, onde a tecnologia foi desenvolvida e testada com usuários finais para indiciar o potencial da transmissão de informação tátil em jogos digitais por meio de um estudo aplicado ao jogo Pong.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

Inicialmente foi feita uma revisão de literatura, para reconhecer o estado do arte da acessibilidade em jogos. Em seguida, foi definida a contribuição deste para trabalho por meio da criação de um projeto da tecnologia. Com o projeto definido, foi feito o desenvolvimento do sistema e a integração do protótipo de pulseira com um jogo digital.

Para concluir, foi elaborado o plano de teste com usuários, feito os testes e realizada a escrita do artigo. Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Buscar por trabalhos relacionados
- Definir o Projeto da Tecnologia
- Desenvolver uma Tecnologia em Sistema Embarcado
- Integrar a Tecnologia com um Jogo Digital
- Elaborar um Plano de testes com usuários
- Testar o protótipo com usuários
- Escrita do Trabalho

## 1.5 Metodologia

A pesquisa teve uma abordagem quanti-qualitativa e teve como foco principal desenvolver e avaliar um sistema que propunha transmitir informações por meio de respostas táteis aos seus usuários no contexto de jogos digitais, de modo que atendesse aos critérios de usabilidade e acessibilidade considerando os indivíduos envolvidos. Trata-se de uma pesquisa de natureza aplicada com objetivo exploratório.

### 1.5.1 Materiais

Como visto em seção 1.2, este trabalho teve como uma das motivações utilizar componentes de baixo custo, com o objetivo de reduzir custos de replicação para contemplar um maior número de pessoas. Para o desenvolvimento do projeto foram utilizados os materiais listados na tabela Tabela 1 a seguir, junto às quantidades nas quais foram consumidos e seus valores unitários atualizados.

Tabela 1. Materiais utilizados, suas quantidades e seus valores unitários.

Materiais	Quantidade	Valor Unitário
Motor de Vibração	1	R\$25,90
ESP32	1	R\$23,83
Jumper	3	R\$0,60
Caixa para pilhas	1	R\$3,50
Pilha AAA	3	R\$5,39
Filamento de PVC para Impressora 3D	6,154m	R\$0,25/m

Fonte: Produzido pela autora.

### 1.5.2 Métodos

O procedimento de pesquisa seguiu as seguintes etapas durante sua realização, almejando a conclusão dos objetivos específicos listados em subseção 1.4.2.

- Definição do escopo a partir do balanço entre viabilidade e o interesse de desenvolvimento na área de pesquisa;
- Busca por trabalhos relacionados e fundamentação teórica;
- Escolha do jogo, das tecnologias e dos materiais a serem utilizados para desenvolvimento do protótipo;
- Escrita do desenvolvimento da tecnologia;
- Preparação e aplicação de testes com usuários finais;
- Escrita e análise dos resultados obtidos
- Escrita e revisão do trabalho.

## 1.6 Trabalhos Relacionados

Os trabalhos relacionados serviram como base empírica para o que foi desenvolvido neste trabalho. São elencados abaixo os trabalhos relacionados mais importantes durante o processo de desenvolvimento e ideação deste trabalho.

O jogo escolhido para este estudo de caso, também foi utilizado em um trabalho relacionado (SAVIDIS; STAMOU; STEPHANIDIS, 2007) onde foi desenvolvida uma versão do jogo que implementa recursos de acessibilidade multimodais como recursos de áudio e recursos hápticos. O jogo foi testado com pessoas com deficiência visual e os resultados apontam que os jogadores obtiveram boas pontuações, possivelmente por conta da simplicidade do jogo. Além disso, após conversas com os participantes foi pontuado que o conceito de jogos acessíveis motivou estes jogadores a jogarem, competirem e interagirem socialmente.

Para indicar o potencial do uso de tecnologias hápticas é possível dizer que em estudos relacionados ao uso de dispositivos capazes de produzir vibrações de acordo com padrões definidos em *software*, é constatado que não apenas é possível codificar informações neste formato como é possível extraí-las e compreendê-las estabelecendo uma comunicação ou auxiliando no sensoriamento do usuário. (JOHNSOR; SEMWAL, 2014; SILVA; PINTO et al., 2018; YAĞANOĞLU; KÖSE, 2018; NOVICH; EAGLEMAN, 2015).

No trabalho de (JOHNSOR; SEMWAL, 2014), a proposta foi mais ousada, foi estudado o uso de três estímulos sensoriais em um ambiente virtualizado em 3D. Por

meio de estímulos do tato, audição e olfato o usuário devia selecionar objetos e colocá-los no local adequado, sendo um estudo que representa o potencial do uso de sentidos não convencionais para fornecer informações ao usuário.

No trabalho de (SILVA; PINTO et al., 2018) buscou-se o método mais eficiente de mapeamento do som em estímulos táteis. Para realizar essa avaliação de diferentes métodos, foi construído um dispositivo que como a tecnologia desenvolvida neste estudo, se valia de um microcontrolador que manipula diversos vibrotactores, com base no som captado por um microfone acoplado ao dispositivo, gerando, assim, os padrões vibratórios perceptíveis ao tato. O desenvolvimento foi realizado em python e sistema embarcado, e os resultados foram colhidos por meio de testes com usuários finais diante da sua capacidade de interpretar os estímulos táteis produzidos. Foi constatado, por exemplo que os usuários apresentaram maior capacidade de retenção do aprendizado com várias sessões de treinamento e teste em momentos diferentes.

No trabalho de (YAĞANOĞLU; KÖSE, 2018) foi desenvolvido um sistema capaz de detectar em tempo real de sons importantes com um dispositivo que usa o conceito de computação vestível e que produz vibrações baseado nos sons captados no ambiente. O público alvo foram as pessoas com deficiência auditiva e os testes foram feitos ao ar livre com o foco principal na acurácia e eficiência do dispositivo quanto ao tempo de resposta.

Também voltado ao mesmo público alvo e usando o conceito de computação vestível e tradução de som capturado em vibrações. tem-se o trabalho de (NOVICH; EAGLEMAN, 2015). O projeto de tecnologia desenvolvido parte do princípio que receptores de toque na pele podem transmitir várias formas de informações abstratas, como palavras em braille, feedback tátil e informações visuais básicas, como bordas e forma e desenvolve uma tecnologia que incorpora uma grande quantidade de motores de vibração em um colete, fazendo uso de computação vestível, para transmitir informações complexas.

o objetivo foi traduzir fonemas e após certo tempo de uso, avaliar se os usuários seriam capazes de interpretar uma linguagem falada sem o auxílio da leitura labial, o que foi um sucesso, mostrando que as pessoas conseguem distinguir e aprender estímulos e padrões de vibrações complexos. O trabalho também indica como proceder para escalar a tecnologia desenvolvida neste trabalho para o uso combinado de mais de um sensor para a vibração, ao sugerir que a distância mínima seja de no mínimo de 6cm entre os motores de vibração, para que a vibração deles sejam diferenciáveis como estímulos distintos, apresentando portanto, um modo para escalar a solução proposta neste trabalho.

Por fim, em (COSTELLO; LAMBERT; KERN, 2019) é observado que pistas não sonoras encontradas nos jogos permitem que os jogadores interpretem informações importantes do jogo e podem atuar como um aviso alternativo, o que também pode ajudar os jogadores. Nesse trabalho foi investigado como a acessibilidade de videogames pode ser melhorada para jogadores com deficiência auditiva por meio de um questionário que

avaliava diversos métodos para implementar a acessibilidade para esse público alvo onde foi possível observar problemas comuns em cada um desses métodos. Foi constatado, por exemplo, que o uso de alternativas como legendas e pistas visuais podem dividir a atenção do jogador ou quando mal implementadas podiam ter sua visualização e interpretação dificultadas, prejudicando a experiência e a imersão do usuário, sendo uma motivação para desenvolver outros métodos para transmitir essas informações ou aprimorar os métodos existentes.

## 1.7 Estrutura do trabalho

Este trabalho é organizado da seguinte forma. Ele possui cinco capítulos iniciando por este: introdução, onde estão dispostas as contribuições do trabalho, motivação, justificativa, objetivos metodologia e onde são apresentados os trabalhos relacionados selecionados, além de apresentar o modo que este trabalho está estruturado. Em seguida tem-se o capítulo de fundamentação teórica que descreve os conceitos utilizados no desenvolvimento e na escrita deste trabalho.

O terceiro capítulo demonstra as etapas de desenvolvimento desde o desenvolvimento do sistema em sistema embarcado e sua integração com o jogo digital escolhido até a montagem da pulseira, indicando o passo a passo para a implementação e fornecendo instruções para a replicação deste trabalho. O capítulo subsequente retrata todo o processo de avaliação ao qual a tecnologia desenvolvida foi submetida, desde a definição do método de avaliação realizado, materiais utilizados ao resultado da avaliação com usuários finais, incluindo o relato referente ao teste piloto.

Por fim, tem-se o Capítulo 5 intitulado Conclusão e as disposições finais sendo trabalhos futuros na seção 5.2 e dificuldades e limitações na construção deste trabalho na seção 5.1. Ao final na Apêndice A, após as referências, é possível encontrar o formulário de perguntas utilizado durante o teste com usuários finais do sistema, para complementar a leitura do Capítulo 4

## 2 Fundamentação Teórica

Nesta seção são descritos os conceitos utilizados durante a escrita e o desenvolvimento deste trabalho. Também consta uma breve descrição sobre o jogo escolhido e uma justificativa para o emprego deste jogo no estudo de caso.

### 2.1 Sistemas computacionais e Interação Humano Computador

#### 2.1.1 Sistemas Embarcados

Um sistema embarcado é um sistema de computação aplicado, geralmente utilizado para uma finalidade específica. Exemplos de sistemas embarcados são: sistema de ignição de automóveis, televisões digitais, câmeras, geladeiras e etc. Entretanto, a definição de um sistema embarcado é difícil de ser definida por ser um conceito que evolui rapidamente. Portanto, várias definições foram criadas ao longo do tempo e que logo se tornaram defasadas (NOERGAARD, 2012).

De modo geral, os sistemas embarcados podem ser representados por um modelo como mostrado na Figura 1. O modelo contém três camadas lógicas: hardware, software do sistema e software de aplicação. A camada de hardware contém todos os componentes físicos do sistema, como a placa, microcontroladores e sensores, enquanto as camadas de software contém todos os softwares que são processados pelo sistema embarcado. Vale a pena notar que as camadas de software são opcionais, enquanto que a de hardware é sempre necessária para qualquer sistema embarcado.

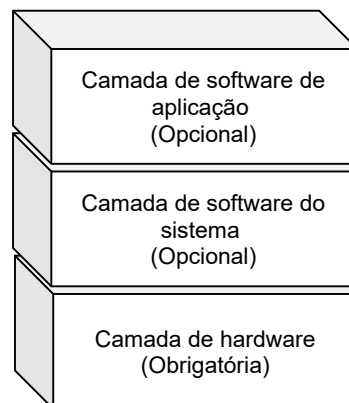


Figura 1. Modelo de sistemas embarcados.

Fonte: Adaptado de (NOERGAARD, 2012).

### 2.1.2 Dispositivo háptico

São dispositivos que fornecem como resposta do sistema ao usuário uma sensação cinestésica ou tátil para usuários. Para gerar essa sensação cinestésica, muitos pesquisadores propuseram diferentes tipos de dispositivos hápticos, como uma ferramenta tipo, tipo de exoesqueleto e tipo de robô serial (YOON; RYU, 2001).

Entre estes, um dispositivo tipo ferramenta na mesa tem sido mais amplamente aceito do que os outros tipos por causa da grande largura de banda, segurança e compactidade (YOON; RYU, 2001). Considerando que sistemas embarcados podem assumir tamanhos reduzidos e pela sua definição de modelo apresentada em Figura 1, a qual permite o desenvolvimento de comportamentos específicos para o sistema e até mesmo interação por meio da camada de aplicação, um dispositivo háptico, como o apresentado neste trabalho, pode ser construído utilizando esse conceito.

### 2.1.3 Usabilidade

A usabilidade é um critério de qualidade em IHC que quando bem aplicada possibilita ao usuário a facilidade de interação e uso sobre as interfaces disponíveis (NIELSEN, 1994; BARBOSA; SILVA, 2010). De acordo com Barbosa et al. (BARBOSA; SILVA, 2010), a usabilidade é formada pela conformidade total com outros 5 conceitos, sendo estes:

- **Facilidade de Aprendizado:** Se refere às quantias de tempo e esforço investidas pelo usuário até que seja capaz de usar plenamente ou suficientemente o sistema proposto.
- **Facilidade de recordação:** Se trata do esforço que o usuário deve realizar para lembrar como utilizar e realizar atividades no sistema.
- **Eficiência:** A eficiência representa o quão rápido um usuário pode atingir seu objetivo. Portanto, a eficiência de um sistema influencia diretamente na produtividade de seus usuários.
- **Segurança no uso:** Diz respeito à capacidade do usuário de realizar e reverter ações no sistema caso elas sejam não intencionais ou não produzam o resultado esperado, o que pode gerar problemas ou levar o usuário a refazer operações e/ou fazer operações adicionais em um sentido contraprodutivo ou prejudicial.
- **Satisfação do usuário:** Avalia a resposta emocional do usuário ao usar o sistema, como ele se sente durante a interação, de forma subjetiva.



### 2.1.4 Acessibilidade

A acessibilidade é o critério de qualidade em IHC cujo objetivo é eliminar barreiras de interação de diversos usuários com o sistema (BARBOSA; SILVA, 2010). O critério de acessibilidade fornece o design e avaliação de um conjunto diversificado de interfaces e, segundo Barbosa et al. (BARBOSA; SILVA, 2010), atendem pessoas que tenham ou não alguma deficiência.

### 2.1.5 Tecnologia Assistiva

Tecnologia Assistiva (TA) é o termo designado para identificar todo conjunto de serviços que ajudam a aprimorar habilidades cognitivas e motoras de pessoas com deficiência ou alguma limitação. O principal objetivo da TA é proporcionar uma vida com maior ampliação de habilidade funcional deficitária, proporcionando maior independência e inclusão social (SARTORETTO; BERSCH, 2017).

## 2.2 Jogos digitais

No estudo (STADZISZ; MIRANDA, 2017) é proposta a definição de jogos digitais como a atividade voluntária, com ou sem interesse material, com propósitos sérios ou não, composta por regras bem definidas e objetivos claros, capazes de envolver os(as) jogadores(as) na resolução de conflitos e que possui resultados variáveis e quantificáveis. Esta atividade deve ser gerenciada por software e executada em hardware. Sendo um elemento de jogos, o *feedback* é uma notificação imediata que mantém os usuários constantemente cientes do seu progresso ou falhas (BASTEN, 2017).

Como exemplos de tipos de jogos de grande aceitação temos os jogos com foco no entretenimento que visam proporcionar divertimento e recreação a seus usuários, jogos sérios e jogos com propósito. Jogos podem ajudar a motivar as pessoas em cenários que, de outra forma, não seriam jogos e envolver os usuários em alta interação (BASTEN, 2017).

Os jogos sérios são jogos que entregam elementos lúdicos em aplicações educativas, com a finalidade de apresentar um conteúdo específico e proporcionar o maior engajamento do público a quem são destinados. Os jogos sérios possuem um papel muito importante na área da saúde, tendo o propósito de auxiliar os profissionais no processo de recuperação do paciente, por exemplo a utilização dos jogos no tratamento de pessoas que possuem dificuldades no aprendizado (BUCHINGER; HOUNSELL, 2013).

Jogos com propósito são uma forma de abordar problemas que não podem ser resolvido satisfatoriamente com sistemas de informação. Os problemas são então transformados, de modo que as pessoas possam resolvê-los como se participassem de um jogo com o objetivo de chegar à uma solução para esse problema (BLOHM; LEIMEISTER, 2013).

### 2.2.1 Jogabilidade

A jogabilidade é tida como um termo vago e ambíguo, por isso a partir de um estudo (PAAVILAINEN, 2020) que buscava definir melhor esse conceito, foi proposto que o mesmo seria formado pela junção dos três conceitos a seguir.

- **Funcionalidade:** descreve a técnica, mecânica ou material qualidade do jogo que está relacionada ao seu bom funcionamento.
- **Usabilidade:** em videogames cobre aspectos como acuidade visual, disposição da interface do usuário, controles, indicadores, resposta ao usuário, terminologia, informações e ajuda, etc. Diz respeito à como as informações do jogo são apresentadas para o jogador e como o jogo é controlado.
- **Gameplay:** Composto pelas regras do jogo que estabelecem a mecânica e a dinâmica do jogo, cobrindo aspectos como objetivos, desafios, progresso e recompensas. Nesse sentido, a jogabilidade seria um indicador de qualidade em jogos. A autora também adverte que uma alta jogabilidade, não é sinônimo ou o suficiente para uma boa experiência de usuário.

## 2.3 O jogo Pong

Neste trabalho foi utilizado o jogo Pong <sup>1</sup> como caso de uso. Pong foi um dos primeiros jogos a serem desenvolvidos em 1972 para o Atari, por Allan Alcorn. O jogo é similar ao esporte tênis, composto por duas raquetes e uma bola, o objetivo do jogo é fazer com que o oponente não consiga rebater o lançamento da bola. Diferente do tênis, o único movimento que um jogador pode realizar é mover a raquete ao longo do eixo y com uma posição fixa no eixo x. O jogo pode ser jogado individualmente contra o computador ou com duas pessoas, e termina, na implementação deste trabalho, quando um jogador faz cinco pontos. Ainda sobre a implementação escolhida, 2 usuários jogam entre si e para os testes, a autora foi a jogadora adversária.

A escolha do jogo Pong foi devido a três motivos: jogo conceituado e conhecido, mecânicas de jogo simples e facilidade de implementação. A realização de testes com usuários requer que o jogo escolhido seja simples, para manter o foco do usuário na experiência de jogo enquanto utilizando a pulseira invés de dar sua atenção para mecânicas de jogo complexas. Portanto, o jogo é uma boa opção por ele ser conhecido e de fácil aprendizado. Além disso, a implementação do jogo é acessível e simples o suficiente para ser implementado neste trabalho.

---

<sup>1</sup> <https://www.ponggame.org/>

## 3 Desenvolvimento

O desenvolvimento do sistema foi feito em quatro passos de desenvolvimento: sistema embarcado, jogo digital, integração do embarcado com o jogo e a confecção da pulseira. Cada passo é detalhado a seguir.

### 3.1 Desenvolvimento do Sistema Embarcado

O objetivo do sistema embarcado é receber sinais por meio de um canal de comunicação sem fio e gerar um padrão de vibração correspondente. Um sinal é uma representação codificada do tipo de padrão a ser gerado.

Com esse objetivo, o embarcado foi desenvolvido por meio do uso de um microcontrolador ESP32 DevKit v1, de um motor de vibração e de um modulo de alimentação por pilhas, tendo também a opção de ser alimentado por um cabo USB. O ESP32 permite a comunicação com outro sistema via Bluetooth ou WiFi e contem portas digitais para controle do motor de vibração.

O motor de vibração é responsável por gerar vibrações binarias, ou seja, com somente dois níveis de vibrações: vibrando ou desligado. A caixa de pilhas fornece 4.5V para o ESP32, com três pilhas palito do tipo AAA. A Figura 2 mostra os componentes do sistema embarcado.

A codificação do servidor a ser executado no ESP32 foi feita utilizando o ambiente de desenvolvimento Arduino. A biblioteca bluetooth do arduino foi utilizada para desenvolver a funcionalidade de comunicação sem fio.

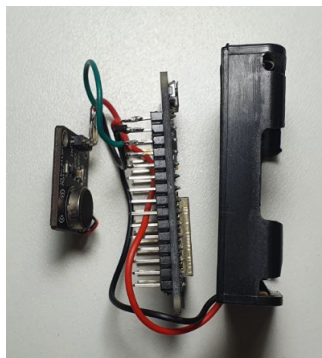


Figura 2. Componentes utilizados no sistema embarcado. Da esquerda para a direita, motor de vibração, ESP32 e caixa para pilhas.

Fonte: Produzido pela autora.

### 3.1.1 Projeto de Circuito

Para o projeto do circuito foi utilizado inicialmente uma mini *protoboard* visando minimizar o tamanho do sistema, ainda na fase de desenvolvimento, para que fosse possível ajustar as tecnologias necessárias com a finalidade de obter o menor sistema final possível, buscando praticidade, ergonomia e melhorar a apresentação, aspecto visual do sistema.

### 3.1.2 Código fonte

O código fonte do projeto pode ser acessado no repositório do Github <sup>1</sup> (BATISTA, 2021). O repositório está com a privacidade definida como público, podendo ser realizado um *fork* para uso pessoal.

## 3.2 Desenvolvimento dos Componentes de Software do Jogo

O *framework* Kivy (ULLOA, 2015) foi utilizado para o desenvolvimento por possibilitar a criação e manipulação de elementos gráficos em Python (ROSSUM; DRAKE, 2009). O mesmo conta com uma versão do Jogo Pong como amostra de suas funcionalidades, a qual foi aproveitada, com as devidas modificações, para uso na demonstração do funcionamento do conceito de resposta tátil ao usuário com uso do protótipo de pulseira apresentado neste trabalho. A Figura 3 mostra o jogo Pong sendo executado.

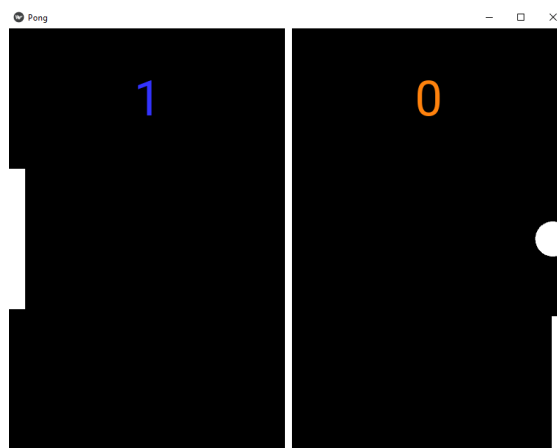


Figura 3. Jogo Pong usado na implementação.

Fonte: Produzido pela autora.

## 3.3 Integração entre o Sistema Embarcado e o Jogo

Para realizar a integração do jogo Pong com o sistema embarcado, foi utilizado o canal de comunicação sem fio Bluetooth. No lado do jogo, foi implementado um servidor

<sup>1</sup> <https://github.com/isamaues/TCC>

que utiliza a biblioteca socket do Python para uso do Bluetooth. O servidor recebe os eventos do jogo Pong, assim enviando para o sistema embarcado o sinal que corresponde a padrão de vibração. No sistema embarcado, a comunicação bluetooth foi implementada com a biblioteca do arduino bluetooth serial (ESPRESSIF, 2021). O uso de ambas as bibliotecas permitiu a implementação do conceito de comunicação por meio de portas seriais.

## 3.4 Confeccção e Montagem da Pulseira

Visando proteger o sistema e abstrair sua apresentação para o usuário, foi confeccionado um envoltório que contem o sistema embarcado, o que neste trabalho é chamado de contentor. Para isso, optou-se pela confecção de um recipiente em plástico por meio do uso da tecnologia de impressão 3D, recurso disponível na universidade. Com o objetivo de conferir ao contentor características de uma pulseira, possibilitando que o mesmo fosse preso ao braço do usuário, foram adicionadas passadores e uma alça em elástico e velcro confeccionada de maneira artesanal, costurada a mão. Para chegar ao design final da pulseira para o protótipo apresentados, passou-se por algumas iterações, tanto no modelo 3D quanto no material da alça da pulseira, os detalhes serão discutidos a seguir.

### 3.4.1 Contentor do Sistema Embarcado

O contentor conteve o ESP32, o motor de vibração e a caixa de pilhas. Seu design foi feito para maximar a amplitude da vibração percebida pelo usuário através da parede de plástico e minimizar seu tamanho. Desta forma, o motor de vibração foi posicionado na parte inferior do contentor, que tem contato direto com o braço do usuário, sendo posicionado de maneira justa em um compartimento. Em seguida, o ESP32 e a caixa de pilhas são posicionados em cima do compartimento do motor de vibração. Vale a pena notar que o contentor tem suporte a uma alça, para ser usado no braço de um usuário.

O modelo 3D foi construído com uso do *software* OpenSCAD (KINTEL, 2021) e o arquivo para impressão foi gerado com o *software* Repetier-Host (KG., 2021). A escolha dos *softwares*, foi devida a familiaridade prévia com essas aplicações, além de serem ferramentas de código aberto e grátis, representando um impacto mínimo nos custos de produção e replicação.

A Figura 4 mostra uma visualização da parte inferior do contentor e da tampa. A Figura 5 mostra a parte superior e interior do contentor.

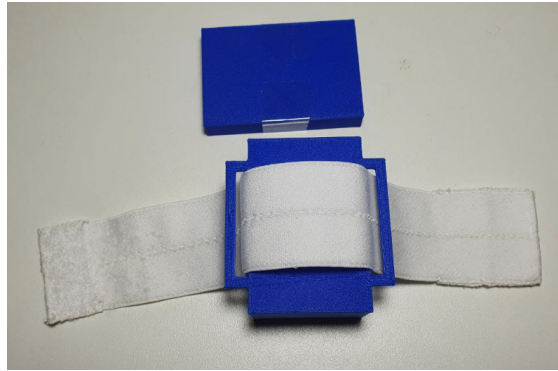


Figura 4. Parte inferior do contentor que tem o contato direto com o braço do usuário.

Fonte: Produzido pela autora.

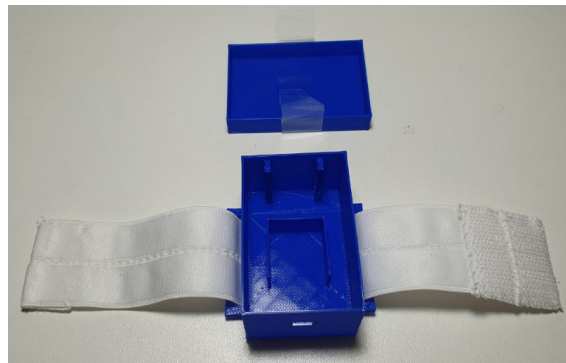


Figura 5. Parte superior do contentor, com visualização da entrada USB da caixa e compartimento do motor de vibração.

Fonte: Produzido pela autora.

### 3.4.2 Alça da Pulseira

A alça da pulseira foi disponibilizada em dois tipos tecido elástico, com a opção de ajuste por velcro além da distensão do elástico. Por ser ajustável, pode se adaptar a diferente volumes. A Figura 6 mostra ambas as braçadeiras.



Figura 6. Alças em elástico e velcro.

Fonte: Produzido pela autora.

### 3.5 Funcionamento Geral

A Figura 7 apresenta os componentes do sistema como dois blocos que se comunicam por meio de uma conexão serial Bluetooth. No primeiro bloco a direita intitulado Computador, é possível observar o sistema responsável por executar o jogo e que implementa um servidor onde os eventos do jogo são traduzidos em padrões de vibrações, representado pelo computador pessoal do usuário.

Os sinais são enviados ao segundo bloco à direita chamado de Sistema Embarcado por meio do canal estabelecido, composto somente pelo computador pessoal do usuário, considerando que o mesmo já possui a tecnologia Bluetooth integrada. O sistema embarcado, composto pelo ESP32 e um motor de Vibração, interpreta as mensagens recebidas por Bluetooth e as transforma no padrão de vibração correspondente, reproduzindo-o e transmitindo à informação referente ao evento ocorrido no jogo ao usuário.

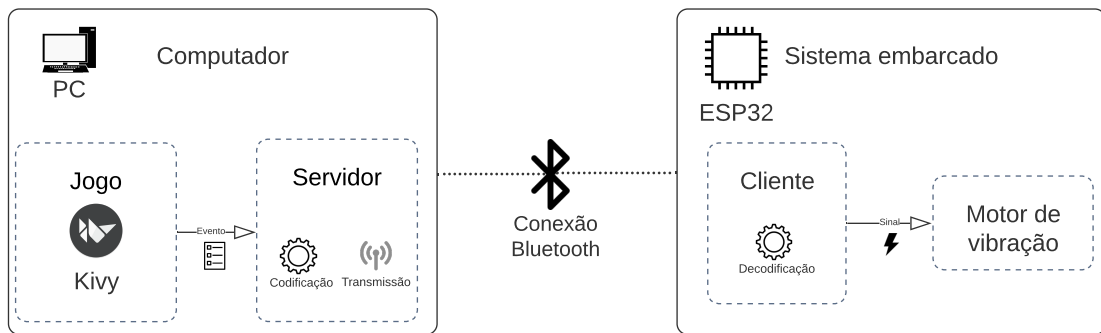


Figura 7. Componentes e Tecnologias do Sistema.

Fonte: Produzido pela autora.

### 3.6 Funcionamento Específico dos Componentes do Sistema

O computador é responsável por executar o jogo e o servidor. O jogo é principal meio de interação do usuário com o sistema. No decorrer de uma partida de Pong, os eventos do jogo são monitorados e comunicados ao servidor. O servidor irá processar os eventos e informar ao sistema embarcado.

A Tabela 2 mostra todos os eventos monitorados pelo servidor. O servidor codifica os eventos do jogo em padrões de vibrações e envia para o sistema embarcado.

Tabela 2. Eventos monitorados do jogo e seus respectivos padrões de vibração.

Evento	Padrão de vibração
Jogador 1 faz um ponto	021xx
Jogador 2 faz um ponto	02121
Bola servida	0xxxx
Bola rebatida por um jogador	1xxxx
Fim da partida	11xxx

Fonte: Produzido pela autora.

Legenda:

0 = Vibração Curta (450ms)

1 = Vibração Longa (700ms)

2 = Intervalo entre as Vibrações (300ms)

x = Sem resposta ao usuário

O sistema embarcado recebe os sinais do servidor via bluetooth, gerando os padrões de vibração correspondentes. O ESP32 funciona como um simples cliente que consome os sinais enviados pelo servidor.

### 3.7 Passos para a implementação

Para replicar o sistema implementado neste trabalho serão necessários os materiais listados na Tabela 1 deste trabalho. Com os materiais em mão, o primeiro passo é produzir o contentor da pulseira com uma impressora 3D utilizando os filamentos de PVC. O modelo do contentor está disponível no repositório deste trabalho (BATISTA, 2021). As Figuras 8 e 9 mostram o modelo do contentor no *software* Repetier-Host (KG., 2021) pronto para impressão.

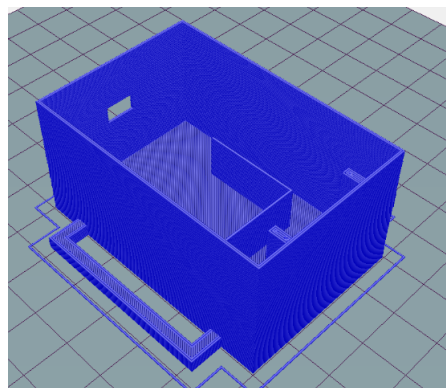


Figura 8. Modelo 3D do contentor.

Fonte: Produzido pela autora.



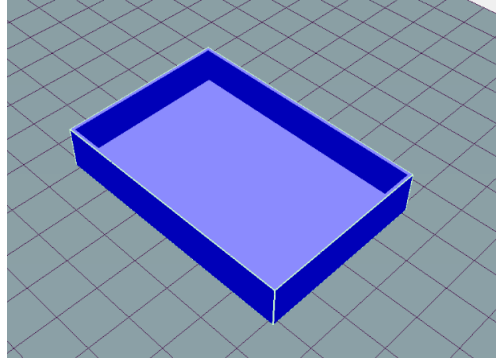


Figura 9. Modelo 3D da tampa do contentor.

Fonte: Produzido pela autora.

O segundo passo é conectar os componentes do sistema, o que foi realizado com o uso de conectores jumpers ou por meio de soldagem. As portas GND, VCC e IN do motor de vibração são conectadas nas portas GND, 3V3 e D15 do ESP32, respectivamente. Em seguida, a caixa para pilhas é conectada nas portas de alimentação do ESP32, VIN e GND.

O terceiro passo é o posicionamento dos componentes dentro do contentor. O primeiro componente a ser posicionado é o motor de vibração. A Figura 10 mostra o encaixe do motor no contentor. Em seguida, o ESP32 é posicionado em cima do motor de vibração com a entrada USB do ESP32 coincidindo com a entrada USB do contentor, como mostrado na Figura 11. Finalmente, a caixa de pilha é posicionada em cima do ESP32, como mostrado na Figura 12. Com esses componentes posicionados, o contentor pode ser fechado com a tampa.

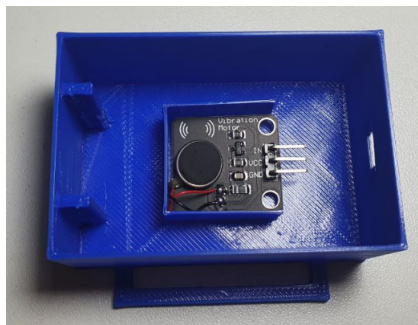


Figura 10. Posicionamento do motor de vibração no contentor.

Fonte: Produzido pela autora.

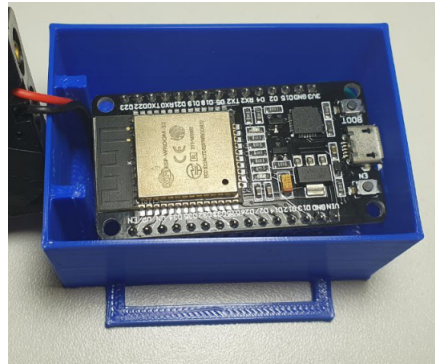


Figura 11. Posicionamento e orientação do ESP32 no contentor.

Fonte: Produzido pela autora.



Figura 12. Posicionamento da caixa para pilhas.

Fonte: Produzido pela autora.

O quarto passo é inserir a alça no contentor, como mostrado na Figura 13.

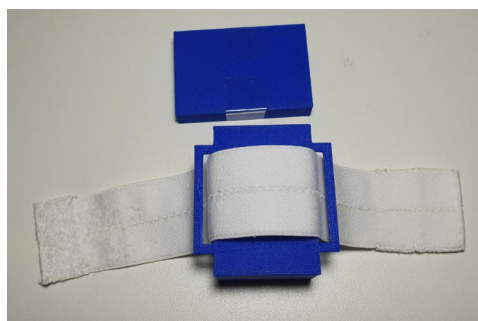


Figura 13. Posicionamento das alças no contentor.

Fonte: Produzido pela autora.

O quinto passo é programar o ESP32 com o código fonte presente no repositório (BATISTA, 2021). Para isso, é necessário usar a entrada USB do contentor para gravação do programa no ESP32. É recomendado utilizar o ambiente de programação do Arduino para esta tarefa.

O sexto passo é a instalação do jogo presente no repositório (BATISTA, 2021) seguindo as instruções nele presente. Com a pulseira construída e o jogo instalado em um computador, é necessário fazer o pareamento Bluetooth entre o computador onde o jogo foi instalado e o ESP32. Com todos os seis passos realizados, a pulseira está pronta para uso junto com o jogo.

### 3.8 Manual do Usuário

A versão do jogo Pong implementada neste trabalho suporta somente o modo com dois jogadores, usando o teclado do computador como controle. Os dois jogadores usam as teclas W, S e ↑ (seta para cima), ↓ (seta para baixo), respectivamente, para controlar as raquetes do jogo.

O ESP32 pode ser energizado utilizando três pilhas AAA ou via o cabo USB, dependendo da preferência do usuário. Para usar pilhas, basta abrir a tampa do contentor e inserir as pilhas na caixa para pilhas. Similarmente, para usar o cabo USB basta fazer seu encaixe via a entrada USB do contentor no ESP32. Para Instruções sobre uso e instalação do sistema, consultar o ??.

## 4 Teste do Sistema com Usuários Finais

Para obter o ponto de vista externo ao ambiente de desenvolvimento do projeto e ter uma noção inicial sobre a aceitação da proposta apresentada, foi reunido um grupo de voluntários para a realização dos testes com a pulseira protótipo apresentada na seção 3.4. Por não haver submissão do projeto ao Comitê de Ética de Pesquisa, não foi possível se aprofundar nos testes com usuários finais, portanto, a fim de evitar causar qualquer frustração à este grupo de usuários finais em potencial durante a realização dos testes, a acessibilidade para pessoas com deficiência não foi incluída como um dos focos da avaliação.

Os testes foram realizados na própria casa da Autora, em ambiente climatizado e isolado de qualquer distração. Os participantes realizaram os testes individualmente, sem qualquer discussão sobre o teste realizados entre os que já haviam realizado os testes e os que aguardam sua vez para a realização. Os testes foram elaborados e aplicados pela autora com uso de ferramentas computacionais para registro e coleta dos dados a serem analisados anonimamente.

Como indicado no TCLE (Termo de Consentimento Livre Esclarecido) lido e assinado pelos participantes antes da realização dos testes, atestando a opção por voluntariarem-se à realização dos testes do protótipo em questão, as informações pessoais coletadas são mantidas em segredo e somente dados anonimizados e mesclados com o resto da população de dados coletada de outros voluntários estarão disponíveis neste trabalho.

### 4.1 Sobre a Avaliação

Nesta seção são descritos os detalhes sobre o método de avaliação escolhido e aplicado neste trabalho. Também são apresentados os materiais utilizados para a elaboração e aplicação da avaliação.

#### 4.1.1 Método de Avaliação

Com o objetivo de identificar problemas reais que os participantes enfrentaram, e não apenas problemas potenciais previstos pelo avaliador como em uma avaliação por inspeção (BARBOSA; SILVA, 2010), o método escolhido foi a Avaliação de IHC através de Observação aplicada por meio do Teste de Usabilidade, cujas atividades estão especificadas na Figura 14.

Quanto a quantidade de participantes nos testes, tem-se ainda em (BARBOSA; SILVA, 2010), que para Dumas e Redish em geral uma avaliação de IHC envolve de 5 a 12 usuários e que para Nielsen apenas 5 usuários são capazes de apontar a maioria

<b>teste de usabilidade</b>	
<b>atividade</b>	<b>tarefa</b>
Preparação	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ definir tarefas para os participantes executarem</li> <li>▪ definir o perfil dos participantes e recrutá-los</li> <li>▪ preparar material para observar e registrar o uso</li> <li>▪ executar um teste-piloto</li> </ul>
Coleta de dados	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ observar e registrar a performance e a opinião dos participantes durante sessões de uso controladas</li> </ul>
Interpretação	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ reunir, contabilizar e sumarizar os dados coletados dos participantes</li> </ul>
Consolidação dos resultados	
Relato dos resultados	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ relatar a performance e a opinião dos participantes</li> </ul>

Figura 14. Atividades do teste de usabilidade.

Fonte: Extraída de (BARBOSA; SILVA, 2010).

dos problemas, cerca de 85% segundo seu experimento. Isto representa uma boa relação custo-benefício embora a população da amostra não seja estatisticamente significava, pois seria necessária uma maior quantidade de tempo, de recursos e de esforços investidos para coletar e analisar um número maior de dados referentes a um número maior de voluntários.

#### 4.1.2 Preparação para a Avaliação

Para a preparação da avaliação foram feitas as seguintes tarefas: definição das tarefas a serem executadas pelos participantes, recrutamento dos participantes, preparação do ambiente, elaboração do material da avaliação e aplicação do teste piloto. A atividade a ser realizada pelos participantes foi jogar o mínimo de uma partida de 5 pontos contra a autora.

Um total de dez participantes foram recrutados para realização da avaliação. Cada participante tem como tarefa jogar uma partida do jogo Pong equipado com a pulseira desenvolvida neste trabalho. Antes da partida, cada participante assinou um termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) e respondeu um formulário de pré-teste, com perguntas de cunho sociodemográfico.

Após o término da partida, o participante tem uma última tarefa de responder o formulário de pós-teste, que contém perguntas referentes a experiência do uso da pulseira. A avaliação foi realizada em um ambiente doméstico, com um cômodo dedicado a aplicação

da avaliação. Como esclarecido no TCLE, cada participante teve sua privacidade garantida durante a avaliação.

### 4.1.3 Materiais da Avaliação

Os questionários da avaliação foram aplicados por meio da ferramenta Google Forms, onde foi elaborado um único questionário contendo as perguntas pré-teste incluindo uma breve descrição do jogo utilizado neste trabalho e as perguntas pós-teste divididas em duas seções distintas a serem preenchidas antes do teste e após o teste respectivamente. Além disso, foram utilizados um computador do tipo Notebook contendo a aplicação e para o acesso e preenchimento do formulário virtualizado, um mouse e o protótipo de pulseira desenvolvido alimentado por um cabo USB.

## 4.2 Realização dos Testes

Como exposto em (BARBOSA; SILVA, 2010) uma atividade não deve demorar mais que 20 minutos para ser executada e a maioria dos usuários se manteve próximo dos 20 minutos para a realização da avaliação como um todo, incluindo o tempo para preenchimento dos formulários. Ao completar os 20 minutos, os participantes foram convidados a fazer uma pausa, para evitar que seu cansaço físico ou mental interferisse no resultado da avaliação. Esse padrão foi exigido tanto para o teste piloto quanto para os participantes do teste principal.

### 4.2.1 Realização do Teste Piloto

Com intuito de avaliar o material elaborado para os testes e assegurar a viabilidade do estudo, foi realizado um teste piloto e a Tabela 3 apresenta o perfil da participante. A fim de não distorcer os resultados, a participante do teste piloto não foi envolvida no estudo principal.

Tabela 3. Perfil da participante do teste piloto.

ID	Faixa Etária	Sexo	Nível de Escolaridade	Grau de Familiaridade com Dispositivos Eletrônicos	Grau de Familiaridade com Jogos Digitais	Conhece o Jogo Pong	Familiaridade, possui ou pretende possuir um Smartwatch
P1	19-30	F	Ensino Superior Incompleto	Baixo	Moderado	Sim	Sim

Fonte: Produzido pela autora.

A participante também se trata de uma pessoa com deficiência física, CID Q78.5, cuja a deficiência não representa qualquer necessidade de adaptação para a condução dos testes. Apesar de os resultados do teste piloto não serem comumente publicados, por serem apenas uma etapa de validação do material a ser aplicado na avaliação, a voluntária forneceu comentários relevantes a serem pontuados neste trabalho.

A participante afirma ter apreciado a mudança na abordagem do projeto que originalmente propunha uma tecnologia assistiva e agora explora a comunicação por meio de respostas táteis de modo geral. Ela comenta ser bom ver esse tipo de tecnologia sendo pensada para todos os usuários, não apenas ao público de pessoas com deficiência que poderiam ser um dos principais beneficiados neste tipo de iniciativa, e que ao expandir o público alvo para todos se mostra um conceito mais inclusivo.

Após a aplicação do teste piloto, algumas das perguntas foram ajustadas de modo a conter termos e expressões simplificadas. As perguntas mais extensas foram desmembradas em duas perguntas com o objetivo de facilitar a compreensão do enunciado. Algumas perguntas se mostraram redundantes e foram reformuladas de modo a diferenciá-las dos outros comandos ou foram removidas por serem respondidas em outro item do questionário.

De modo geral, mesmo com o grande número de questões, o questionário pós-teste não se mostrou cansativo, confuso ou desmotivante para a participante. Para a participante as questões pareceram relevantes e as perguntas finais sobre o potencial da ferramenta a proporcionou um momento para reflexão.

Dentre outros pontos levantado pela participante do teste piloto que podem ser citados, temos o relato da pulseira ajudar na atenção no jogo ao proporcionar um estímulo sensorial do evento ocorrido que remete a sensação de urgência para sua reação no jogo, deixando inclusive mais emocionante, especialmente quando aumentava a velocidade da bola na partida. Por fim, temos a sugestão de aplicação como meio de satisfazer ou conter a inquietação e ansiedade de pessoas neurodivergentes, como um método de manter a pessoa calma e segura.

#### 4.2.1.1 Perfil dos Participantes

Devido à Pandemia Mundial do Coronavírus, houve uma limitação quanto a elegibilidade e disponibilidade das pessoas para a participação nos testes, restringindo-se principalmente às pessoas do círculo familiar e pessoal da autora por questões de praticidade e tangibilidade. A seguir na Tabela 4, estão dispostas de forma anônima as principais informações referentes ao perfil dos participantes coletadas no questionário pré-teste.

Tabela 4. Perfil dos participantes.

ID	Faixa Etária	Sexo	Nível de Escolaridade	Grau de Familiaridade com Dispositivos Eletrônicos	Grau de Familiaridade com Jogos Digitais	Conhece o Jogo Pong	Familiaridade, possui ou pretende possuir um Smartwatch
P1	31-59	M	Ensino Superior Incompleto	Moderado	Moderado	Não	Sim
P2	19-30	F	Ensino Superior Incompleto	Moderado	Alto	Sim	Não
P3	19-30	F	Ensino Superior Completo	Moderado	Alto	Sim	Sim
P4	19-30	M	Ensino Médio Completo	Alto	Alto	Sim	Sim
P5	19-30	M	Ensino Superior Incompleto	Alto	Alto	Sim	Sim
P6	19-30	M	Ensino Superior Completo	Moderado	Moderado	Sim	Sim
P7	31-59	F	Ensino Superior Completo	Moderado	Moderado	Sim	Sim
P8	19-30	F	Ensino Superior Incompleto	Alto	Alto	Sim	Sim
P9	19-30	M	Ensino Superior Incompleto	Alto	Alto	Sim	Sim
P10	13-18	M	Ensino Médio Incompleto	Moderado	Alto	Sim	Não

Fonte: Produzido pela autora.

### 4.3 Resultados Obtidos

Esta seção apresenta um resumo das respostas dos participantes referente a sua experiência no uso da aplicação e do protótipo de pulseira vibratória. Também possui a resposta à uma consulta sobre sua intenção de compra e sobre como os participantes veem o dispositivo em aplicações já existem e possíveis aplicações para a tecnologia desenvolvida.



### 4.3.1 Opinião dos participantes sobre a pulseira

Nesta subseção foram reunidas e sintetizadas todas as respostas às perguntas referentes ao protótipo de pulseira vibratória. Estão incluídas respostas e comentários referentes ao material e às primeiras impressões ao usar o dispositivo. Os participantes também foram convidados à expressar o que não gostaram e o que mudariam sobre a pulseira.

#### 4.3.1.1 Opinião dos participantes sobre o tamanho da pulseira

Seis dos dez participantes apontaram o tamanho da pulseira como grande. Dois participantes apontaram o tamanho como bom e suficiente, partindo da compreensão de que se tratava de um protótipo. Outro participante apontou que o tamanho seria médio.

Também foi mencionado que a pulseira poderia contar com alças de tamanhos variados, voltado à questão regulagem. Por fim, foi mencionado que o formato poderia ser mais ergonômico para aumentar a superfície de contato do contendor com o braço e, assim, colaborar para identificação dos sinais ao aumentar intensidade da vibração percebida.

#### 4.3.1.2 Opinião dos participantes sobre o peso da pulseira

No geral os participantes aprovaram o peso da pulseira, conferindo adjetivos como leve, bom, excelente, ótimo e adequado. Um dos participantes, inclusive mencionou não ser necessário qualquer alteração neste sentido.

#### 4.3.1.3 Opinião dos participantes quanto a alimentação do sistema

Cinco dos dez participantes disseram preferir o uso de pilhas como fonte de alimentação. Um participante preferia o uso de pilhas ou bateria e outro o uso de baterias. Estes participantes estavam motivados, sobretudo pela questão da mobilidade proporcionada pela ausência de cabos. No entanto outros 2 participantes preferem o uso de cabo USB, um deles aponta a questão da economia e da sustentabilidade como razões de sua preferência.

#### 4.3.1.4 Opinião dos participantes quanto a relação conforto versus benefício e sobre a viabilidade do uso da pulseira enquanto joga

Pontuando inicialmente a questão do conforto, na opinião de 6 dos 10 participantes a pulseira se mostrou confortável. Em relação ao desconforto, alguns participantes apresentaram queixas referentes a maleabilidade do material, a regulagem e tamanho da braçadeira e a questão do uso prolongado que pode vir a causar assaduras na pele por se tratar de um velcro.

Noventa por cento dos usuários afirmaram ter considerado fácil o uso da pulseira enquanto joga enquanto 10% considerou média a viabilidade de uso da pulseira enquanto

joga. Dois dos participantes afirmaram não ter tido impacto na jogabilidade e 1 participante relatou que durante o teste o mau contato que resultava em interrupção das vibrações ocorrido impactou na jogabilidade. Outro participante relatou ter achado o dispositivo confortável, porém delicado e demonstrou receio em se movimentar e cuidado em relação ao dispositivo durante a condução dos testes.

Um dos participantes relata não ter percebido um benefício de grande magnitude, mas afirma que quando conseguimos relacionar o movimento da bola e reação da raquete, a jogabilidade fica de certa forma mais imersiva e envolvente. Além do quesito da imersão, outro participante também apontou que a pulseira transmitiu muito bem a sensação de nervosismo proporcionada pelo jogo, referente a tensão no rebater de bola entre os jogadores e a demarcação dos eventos relacionados à pontuação. Para um dos participantes a pulseira ajuda na imersão do jogo, sem anular o estímulo visual.

Dois participantes afirmam que além de confortável, a pulseira é simples e fácil de usar e apresenta uma vibração leve sem causar incômodo, um deles vendo como um benefício no sentido sensorial do jogo. Neste quesito, um participante acredita que a pulseira seja uma ótima opção para aumentar a imersão em determinados jogos e pode ser uma ótima opção para pessoas com baixa sensibilidade em alguns dos sentidos.

Por fim, para um dos participantes a pulseira tem um potencial alto para trazer a sensação tátil para pessoas que nunca experimentaram a sensação de um jogo e cita pessoas com deficiência visual como possíveis beneficiados por esta solução. Ele complementa que a pulseira traz também uma nova experiência em relação a como os jogos podem influenciar em outros sentidos.

#### 4.3.1.5 O que os participantes gostaram sobre a pulseira

Três participantes disseram gostar da vibração, um deles diz ter uma sensação leve e outro diz que a vibração não incomoda. Três participantes pontuam a questão do conforto como algo que gostaram e um deles comenta nesse sentido que a pulseira é fácil de colocar e tirar, é leve e a braçadeira é larga e confortável. Além deste participante, outro comenta sobre a praticidade como algo que o agrada além do conforto e um participante relata que a praticidade e a facilidade do uso se devem ao fato da pulseira não atrapalhar os movimentos da mão.

Um participante falou sobre a rapidez da resposta, desde a ocorrência de um evento à sensação da vibração em seu braço. Outro participante afirma que as vibrações facilitam o entendimento dos eventos do jogo. Por fim, 2 jogadores comentam sobre a pulseira proporcionar uma sensação a mais ao jogar, um novo estímulo.

#### 4.3.1.6 O que os participantes não gostaram sobre a pulseira

Três participantes não apontaram algo que não houvessem gostado sobre a pulseira. No entanto um deles comenta que por se tratar de um protótipo, acredita que o aspecto visual sofrerá aperfeiçoamentos, sendo um indício que é bem vindo a melhorias neste quesito.

Dois participantes relataram queixas quanto às vibrações. Um deles gostaria que a vibração referente à vitória e a vibração referente ao fim de jogo fossem mais longas. O outro participante diz ter tido dificuldade em identificar a vibração devido a baixa intensidade.

Dois participantes comentam sobre a aparente fragilidade do dispositivo. Um deles complementa que apresenta ter mau contato e que poderia ser mais compacta, acrescentando uma queixa quanto ao tamanho do protótipo.

Dois Participantes falaram sobre a questão da mobilidade e um deles diz que a mobilidade é afetada no braço no qual a pulseira está sendo utilizada. O último participante revela ter achado a máxima regulagem disponível apertada em seu pulso o que o gerou um certo desconforto.

#### 4.3.1.7 O que os participantes mudariam sobre a pulseira

Três participantes apontaram a questão da ergonomia como algo que mudariam no protótipo a eles apresentado. Um deles aponta que uma maior ergonomia contribuiria para o conforto e tornaria o uso mais imperceptível. Outro participante comenta que mudaria as formas de graduação e regulagem do comprimento da braçadeira da pulseira, pois ela mostrou-se limitada no atendimento das necessidades daqueles com um pulso mais largo. Um quarto participante que pessoalmente, focaria no quesito da mobilidade.

Três participantes falaram sobre alterações nas vibrações. Um deles falou sobre a duração e sobre as variações nas vibrações, outro falou sobre aumentar a nitidez das vibrações aumentando a intensidade do sinal o último disse que gostaria de um motor de vibração mais forte. Um destes participantes complementa que mudaria o formato da caixinha devido ao modelo atual aparentar quebrar facilmente. Por fim, um participante disse não haver nada que mudaria sobre o protótipo de pulseira.

### 4.3.2 Opinião dos participantes sobre os eventos mapeados e padrões de vibração

Nesta subseção, é apresentada a percepção dos participantes quanto aos eventos mapeados, ou seja, o que eles acharam das respostas que o jogo fornecia às suas ações por meio do dispositivo desenvolvido. Os participantes também foram convidados a sugerir

modificações aos padrões apresentados à eles durante a atividade.

#### 4.3.2.1 Relação entre a quantidade de eventos e padrões de vibração que os participantes conseguiram identificar e relacionar

Metade dos participantes identificaram 2 padrões distintos, 4 participantes identificaram 3 padrões distintos e 1 participante conseguiu identificar apenas 1 em cerca de uma partida de 5 pontos para vitória jogada. Vale a pena notar que haviam um total de 5 padrões, todos os participantes só conseguiram observar no máximo 3 padrões distintos, como mostrado na Figura 15.

Todos os participantes afirmam ter conseguido relacionar os padrões de vibração aos eventos do jogo e afirmam poder citá-los durante o preenchimento do questionário.

O evento citado por todos os participantes foi a vibração curta ocorrida ao rebater a bola com a raquete. Outros eventos citados foram os eventos de marcação de ponto e o de fim de jogo citados por 5 participantes.

Houveram 2 participantes onde um percebeu as vibrações de forma mais abstrata e outro que adicionou um comentário não relacionado à pulseira. O primeiro diz que havia primeiramente um padrão mais lento e suave, e no decorrer do jogo um padrão mais rápido e forte. O segundo aponta as cores dos placares dos jogadores.

Metade dos jogadores acredita que tenha aprendido todos os padrões de vibração do jogo e a outra metade diz não ter aprendido todos, que possivelmente haviam mais padrões que não conseguiu reconhecer em uma partida de 5 pontos para a vitória. Na Figura 15 temos na ordem de aparição em azul: a porcentagem de participantes que reconheceram uma vibração distinta, em vermelho: a porcentagem de participantes que reconheceram duas vibrações distintas e em amarelo: a porcentagem de participantes que reconheceram três vibrações distintas.

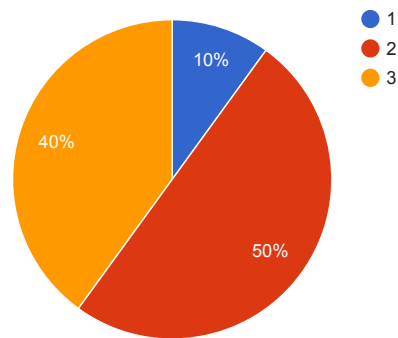


Figura 15. Porcentagem de padrões de vibração reconhecidas.

Fonte: Produzido pela autora.

#### 4.3.2.2 Opinião dos participantes quanto a duração e o aprendizado dos padrões de vibração

Setenta por cento dos participantes julgou como suficiente a duração de cada padrão de vibração, 20% considerou o tempo de duração longo e 10% achou a duração curta, como observado na Figura 16.

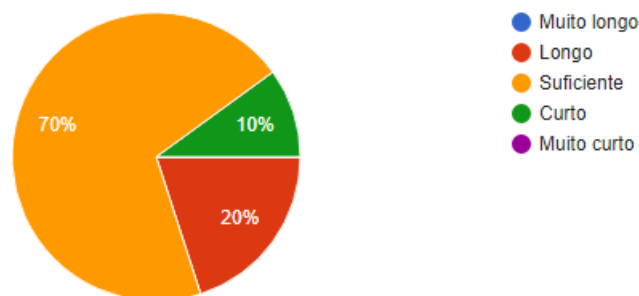


Figura 16. Porcentagem de opiniões sobre a duração dos padrões de vibração.

Fonte: Produzido pela autora.

Quanto ao intervalo entre as vibrações do padrão estar colaborando ou prejudicando o seu reconhecimento como um padrão, a maioria dos participantes, 9 de 10, afirma estar colaborando ou não estar prejudicando o seu reconhecimento como um padrão. Porém, para um participante o intervalo não está colaborando muito para a diferenciação dos padrões, e sugere que aumentar esse intervalo juntamente com a intensidade, possivelmente tornaria mais fácil diferenciar as vibrações do padrão.

#### 4.3.2.3 Opinião dos participantes sobre espaçamento de tempo entre os os eventos e vibrações

No geral os participantes deram respostas positivas à este quesito. Metade dos participantes acharam o espaçamento de tempo bom, satisfatório ou correto. Três participantes afirmaram que estava no tempo certo ou sincronizado com os eventos do jogo, um participante achou que não havia um espaçamento de tempo grande mas perceptível. Além disso, 80% dos participante consideram que o intervalo de tempo entre vibrações de um padrão qualquer é suficiente, como mostrado na Figura 17. De modo geral os participantes não viram um impacto na jogabilidade ou dinâmica de jogo quanto a este quesito e um dos participantes afirma que ficava na expectativa de que houvesse um padrão para cada evento, dado a rapidez na resposta e a quantidade de estímulos percebidos.

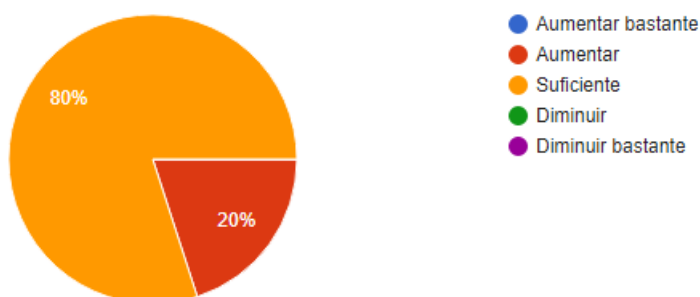


Figura 17. Percentagem de opiniões do intervalo entre vibrações de um padrão de vibração.

Fonte: Produzido pela autora.

#### 4.3.2.4 Opinião dos participantes quanto a recordação dos padrões de vibração

Quando questionados sobre qual padrão foi o mais difícil de aprender e recordar e o que dificultou o aprendizado, dos 2 participantes que não sentiram dificuldade, um disse ter achado o jogo bem simples e didático e o outro mencionou que os padrões que conseguiu aprender era simples de serem assimilados.

Para um participante, o elemento que dificultou o aprendizado foi a distração proporcionada pela rapidez da raquete. Para outro participante o padrão do ponto adversário foi o mais difícil de recordar, pois ganhou de 5x1, portanto não recordava o padrão de ponto adversário.

Um participante relata ter tido dificuldade em aprender os padrões prolongados por conta das falhas no momento do teste. Outro participante relata ter tido maior dificuldade em aprender a vibração mais curta e diz que a falta de costume com a pulseira representou uma dificuldade para ele.

Um participante sentiu dificuldade em diferenciar as vibrações curtas das longas, mas não identificou uma razão específica para isso. O último teve dificuldade em identificar

a vibração descrita por ele como mais lenta por ser mais suave, que para ele seria um pouco difícil de sentir.

Também foi perguntado quantos padrões os participantes conseguiriam lembrar caso viessem a jogar o jogo novamente no futuro. Três participantes disseram que lembrariam 2 padrões, outros 3 participantes. Dois participantes afirmaram que lembrariam apenas de um padrão. Dois participantes responderam o item errado colocando as respostas "sim" e "possivelmente sim". O primeiro afirma ter aprendido 2 padrões e o segundo 3 padrões, mas não é possível inferir quantos padrões eles recordariam caso viessem a jogar o novo no futuro.

#### 4.3.3 Opinião dos participantes sobre a possibilidade de alterar algum padrão de vibração

Três participantes não demonstraram o anseio de modificar quaisquer um dos padrões apresentados a eles. Dois participantes gostariam que as vibrações fossem mais intensas. Para um outro participante as vibrações longas poderiam ter uma duração maior.

Outros 2 participantes sugeriram alterações para a vibração referente à vitória e fim de jogo. Para um deles, a vibração da vitória poderia seguir o ritmo de uma música conhecida e para o outro poderia apenas ser um padrão mais longo e com frequência diferente.

Dois participantes sugeriram vibrações e eventos adicionais aos apresentados e percebidos por eles. O primeiro gostaria que o rebater da bola na parede, assim como o rebater da raquete produzisse uma vibração, enquanto para o último as vibrações do rebater na sua raquete e na raquete do adversário poderiam ter padrões diferentes.

##### 4.3.3.1 Opinião dos participantes quanto a possibilidade de além de poder jogar os jogos no modo silencioso ou com uso de fones de ouvido, poder jogar no modo de vibração

Para todos os participantes a proposta se mostrou interessante, alguns dos adjetivos utilizados foram bom, ótimo e excelente. Um dos participantes apontou o conceito como inovador por propor a utilização de um novo estímulo sensorial e outro disse que ofereceria uma experiência mais imersiva.

Neste sentido outros 3 participantes consideram a ideia uma boa alternativa. Um deles comenta que seria uma nova forma de imersão pois jogar no silencioso pode tirar parte da experiência do jogo, o que a vibração pode compensar ou somar. Outro adiciona que já existem jogos com sistema de vibração, porém, são jogos para dispositivos móveis que fazem proveito do sistema de vibração já embutido no dispositivo e são somente para quando se realiza ações específicas dentro do jogo.

#### 4.3.4 Opinião dos participantes quanto à questões de Privacidade

Todos os participantes afirmaram que a tecnologia respeita sua privacidade.

#### 4.3.5 Opinião dos participantes quanto ao uso da pulseira em jogos já existentes

Oitenta por cento dos participantes vê a pulseira sendo utilizadas em jogos já existentes. Dentre os jogos citados por eles temos Minecraft, jogos de corrida e jogos onde o usuário possui contante interação com objetos como itens consumíveis e armas.

#### 4.3.6 Opinião dos participantes quanto a praticabilidade de um jogo onde os eventos são informados exclusivamente por meio de vibrações e se os mesmos o jogariam

A resposta mais elaborada retrata que se trata de uma proposta interessante, inclusive se os padrões de vibrações fizerem parte do desenvolvimento da história do jogo, como em um quebra-cabeça que faz uso de código morse em suas fases. O participante crê que a proposta é praticável, e afirma que jogaria um jogo como este. Os outros participantes afirmam ser praticável e que jogariam. Um deles diz que jogaria em caso não pudesse usar o áudio e outro comenta que abriria um novo método de imersão. Um dos participantes comenta que acha a proposta super válida e diz que imagina a proposta atendendo pessoas com deficiência visual. Outro afirma ser interessante e possível, sendo algo que valeria a pena ser testado. A exceção fica em um participante que colocou não como resposta, sem justificar ou comentar o motivo de sua resposta.

#### 4.3.7 Opinião dos participantes quanto a aplicabilidade da pulseira fora do ambiente de jogos digitais

Nove dos dez participantes enxergam a aplicabilidade da pulseira fora do ambiente de jogos digitais e apenas 1 participante diz não conseguir imaginar um cenário do tipo. Dentre os cenários apontados temos:

- Uso em casas inteligente e adaptadas para pessoas com deficiência e para uso no cotidiano como extensão da vibração dos smartphones;
- Uso no transito para indicar a sinalização;
- Uso em aulas online;
- Indicação de data e hora, com vibrações correspondentes a estes valores ao invés de olhar para o relógio ou telefone;



- Para comunicar um pedido de ajuda ou mensagem específica;
- Alertar sobre os toques de campainha de casa e alarme de incêndio, por exemplo;
- Pode ser utilizado por um aplicativo de mensagens ou de avisos e lembretes enquanto o aparelho está no silencioso, utilizando o sentido do tato como comunicação;
- Como alertas de fadiga para motoristas cansados, pois nem todos os carros possuem esse sistema integrado onde vibra o volante para espertar o condutor;
- Monitoramento do pulso cardíaco.

#### 4.3.8 Opinião dos participantes quanto ao atendimento de suas necessidades

Para 6 participantes a pulseira atendeu suas necessidades ou expectativa. Um dos participantes relata possuir dificuldade em se concentrar em jogos principalmente com alvos em rápido movimento e que a vibração voltou minha atenção ao jogo de forma mais completa.

Para outros 3 participantes a pulseira revelou necessidades que eles não tinham e um deles comenta que não sabia ter a necessidade de usar a pulseira até usá-la. Outro adiciona que a pulseira o fez sentir estímulos que até então não havia sentido ao jogar um jogo antes.

Divergindo dos demais um participante diz não ver a necessidade do uso da pulseira no Pong por assumir não ter o movimento vibratório da mão. No entanto, ele complementa que em jogos onde o uso de objetos na mão do personagem, por exemplo, armas e bebidas seria interessante.

#### 4.3.9 Opinião dos participantes quanto a aquisição do produto caso fosse disponibilizado no mercado

Noventa por cento dos participantes afirma ter interesse em adquirir o produto caso seja disponibilizado no mercado e um deles complementa que o faria caso a pulseira o proporcionasse uma experiência nova nas atividades do seu dia a dia, mostrando um potencial de aplicação para gamificação das atividades diárias, ou seja fazer uso da tecnologia para aplicar elementos relacionados a jogos em contextos não relacionados a jogos para influenciar o comportamento e motivação do usuário (BASTEN, 2017). Apenas um participante afirma não ter interesse no produto por não ver aplicabilidade para si.

## 4.4 Análise dos Resultados Obtidos

A maioria dos participantes gostou e compraria a pulseira tanto para uso em jogos digitais quanto outras aplicações sendo feitas as melhorias no aspecto visual, material da pulseira, ergonomia, diminuindo o seu tamanho e passando a utilizar uma alimentação sem fios. Foi possível observar em alguns dos participantes um cuidado e um receio quanto a fragilidade do protótipo, tendo ocorrido de fato um mau contato durante a condução do teste como relata um participante. Para cerca de metade dos participantes essa aparente fragilidade e o cabo USB representaram um problema de mobilidade e até mesmo conforto, por não conseguir ficar em uma posição totalmente relaxada no braço em que a pulseira estava.

Ao consultar o perfil dos participantes na Tabela 4 podemos observar que a maioria deles é familiarizado, possui ou deseja possuir pulseiras ou relógios inteligentes. Tal familiaridade com o conceito pode ter influenciado em sua opinião positiva à viabilidade do uso da pulseira enquanto joga e na elaboração de possíveis cenários, fora do ambiente de jogos digitais, onde a pulseira também poderia ser utilizada. Para alguns dos cenários apontados, os smartwatches disponíveis no mercado já atendem essas necessidades como funcionar como extensão dos smartphones, portanto poderia ser uma questão de aumentar as funcionalidades e recursos desses dispositivos já existentes para atender à essas demandas em potencial, ao invés de continuar o desenvolvimento da tecnologia apresentada neste trabalho.

No entanto, o diferencial da pulseira em relação aos smartwatches é que a pulseira, como podemos observar na subseção 4.3.4, respeita a privacidade do usuário, não estando conectada e não fazendo acesso de informações pessoais do usuário. Portanto, assim como um controle de videogame ou mouse, seria apenas um acessório e um periférico dentre os demais utilizados. Neste sentido a pulseira demonstra um potencial grande para ser utilizada em aplicações específicas como meio de resposta do sistema para usuário.

Seria interessante avaliar a mudança de alguns dos padrões de vibração, em especial os padrões referentes à vitória e ao fim de jogo considerando as colocações que os usuários fizeram quanto à facilidade de aprendizado e de recordação, além das sugestões na subseção 4.3.3 referente à possibilidade de alterar algum dos padrões apresentados. No entanto, em uma única partida a maioria dos jogadores disse ter conseguido identificar e disse ser possível recordar no futuro de 2 a 3 dos 5 padrões de vibração mapeados no jogo, no geral os padrões mais simples. Possivelmente, com mais partidas fosse possível para os participantes identificarem e recordarem todos os padrões de vibração disponíveis.

## 5 Conclusão

Neste trabalho foi proposto e desenvolvido um protótipo de pulseira vibratória capaz de comunicar ao usuário padrões de vibração correspondentes as eventos de um jogo digital. O jogo escolhido para ser integrado à tecnologia e utilizado nos testes com usuários finais foi o jogo Pong e teve 5 dos seus eventos mapeados em 5 padrões distintos, como descritos na Tabela 2.

O sistema foi submetido ao teste com usuários finais como descrito no Capítulo 4 e no geral a percepção dos participantes foi positiva. As considerações feitas pelos participantes no aspecto físico e visual foram principalmente nos quesitos do tamanho e da ergonomia. Quanto às vibrações, a maioria dos participantes afirma ter aprendido e ser possível recordar de 2 a 3 padrões distintos com apenas 1 partida jogada antes do preenchimento do questionário pós-teste disponível no Apêndice A.

Segundo um participante a pulseira tem o potencial de ser utilizada por pessoas com deficiência visual, podendo ser observada uma proposta de uso de informações táteis no trabalho relacionado (SAVIDIS; STAMOU; STEPHANIDIS, 2007), mencionado na seção 2.3. No entanto, unindo a fala trazida na subseção 4.2.1 pela participante e pessoa com deficiência, sobre gostar que esse tipo de tecnologia seja pensada para todos os usuários, não apenas ao público de pessoas com deficiência, à análise dos resultados, vemos que todos poderiam se beneficiar desta tecnologia, se mostrando um conceito mais inclusivo ao deixar de ser explorado exclusivamente no contexto da tecnologia assistiva.

Como podemos ver na Capítulo 4, muitos dos usuários possuem pulseiras ou relógios inteligentes e familiaridade alta ou moderada com jogos digitais, estando possivelmente familiarizados com periféricos como controles de jogos digitais. Considerando estes dados junto ao interesse em adquirir um produto como o protótipo desenvolvido neste trabalho e o potencial de aplicação não só em jogos, mas em outros contextos, pode-se concluir que há uma oportunidade da indústria, não apenas de jogos, aproveitar melhor o conceito de *feedback* tátil para a transmissão de informações, seja por meio da criação de dispositivos de finalidade específico como o apresentado neste trabalho ou por meio da extensão das funcionalidades dos dispositivos já existentes e amplamente utilizados.

### 5.1 Dificuldades e Limitações na Construção do Trabalho

Dentre as dificuldades e limitações na construção deste trabalho temos a questão da definição de escopo, tecnologias e público alvo. Inicialmente a proposta era ambiciosa, com muitos pontos a serem abordados o que dificultou em ter clareza sobre a abordagem

que se devia ter durante o desenvolvimento. No começo foram selecionadas ferramentas com as quais a autora não possuía familiaridade e que não colaboravam para o avanço do desenvolvimento código fonte.

Além disso, o contexto da pandemia global do corona vírus, no primeiro momento poderia ser um real impeditivo para a realização dos testes com usuários. Esse contexto também representou uma barreira física entre a autora e a faculdade, pois inicialmente o acesso ao campus era restrito, assim o desenvolvimento foi feito com orientações foram realizadas de forma remota.

Para sanar essas dificuldades e ter um resultado realmente factível, a proposta original foi analisada e o foco passou a ser a tecnologia e a avaliação com usuários. Expectativas como o jogo específico e outras implementações mais complexas foram baixadas, para focar no resultado da interação entre o usuário, o sistema e a pulseira.

## 5.2 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros temos possíveis estudos explorando as aplicabilidades sugeridas pelos participantes dos testes com usuários na subseção 4.3.7 ou outras aplicabilidades de interesse. Pode-se também, replicar este estudo com o foco na acessibilidade para pessoas com deficiência, já que este não foi o foco deste trabalho.

Além disso, há uma pendência quanto a verificação da autonomia e eficiência dessa tecnologia para a implementação realizada neste trabalho. A mesma análise pode ser feita em jogos computacionais mais complexos, com mais eventos mapeados, com mais padrões de vibração distintos, combinando respostas sonoras e visuais para o usuário e assim ter uma noção da escalabilidade e limites na compreensão da informação transmitida por esse método em concorrência aos outros métodos disponíveis.

## Referências

- BARBOSA, S.; SILVA, B. *Interação humano-computador*. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2010. Citado 5 vezes nas páginas 23, 24, 35, 36 e 37.
- BASTEN, D. Gamification. *Ieee Software*, IEEE Computer Society, v. 34, n. 05, p. 76–81, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 48.
- BATISTA, I. L. M. *Repositório do Projeto*. 2021. Disponível em: <<https://github.com/isamaues/TCC>>. Citado 4 vezes nas páginas 27, 31, 33 e 34.
- BLOHM, I.; LEIMEISTER, J. M. Gamification. *Business & information systems engineering*, Springer, v. 5, n. 4, p. 275–278, 2013. Citado na página 24.
- BUCHINGER, D.; HOUNSELL, M. da S. Jogos sérios competitivo-colaborativos: um mapeamento sistemático da literatura. In: *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*. [S.l.: s.n.], 2013. v. 24, n. 1, p. 275. Citado na página 24.
- COSTELLO, R.; LAMBERT, M.; KERN, F. How can accessibility for deaf and hearing-impaired players be improved in video games? *International Journal of R&D Innovation Strategy (IJRDIS)*, IGI Global, v. 1, n. 1, p. 16–32, 2019. Citado na página 20.
- ESPRESSIF, E. *Espressif/arduino-ESP32: Arduino core for the ESP32*. 2021. Disponível em: <<https://github.com/espressif/arduino-esp32>>. Citado na página 28.
- GUTTMANN, A. *Estimated media revenue worldwide in 2020, by category*. 2021. Disponível em: <[statista.com/statistics/1132706/media-revenue-worldwide/](https://statista.com/statistics/1132706/media-revenue-worldwide/)>. Citado na página 15.
- JOHNSOR, K. A.; SEMWAL, S. K. Shapes: A multi-sensory environment for the b/vi and hearing impaired community. In: *2014 2nd Workshop on Virtual and Augmented Assistive Technology (VAAT)*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 1–6. Citado na página 19.
- KG., H.-W. G. . C. *Repetier-Host/repetier-host: Documantation*. 2021. Disponível em: <<https://www.repetier.com/#documantation>>. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 31.
- KINTEL, M. *Openscad/openscad: Openscad - the programmers solid 3D CAD MODELLER*. 2021. Disponível em: <<https://github.com/openscad/openscad/>>. Citado na página 28.
- MÄENPÄÄ, H. Optimizing video games for the hearing impaired: The use of haptic feedback and visual cues in games. Tampereen ammattikorkeakoulu, 2014. Citado na página 17.
- NIELSEN, J. *Usability engineering*. [S.l.]: Morgan Kaufmann, 1994. Citado na página 23.
- NOERGAARD, T. *Embedded systems architecture: a comprehensive guide for engineers and programmers*. [S.l.]: Newnes, 2012. Citado na página 22.

- NOVICH, S. D.; EAGLEMAN, D. M. Using space and time to encode vibrotactile information: toward an estimate of the skin's achievable throughput. *Experimental brain research*, Springer, v. 233, n. 10, p. 2777–2788, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.
- PAAVILAINEN, J. Defining playability of games: functionality, usability, and gameplay. In: *Proceedings of the 23rd International Conference on Academic Mindtrek*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 55–64. Citado na página 25.
- ROSSUM, G. V.; DRAKE, F. L. *Python 3 Reference Manual*. Scotts Valley, CA: CreateSpace, 2009. ISBN 1441412697. Citado na página 27.
- SARTORETTO, M. L.; BERSCH, R. O que é tecnologia assistiva. *Assistiva: Tecnologia e Educação*, 2017. Citado na página 24.
- SAVIDIS, A.; STAMOU, A.; STEPHANIDIS, C. An accessible multimodal pong game space. In: *Universal Access in Ambient Intelligence Environments*. [S.l.]: Springer, 2007. p. 405–418. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 50.
- SILVA, A. C. M. da; PINTO, M. C. et al. Integração de estímulos táteis na percepção do som. *Seminários de Trabalho de Conclusão de Curso do Bacharelado em Sistemas de Informação*, v. 2, n. 1, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.
- STADZISZ, P.; MIRANDA, F. Jogo digital: definição do termo. *XVI SBGames*. Curitiba, 2017. Citado na página 24.
- ULLOA, R. *Kivy–Interactive Applications and Games in Python*. [S.l.]: Packt Publishing Ltd, 2015. Citado na página 27.
- YAĞANOĞLU, M.; KÖSE, C. Real-time detection of important sounds with a wearable vibration based device for hearing-impaired people. *Electronics*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 7, n. 4, p. 50, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.
- YOON, J.; RYU, J. Design, fabrication, and evaluation of a new haptic device using a parallel mechanism. *IEEE/ASME Transactions on mechatronics*, IEEE, v. 6, n. 3, p. 221–233, 2001. Citado na página 23.
- YUAN, B.; FOLMER, E.; HARRIS, F. C. Game accessibility: a survey. *Universal Access in the Information Society*, Springer Science and Business Media LLC, v. 10, n. 1, p. 81–100, jun. 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10209-010-0189-5>>. Citado na página 15.
- ZRYD, V. Investigating the effects of accessibility: A study on the influence of accessibility features for hearing-impaired players on the perceptions and immersion of non-disabled players. In: . [S.l.: s.n.], 2017. Citado na página 17.

# APÊNDICE A . Formulário do Teste com Usuários.

## Perguntas pré-teste:

- Qual sua faixa etária?
- Qual seu sexo?
- Qual seu grau de escolaridade?
- Qual o seu grau de familiaridade com dispositivos eletrônicos?
- Qual o seu grau de familiaridade com jogos digitais?
- Quantos computadores você possui em casa?
- Você conhece o jogo Pong?
- Você é familiarizado com produtos do tipo smartwatch - relógio ou pulseiras inteligentes, tem ou gostaria de ter uma?

## Perguntas pós-teste:

- Como você classificaria a viabilidade do uso da pulseira enquanto joga? Fácil, médio ou difícil?
- Qual sua opinião sobre a viabilidade do uso da pulseira enquanto joga? Comente sobre a relação conforto versus benefício.
- O que você gostou sobre a pulseira?
- O que você não gostou sobre a pulseira?
- A pulseira atendeu às suas necessidades ou revelou necessidades que você não sabia que tinha?
- Caso você pudesse, o que mudaria na pulseira e por que?
- O que você acha dos eventos mapeados? Como eles representam a dinâmica do jogo?
- Quantos padrões diferentes você conseguiu identificar?
- Você consegue citar os padrões?

- Você conseguiu relacionar os padrões aos eventos do jogo?
- Cite os eventos e padrões relacionados, o máximo que conseguir lembrar
- Você acredita que conseguiu aprender todos os padrões? Se sim, Quanto tempo/quantas partidas ele levou para fazer isso?
- Qual foi o mais difícil de aprender e recordar? O que você acha que dificultou o aprendizado?
- Você recordaria quantos padrões se jogasse o jogo novamente no futuro?
- O que acha do intervalo de tempo entre vibrações?
- O intervalo entre as vibrações do padrão está colaborando ou prejudicando o seu reconhecimento como um padrão?
- O que você achou da duração de cada padrão de vibração?
- O que você achou do espaçamento de tempo entre os os eventos e vibrações?
- Você gostaria que alguma vibração fosse diferente? Qual? Como?
- O que você achou do tamanho do protótipo de pulseira?
- O que você achou do peso do protótipo de pulseira?
- Quanto a alimentação, você acha mais conveniente o uso de pilhas ou de cabo USB?
- A braçadeira é confortável? O que você achou do material da pulseira? A espessura da braçadeira é confortável? A regulagem está lhe atendendo? Lhe coube?
- Você considera que a aplicação, no geral, respeita a sua privacidade?
- O que acharia se além de poder jogar os jogos no modo silencioso ou com uso de fones de ouvido, pudesse jogar no modo de vibração?
- O que acha de um jogo onde os eventos são informados exclusivamente por meio de vibrações? É praticável? Você jogaria?
- Você vê o uso dessa pulseira em jogos já existentes?
- Você vê aplicabilidade da solução fora do ambiente de jogos digitais? Se sim, quais outras aplicações você imagina?
- Você adquiriria um produto de mesmo propósito caso fosse disponibilizado no mercado?