

Gabriel Rael da Silva

**JOGO SÉRIO COM BIOFEEDBACK
PARA REABILITAÇÃO DE PACIENTES DE AVE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Controle e Automação, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.**

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo da Silva Guerra

Santa Maria, RS, Brasil

2022

Gabriel Rael da Silva

**JOGO SÉRIO COM BIOFEEDBACK
PARA REABILITAÇÃO DE PACIENTES DE AVE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Controle e Automação, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.**

Aprovado em 08 de Setembro de 2022:

Rodrigo da Silva Guerra, Dr. (FURG)
(Orientador)

Anselmo Rafael Cukla, Dr. (UFSM)

Daniel Fernando Tello Gamarra, Dr. (UFSM)

Frederico Menine Schaf, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS

2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, pelo apoio constante ao longo de toda essa jornada.

Também agradeço pelos ensinamentos de todos os professores (e colegas) que me guiaram até esse momento, desde minha infância até o fim da graduação. Especialmente por aqueles que me instilaram a paixão pelas áreas de programação e robótica.

E, por fim, agradeço ao professor Rodrigo da Silva Guerra que me orientou neste trabalho, e à fisioterapeuta Janaína Cardoso Costa, que me ajudou a encontrar os objetivos desse projeto, assim como proveu precioso *feedback* durante seu desenvolvimento.

RESUMO

JOGO SÉRIO COM BIOFEEDBACK PARA REABILITAÇÃO DE PACIENTES DE AVE

AUTOR: GABRIEL RAEL DA SILVA

ORIENTADOR: RODRIGO DA SILVA GUERRA

O presente trabalho propõe uma prova de conceito de um jogo sério que usa como entrada sinais de eletromiografia (EMG), para ser utilizado como parte do tratamento de reabilitação de pacientes com sequelas de acidente vascular encefálico (AVE). O protótipo aqui apresentado foi criado no motor de desenvolvimento de jogos, ou game engine, Unity e emprega um dispositivo de hardware aberto para leitura de EMG e processamento de sinal, utilizando Bluetooth para comunicação entre software e sensor, por meio de um microcontrolador ESP32. A fim de emular os efeitos de Terapia Espelho, também foram inclusos no protótipo um segundo monitor com representação gráfica da mão do paciente, e uma estrutura que omite a visão da mão real do mesmo. O protótipo alcançado foi testado por uma fisioterapeuta que o avaliou positivamente, validando o projeto para desenvolvimentos futuros.

Palavras chave: Eletromiografia. Jogos Sérios. Gamificação.

ABSTRACT

SERIOUS GAME USING BIOFEEDBACK FOR REHAB OF STROKE PATIENTS

AUTHOR: GABRIEL RAEL DA SILVA

ADVISOR: RODRIGO DA SILVA GUERRA

The present work proposes a proof of concept of a serious game that uses electromyography (EMG) signals as input, to be used as part of the rehabilitation treatment of patients with stroke sequelae. The prototype here presented was created with the game development engine Unity and employs an open-source hardware device for reading EMG and signal processing, using Bluetooth for communication between software and sensor, by means of an ESP32 microcontroller. In order to emulate the effects of Mirror Therapy, a second monitor with a graphic representation of the patient's hand and a structure that obstructs the view of the patient's real hand were also included in the prototype. The achieved prototype was tested by a physiotherapist who evaluated it positively, validating the project for future developments.

Key Words: Electromyography. Serious Games. Gamification.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Diferentes tipos de AVE hemorrágico, com destaque do intraventricular, à direita. | 13 |
| Figura 2 - Localização dos tipos de AVE hemorrágicos intracerebral e subaracnoide. | 13 |
| Figura 3 - Diversos eletrodos utilizados para EMG, onde A, B e C são autoadesivos de superfície e D é intramuscular (em forma de uma agulha)..... | 15 |
| Figura 4 - Representação gráfica do procedimento de Terapia Espelho em paciente amputado, onde (1) é o espaço para o membro saudável, (2) é o espelho que reflete esse último e (3) é o espaço para o membro doente, a ser tratado. | 17 |
| Figura 5 - Ilustração promocional do Myo, apresentando, em sequência, o dispositivo, seu posicionamento no braço, a leitura do EMG dos 8 sensores e os 5 gestos pré-programados. . | 21 |
| Figura 6 - Sensor Myoware, sem e com eletrodos acoplados. | 22 |
| Figura 7 - Representação gráfica do sinal de EMG do Myoware, "cru", retificado e com tratamento final, em sequência. | 23 |
| Figura 8 - Captura de tela do primeiro protótipo do jogo sério. | 25 |
| Figura 9 - Diagrama de conexão do sensor sem uso de isolamento. | 27 |
| Figura 10 - Sistema montado com <i>powerbank</i> (1), ESP32 (2) e Myoware (3), aplicado ao braço do autor. | 28 |
| Figura 11 - Captura de tela do segundo protótipo do jogo sério, com a visão da tela de edição à esquerda e de <i>preview</i> do jogo à direita..... | 29 |
| Figura 12 - Captura de ambas as telas de jogo, lado a lado..... | 30 |
| Figura 13 - Modelo 3D da mão virtual, renderizada dentro da <i>engine</i> Unity. | 31 |
| Figura 14 - Tela de pausa do jogo, acionada pela tecla ESC..... | 32 |
| Figura 15 - Tela de fim de jogo, exibida ao final do tempo de duração pré-determinado. | 32 |
| Figura 16 - Menu de opções do jogo, contendo as configurações de duração de jogo, velocidade das moedas, intervalo entre as moedas e limite de ativação do sensor. | 33 |
| Figura 17 - Modelos em 3D das peças da pulseira no software 3D Builder. Em sequência, da esquerda pra direita: tiras da pulseira, suporte para placas de circuito e suporte para <i>power bank</i> | 34 |
| Figura 18 - Pulseira de TPU impressa, contendo os componentes eletrônicos do projeto, no braço do autor. | 34 |
| Figura 19 – Vista lateral da pulseira impressa..... | 35 |

| | |
|---|----|
| Figura 20 – Vista inferior da pulseira impressa..... | 35 |
| Figura 21 - Protótipo concluído com todos os seus componentes..... | 36 |
| Figura 22 - Teste do protótipo com a fisioterapeuta Janaína Cardoso Costa | 37 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 10 |
| 1.1 MOTIVAÇÃO | 10 |
| 1.2 OBJETIVOS | 11 |
| 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO | 11 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 12 |
| 2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 12 |
| 2.1.1 Acidente Vascular Encefálico (AVE)..... | 12 |
| 2.1.2 Paresia..... | 14 |
| 2.1.3 Eletromiografia (EMG)..... | 14 |
| 2.1.4 <i>Biofeedback</i> | 16 |
| 2.1.5 Terapia Espelho | 16 |
| 2.2 TRABALHOS RELACIONADOS..... | 17 |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS | 20 |
| 3.1 PLATAFORMA DE DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE..... | 20 |
| 3.2 SENSORES | 20 |
| 3.2.1 Myo..... | 21 |
| 3.2.2 Myoware | 22 |
| 3.3 COMPUTADOR..... | 23 |
| 3.4 ENTREVISTA | 23 |
| 4. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS | 24 |
| 4.1 CONEXÃO ENTRE MYO E UNITY | 24 |
| 4.2 DIFICULDADES COM O MYO | 25 |
| 4.3 TRANSIÇÃO PARA O SENSOR MYOWARE..... | 26 |
| 4.4 DIFICULDADES COM O MYOWARE | 26 |
| 4.5 PROTÓTIPO INICIAL..... | 28 |
| 4.6 VERSÃO FINAL COM MÃO VIRTUAL..... | 30 |
| 4.7 RESULTADOS ALCANÇADOS | 31 |
| 5. CONCLUSÕES | 38 |
| REFERÊNCIAS | 39 |
| ANEXO A – ENTREVISTA COM A FISIOTERAPEUTA JANAÍNA COSTA | 44 |

1. INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

Segundo uma pesquisa publicada na *The Lancet* (FEIGIN et al, 2021), o Acidente Vascular Encefálico (AVE) se mantém como a segunda maior causa de óbito no mundo, representando 11,6% do total no ano de 2019, equivalente a 6,55 milhões de mortes, de um total de 101 milhões de casos prevalentes de AVE. Quando são somadas mortes e incapacidades, esta doença fica em terceiro lugar, resultando em 5,7% de anos de vida ajustados por incapacidade (AVAI), globalmente (um total de 143 milhões de anos). As sequelas podem variar entre motoras, cognitivas e sensoriais diversas, sendo que a hemiplegia e hemiparesia são evidências clínicas comuns (SILVA et al, 2021).

Na área de fisioterapia, na chamada gameterapia, jogos sérios vêm sendo utilizados desde 2006, não com o intuito de substituir tratamentos convencionais, mas para complementá-los, de forma interativa e tirando o foco da dor. Esse tipo de tratamento tem sido bastante usado nas áreas da traumato-ortopedia e neurofuncional, ajudando muito na reabilitação de pacientes pós-AVE, como descrito por Latorre et al (2020). Silva et al, 2021 também demonstra a eficácia de Terapia Espelho no tratamento da funcionalidade de membros superiores pós-AVE.

De aplicações com consoles de videogames comerciais, como o Wii, até propostas em realidade virtual (MARQUES, 2019), várias alternativas têm sido apresentadas para a reabilitação pós-AVE. Uma tecnologia utilizada frequentemente aqui é o *biofeedback* por eletromiografia (EMG). Neste tratamento, a atividade de contração muscular é medida por sensores e gera alguma forma de retorno ao paciente, como sinais visuais, para que ele mesmo possa se autorregular, método que tem se mostrado eficiente em pacientes de AVE (KIM, 2017). Há, porém, a realidade de que muitos trabalhos nessa área, utilizam equipamentos caros ou de aplicação limitada, funcionando apenas em situações específicas.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho descreve um protótipo de jogo sério com *biofeedback* por EMG, focado no tratamento de parestesia de mão e punho, emulando Terapia Espelho, com um projeto baseado em plataformas de *software* e *hardware* de baixo custo.

Este trabalho teve por objetivo o desenvolvimento de um protótipo de um sistema de reabilitação de pacientes com sequelas de acidente vascular encefálico (AVE) na forma de um jogo sério baseado em *biofeedback* por leitura de eletromiografia (EMG), direcionado mais especificamente ao tratamento de parestesia do punho e da mão. Para alcançar esse objetivo foram traçadas as seguintes metas:

- O desenvolvimento de um jogo básico na *game engine* Unity;
- Realizar leitura do potencial elétrico gerado por contração muscular através de sensor de EMG;
- Estabelecer a comunicação entre sensor e jogo;
- Desenvolvimento de interface gráfica que emule o efeito de Terapia Espelho;
- Demonstrar a viabilidade do conceito com integração de todas as suas partes.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho irá detalhar, em sequência:

- Revisão bibliográfica de conceitos importantes e trabalhos relacionados;
- Os materiais e métodos utilizados, desde a plataforma de desenvolvimento, sensores utilizados até a estrutura do protótipo alcançado;
- Os resultados que foram alcançados durante o desenvolvimento do projeto;
- O que se concluiu dos resultados alcançados e possibilidade de avanços futuros;
- Referências bibliográficas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo é dividido em duas seções. Na Seção 2.1 Fundamentação Teórica, são apresentados os conceitos básicos que sustentam o trabalho. Na Seção 2.2 Trabalhos Relacionados, são apresentados trabalhos que compartilham métodos ou objetivos com o do presente trabalho.

2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta Seção apresenta em maior detalhe alguns conceitos bastante citados durante o trabalho.

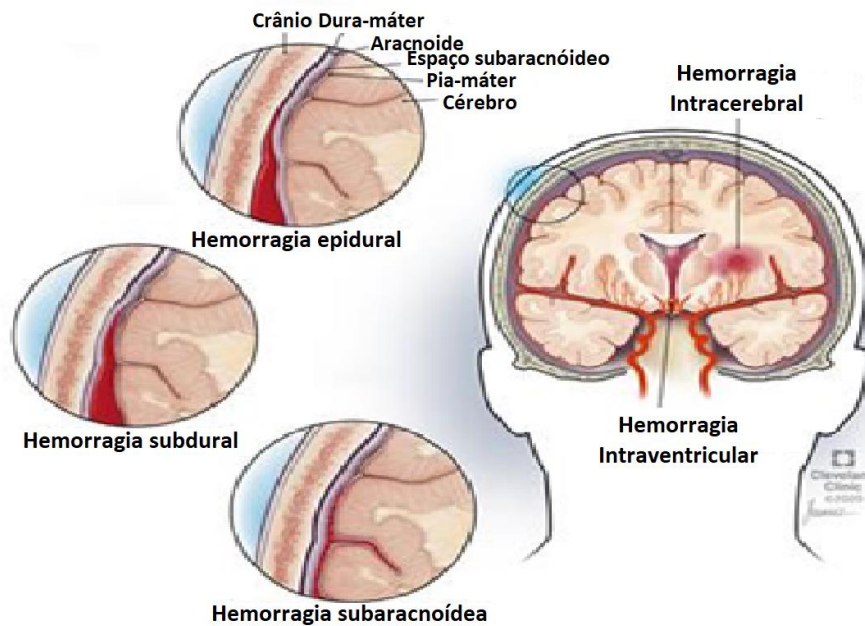
2.1.1 Acidente Vascular Encefálico (AVE)

O acidente vascular encefálico (AVE), também conhecido como acidente vascular cerebral (AVC) pode ser definido, segundo a Sociedade Brasileira de Doenças Cerebrovasculares (2021), como “o surgimento de um déficit neurológico súbito causado por um problema nos vasos sanguíneos do sistema nervoso central”, e pode ocorrer de duas maneiras, na forma de um AVE isquêmico ou um AVE hemorrágico.

Um AVE isquêmico, o mais comum, ocorre uma obstrução ou redução repentina de fluxo de sangue em uma artéria cerebral, causando falta de circulação na região do cérebro respectiva.

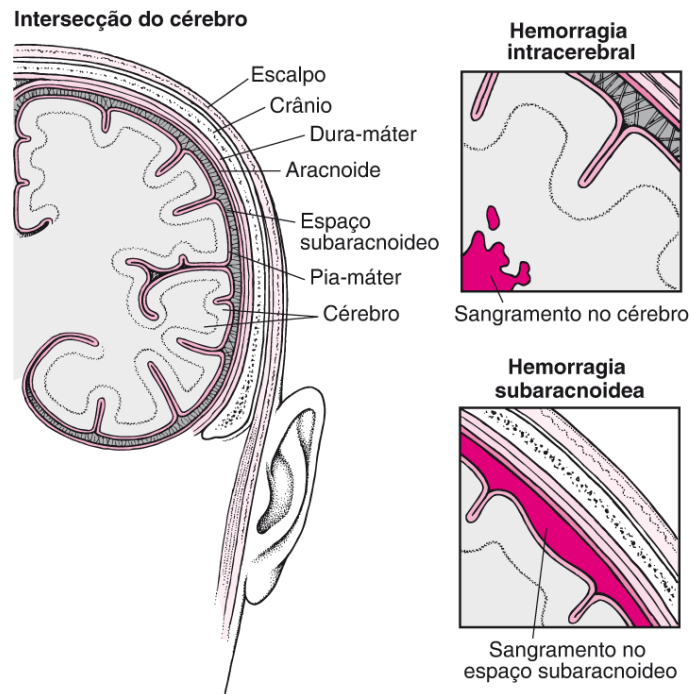
Já o AVE hemorrágico é causado por uma ruptura espontânea de um vaso, causando uma hemorragia intraventricular (dentro do sistema ventricular), demonstrado na Figura 1, intracerebral (extravasamento de sangue para dentro do cérebro) e/ou subaracnóide (no espaço subaracnóideo, entre a meninge aracnoide e a pia-mater), demonstrados na Figura 2.

Figura 1 - Diferentes tipos de AVE hemorrágico, com destaque do intraventricular, à direita.



Fonte: Cleveland Clinic, tradução do autor.

Figura 2 - Localização dos tipos de AVE hemorrágicos intracerebral e subaracnoide.



Fonte: Chong, 2020

Como consequência desse acidente (independentemente do tipo), dependendo da gravidade e região afetada, o paciente usualmente apresenta deficiências em diferentes áreas,

como distúrbios de comportamento, linguagem, sensibilidade, deglutição, visuais e outros (HIROCHI, 2018). A área de maior interesse para boa parte das pesquisas e tratamentos, assim como o presente trabalho, é a da reabilitação das funções motoras que costumam ser mais frequentemente prejudicadas pelo AVE, tanto nos membros superiores quanto inferiores.

2.1.2 Paresia

A sequela mais comum em pacientes de AVE é a hemiparesia, afetando mais de 80% dos pacientes na fase aguda e 40% dos que apresentam quadros crônicos da doença (SOUZA 2021). Essa condição é caracterizada pela paralisia parcial (ou enfraquecimento), de um lado do corpo, referente ao lado oposto do cérebro onde ocorreu a lesão (SOUZA, 2021).

Entre os efeitos da paresia nos membros superiores, é comum notar durante a terapia que a mão afetada fica frequentemente contraída em um punho, com abertura voluntária muito baixa (OU et al, 2020), sendo essa uma área de frequente interesse em pesquisas sobre tratamento de tal condição, seja por exoesqueletos (OU et al, 2020), órteses (BEZ et al, 2021) ou estimulação elétrica funcional (FUMAGALI et al, 2021). O presente trabalho se baseia nos métodos de gameterapia, *biofeedback* por eletromiografia e terapia espelho, que também são comumente utilizados no tratamento desses sintomas. Maiores detalhes sobre esses conceitos serão mostrados nas próximas seções.

2.1.3 Eletromiografia (EMG)

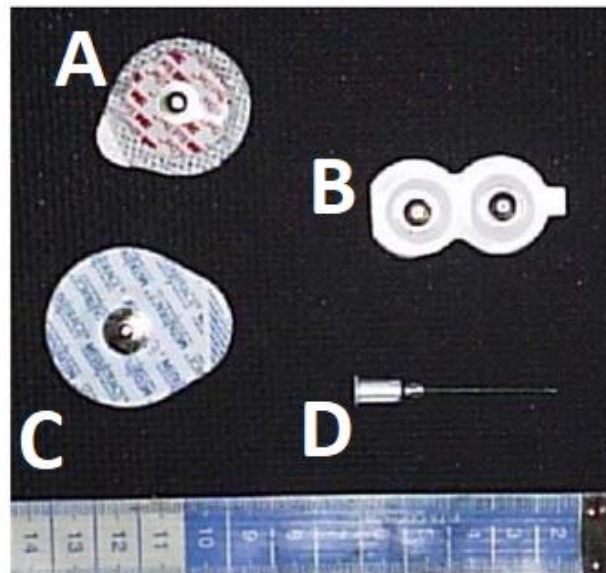
A tecnologia médica essencial para o funcionamento desse trabalho é a eletromiografia (EMG). Sensores de EMG detectam a energia elétrica potencial gerada por células musculares (MERLETTI & PARKER, 2004), de forma que o sinal detectado pode ser utilizado para, como no presente trabalho, simplesmente medir a magnitude da atividade do músculo escolhido ou pode ser usado por profissionais treinados para diagnóstico de diversas miopatias (doenças ou afecções que afetam músculos) e anormalidades musculares ou neurológicas (MILLS, 2005).

Essa técnica pode ser dividida entre EMG intramuscular e de superfície. No intramuscular um eletrodo em forma de agulha é inserido com precisão no músculo e pode gerar sinais precisos e de grande valia para diagnósticos avançados. Já o EMG de superfície sofre por certas limitações, como interferência de músculos vizinhos, atenuação do sinal por tecidos

como a pele e incapacidade de ser aplicado a músculos não superficiais (CRISWELL, 2010), mas tem a grande vantagem de não ser invasivo, sendo o método utilizado no presente trabalho.

Usualmente, a aquisição de um sinal de EMG de superfície é feita a partir de 3 eletrodos (MARCHETTI & DUARTE, 2006) como os apresentados na Figura 3. Dois desses são posicionados na direção da fibra muscular a ser observada, de forma a medir a diferença de potencial elétrico (tensão) entre esses pontos, enquanto um terceiro (de referência) é colocado em um músculo não adjacente.

Figura 3 - Diversos eletrodos utilizados para EMG, onde A, B e C são autoadesivos de superfície e D é intramuscular (em forma de uma agulha).



Fonte: Marchetti & Duarte, 2006.

O sinal adquirido pelos eletrodos deve ser amplificado e filtrado, para processamento posterior, com métodos de amplificação e processamento que podem variar amplamente dependendo do dispositivo utilizado. As principais formas de interferência nesse tipo de sinal provêm de batimentos cardíacos, sinais adquiridos de músculos vizinhos (*cross-talk*) e artefatos eletromecânicos, derivados do próprio equipamento ou da rede elétrica (MARCHETTI & DUARTE, 2006).

2.1.4 Biofeedback

A técnica chamada *biofeedback* tem sua origem na década de 1960, a partir do trabalho de John Basmajian, onde foi demonstrado que *feedback* gerado a partir do sinal de EMG poderia ser utilizado para o treinamento do sistema neuromuscular (CRISWELL, 2010).

A informação da eletromiografia em tempo real, sobre movimentos e contração muscular, é apresentada de forma visual ou auditiva, com o fim de que o paciente seja capaz de regular o tônus muscular por conta própria (KIM, 2017). Muitas vezes essa informação é apresentada na forma de jogo sério, seja para motivar o usuário ou para torná-la mais intuitiva, como será demonstrado na Seção 2.2. Jogos sérios são aqueles que não tem como objetivo principal o entretenimento, mas treinamento, educação, reabilitação e outros (DA ROCHA et al, 2015).

Entre diversas condições, que causam miopatias e podem ser tratadas por este método, o tratamento de sequelas de AVE tem sido aplicado há décadas, envolvendo tanto tratamento de membros inferiores quanto superiores, onde há foco na recuperação de destreza (KIM, 2017).

2.1.5 Terapia Espelho

A terapia espelho (TE) é um método de tratamento que utiliza um espelho colocado perpendicular aos olhos do paciente, de forma que ele enxergue o reflexo de seu membro sadio no lugar do comprometido. Com o espelho em posição, são realizados exercícios com ambos os membros, utilizando a retroalimentação visual para estimular a reorganização da parte do cérebro responsável por esses movimentos (COSTA et al, 2016). Uma representação visual dessa forma de terapia pode ser vista na Figura 4.

Esta técnica foi inventada pelo neurocientista Vilayanur Subramanian Ramachandran na década de 1990 com o intuito de tratar dor de membro fantasma, em pacientes amputados, alcançando sucesso significativo (RAMACHANDRAN et al, 1998). Mais tarde, a técnica foi expandida para a reabilitação de hemiparesia pós-AVE, na qual tem se mostrado eficiente (SILVA et al, 2021).

Figura 4 - Representação gráfica do procedimento de Terapia Espelho em paciente amputado, onde (1) é o espaço para o membro saudável, (2) é o espelho que reflete esse último e (3) é o espaço para o membro doente, a ser tratado.



Fonte: Adaptado de Ghoseiri et al, 2018

Recentemente, tem-se estudado a aplicação de realidade virtual (RV) em tratamento semelhante, visto que é outra forma de criar a ilusão visual de controle sobre o membro comprometido, embora sua real eficácia ainda não tenha sido devidamente comprovada (DARBOIS et al, 2018).

2.2 TRABALHOS RELACIONADOS

Nos anos que se seguiram à introdução dos conceitos de gameterapia e *biofeedback*, vários projetos foram desenvolvidos com a finalidade de melhor aplicá-los ao tratamento de sequelas de AVE. Como indicado através de pesquisa extensa realizada por Latorre et al (2020), muitos desses estudos envolvem o uso de consoles e jogos comerciais, não específicos (nem otimizados) para esta aplicação, como o Nintendo Wii e o Xbox 360. Esses métodos costumam

ter foco no tratamento de membros superiores, mas foi observado que, mesmo nessa aplicação, a terapia pode causar, indiretamente, melhora na ativação e funcionalidade também de membros inferiores (TRINH et al, 2016).

No ramo de jogos sérios especificamente desenvolvidos para este tipo de terapia, é possível encontrar projetos muito avançados, como o jogo sério desenvolvido por Souza e Cyrino (2019), na Universidade Federal de Uberlândia. Tal jogo utiliza o dispositivo Myo, uma pulseira com 8 sensores de EMG e unidade de medida inercial (a ser explorado no presente trabalho), e Realidade Virtual para o tratamento específico de pacientes com parestesia de membros superiores decorrente de AVE. Este projeto conta também com opções altamente customizáveis para melhor adequar a intensidade e duração da terapia às necessidades do usuário, algo que se tornou relevante para o presente trabalho, como será tratado na Seção 5.6.

O trabalho realizado por Batista et al (2019) expande sobre as funcionalidades do Myo com um *software* que utiliza o sensor de giroscópio do mesmo (descrito em 3.2.1) e o uso de Redes Neurais Artificiais (RNA) para reconhecer gestos além dos pré-programados no aplicativo proprietário do dispositivo, uma aplicação que foge do escopo do presente trabalho, mas que poderia ser estudada em versões futuras. Dessa forma, o jogo sério desenvolvido consegue integrar 10 exercícios utilizados na reabilitação de pulso, mão e cotovelo de pacientes pós-AVE. Sua aplicação é específica quanto a qual região do braço pode ser exercitada de forma efetiva, e não é aplicável ao uso em pacientes incapazes de se movimentar contra a gravidade, como se espera ser possível no presente trabalho. Mesmo assim, os profissionais que testaram elogiam a praticidade e relativo baixo custo do método de Batista et al (2019), e também a possibilidade de ser usado no tratamento de condições não relacionadas a AVE, mas que envolvam esses mesmos músculos.

Müller et al (2020) estudam a viabilidade do uso de um sensor Myoware, um sensor de EMG para uso com microcontroladores, como entrada para um jogo sério, embora não focando em aplicação específica médica. Em seu trabalho ele conclui que dispositivos de entrada baseados em EMG podem ser aplicados a jogos de forma satisfatória, mas não àqueles que necessitem de reflexos rápidos ou movimentação precisa, como foi observado também durante testes no presente trabalho. Como o presente trabalho acabou por utilizar este mesmo sensor, foi definido que o jogo sério resultante não poderia exigir comandos muito rápidos do paciente, e foi enfatizada a necessidade de menus para o ajuste de sensibilidade do sensor e velocidade dos componentes do jogo, a fim de ajustar a dificuldade do mesmo às limitações do paciente.

Fora a aplicação no tratamento de sequelas de AVE, Follmann et al (2020) estuda a proposta de uma solução semelhante ao trabalho aqui descrito, mas no processo de reabilitação física de amputados de membro superior, fazendo o uso do mesmo sensor Myoware. Este estudo demonstra grande potencial dessa tecnologia mesmo quando aplicada em diferentes propósitos, levando uma experiência lúdica aos pacientes enquanto alcança os objetivos traçados para o tratamento.

A pesquisa de Lima et al, de 2021, fez uma revisão sistemática do uso de realidade virtual aplicada no tratamento de paresia pós-AVE, chegando à conclusão de que esta (aplicada juntamente à fisioterapia) pode proporcionar resultados significativos para a melhora funcional do membro afetado, seja imersiva ou não imersiva. Realidades virtuais não imersivas, como descritas nessa pesquisa, são aquelas onde o usuário interage uma imagem tridimensional sem estar isolado do mundo físico, real. Este é o caso do trabalho aqui proposto, que simula Terapia Espelho a partir de um monitor, sem o uso de óculos de realidade virtual ou dispositivo semelhante.

Lin et al, 2021, desenvolveu uma plataforma de terapia espelho com base em realidade virtual e, após estudo clínico randomizado controlado, chegou à conclusão de que essa aplicação teria resultados benéficos significativos no desempenho sensório-motor de pacientes de AVE, e até mesmo uma potencial melhora nas habilidades de participantes saudáveis.

Até o momento não foram encontrados outros trabalhos que utilizam, para terapia espelho, um monitor na frente do membro comprometido, como é proposto no presente trabalho.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo visa descrever a lógica funcional do projeto, tanto do ponto de vista de *hardware* quanto de *software*. Serão também abordados os métodos usados para a elaboração do projeto deste jogo sério e as técnicas utilizadas para o desenvolvimento, juntamente com os componentes e equipamentos utilizados.

3.1 PLATAFORMA DE DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE

A *engine* escolhida para o desenvolvimento desse jogo sério é a Unity, um motor de jogo proprietário criado pela Unity Technologies, que oferece um ambiente para criação de jogos tanto 2D como 3D.

Este motor foi escolhido por proporcionar ampla documentação, tanto oficial quanto de uma grande quantidade de usuários, devido à sua popularidade. Também foi um fator essencial que existem diversas bibliotecas e *plugins* disponíveis (gratuitamente ou na loja da empresa) para uso de dispositivos úteis para a aplicação desse trabalho, como comunicação com Myo e Arduino (dispositivos a serem descritos na próxima Seção).

A Unity em si está disponível para Windows, Mac OS e Linux, porém tem suporte para criar jogos para mais de 25 plataformas, desde consoles a *smartphones*, incluindo também realidade virtual. Este amplo suporte facilita a portabilidade para outros dispositivos em possíveis futuros desenvolvimentos do presente trabalho.

A linguagem de programação utilizada é (usualmente) C#, e todo *script* é construído como uma classe, a ser utilizada por objetos de jogo dentro da interface de usuário da Unity, de forma que se torna inerentemente uma programação orientada a objetos.

3.2 SENSORES

Para se interagir com o jogo sério a partir de contrações musculares, é essencial que se use algum sensor de eletromiografia, assim como é fundamental que esse seja capaz de se

comunicar com o jogo, direta ou indiretamente. Foi decidido, por sua prevalência e disponibilidade, testar dois produtos: o Myo e o Myoware.

3.2.1 Myo

A braçadeira Myo (apresentada na Figura 5) é um dispositivo que foi desenvolvido pela Thalmic Labs e lançado para o público em 2015, tendo sido descontinuado em 2018.

Figura 5 - Ilustração promocional do Myo, apresentando, em sequência, o dispositivo, seu posicionamento no braço, a leitura do EMG dos 8 sensores e os 5 gestos pré-programados.



Fonte: Tatarian et al, 2018

O Myo possui oito sensores de eletromiografia (com 3 eletrodos cada) além de uma unidade de medida inercial de 9 eixos (giroscópio, acelerômetro e magnetômetro, de três eixos cada) para detectar a posição do braço do usuário, e módulo de transmissão *bluetooth*. Juntamente com seu circuito integrado e *software* proprietário, este dispositivo é capaz de detectar os 5 gestos pré-programados apresentados na Figura 5. Como pode ser observado nesta Figura, ele também transmite o sinal “cru” dos sensores EMG.

3.2.2 Myoware

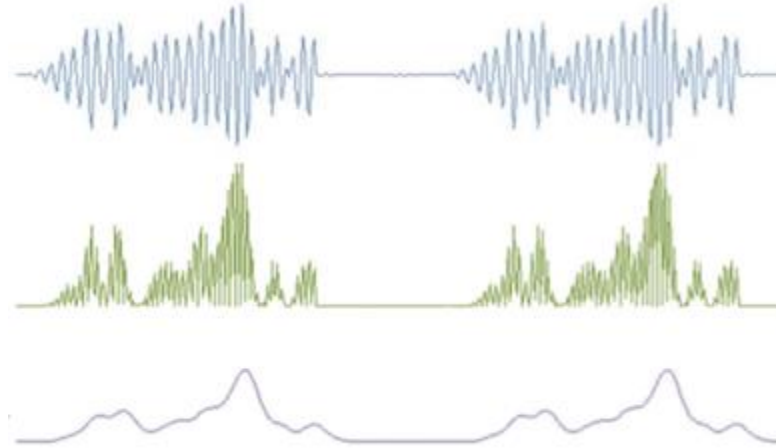
O Myoware (Figura 6) é um sensor de EMG desenvolvido pela Advancer Technologies. Ele é capaz de gerar um único sinal de eletromiografia, proveniente de três eletrodos conectados ao sensor (dois a serem posicionados no sentido do músculo e um terceiro de referência a ser colocado em outro músculo). Esta leitura pode ser obtida tanto de forma “crua” (como aquela apresentada pelo Myo) quanto de forma retificada e suavizada, que o circuito integrado do sensor apresenta na forma de uma saída analógica de amplitude de tensão (entre 0V e o valor da alimentação que estiver recebendo), como apresentado na Figura 7. Este dispositivo é direcionado para aplicações com microcontroladores, necessitando de uma alimentação entre 2.9 e 5.7 Volts.

Figura 6 - Sensor Myoware, sem e com eletrodos acoplados.



Fonte: Advancer Technologies.

Figura 7 - Representação gráfica do sinal de EMG do Myoware, "cru", retificado e com tratamento final, em sequência.



Fonte: Myoware User Manual, por Advancer Technologies.

3.3 COMPUTADOR

O computador utilizado para programação e testes do presente trabalho é um *notebook* Asus X555LF, contando com 6 GB de memória RAM, processador Intel Core i5 5200U, e placa de vídeo dedicada Geforce 930M, da NVIDIA. O sistema operacional utilizado é o Windows 10, da Microsoft.

Para possibilitar a conexão *Bluetooth* com os sensores foi utilizado um adaptador sem fio CSR 4.0 da marca Inova (estilizado como inova).

3.4 ENTREVISTA

Com o propósito de avaliar a eficácia do protótipo na tarefa de auxiliar na reabilitação de pacientes pós-AVE, foi realizada uma entrevista com a fisioterapeuta Janaína Cardoso Costa, que atua nesta área e já tem experiência com tecnologias semelhantes.

As questões foram elaboradas com o propósito de avaliar de forma ampla, e escrita, a percepção da profissional sobre o dispositivo e o jogo sério depois que ela mesma os tivesse experimentado. As opiniões dela sobre o protótipo são resumidas ao final do Capítulo 4 e nas Conclusões, enquanto a versão completa pode ser encontrada no Anexo A.

4. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos durante elaboração e desenvolvimento deste protótipo de um jogo sério, tanto no que diz respeito às dificuldades enfrentadas quanto às decisões tomadas para contorná-las.

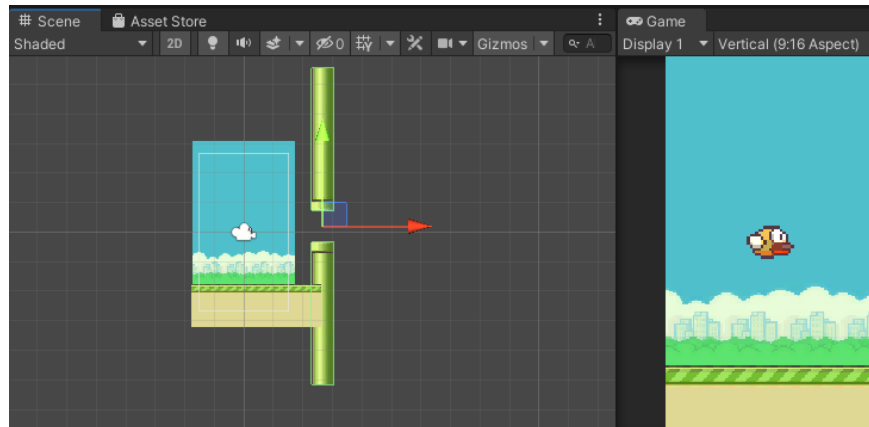
4.1 CONEXÃO ENTRE MYO E UNITY

Ao se iniciar o desenvolvimento deste trabalho, teve-se como primeira opção o uso de uma braçadeira Myo para controle do jogo sério. Além das capacidades já citadas na Seção 4.2.1, o autor tem acesso a um destes dispositivos e existe ampla documentação sobre seu uso com a *engine* Unity, principalmente um *plugin* (disponível no *github* da própria empresa) que pode ser usado para tal fim.

Tal *plugin* adiciona classes que fazem a comunicação entre a *engine* e o *software* proprietário do Myo, de forma que a Unity pode receber as informações de gestos detectados (dentre os pré-programados) e dados dos acelerômetros do dispositivo, enquanto também pode-se enviar instruções no caminho contrário, como comandos para piscar o LED ou vibrar a braçadeira.

Nesta fase de testes foi desenvolvido um primeiro protótipo para prova de conceito, utilizando como base uma imitação do jogo Flappy Bird, na Figura 8. Neste jogo estilo *arcade* o usuário controla um personagem no ambiente 2D com vista lateral. A câmera segue o personagem enquanto este se movimenta com velocidade constante para a direita, enquanto obstáculos surgem no sentido contrário e devem ser desviados. Para cumprir esse objetivo o jogador conta apenas com um controle limitado sobre a altitude (deslocamento vertical) do personagem. Quando um comando é acionado, o pássaro é impulsionado para cima, caso o contrário ele desce sozinho, como que por ação da gravidade simulada. Nesta versão do autor, o comando que impulsiona o personagem para cima é o gesto “acenar para dentro” (dobrar o punho para dentro com a mão espalmada), com o Myo.

Figura 8 - Captura de tela do primeiro protótipo do jogo sério.



Fonte: Autor.

Como o *plugin* oficial do Myo para Unity não permite a leitura direta dos sinais de EMG, que seriam necessários para se trabalhar com outros músculos, ler movimentos além dos pré-programados ou controlar o jogo de forma proporcional à contração, foi utilizada também uma modificação ao código desenvolvida por Chris Zaharia, que permite que a Unity receba diretamente as leituras dos sensores de EMG do Myo, sem qualquer processamento de sinal.

4.2 DIFICULDADES COM O MYO

As vendas do Myo foram encerradas em outubro de 2018 (Focals by North), de forma que *software*, *hardware* e *SDKs* relacionados ao dispositivo deixaram de ser disponibilizados ou suportados, sendo que o próprio dispositivo (não mais produzido) acabou se tornando mais difícil de ser encontrado e, portanto, mais caro. A escassez do produto, devido a ter sido descontinuado, também resulta em dificuldade para replicar os resultados em aplicações futuras.

Tem-se uma complicação que tanto prejudica o Myo quanto auxilia na escolha de um substituto: A leitura crua do sinal EMG, conforme apresentada na Sub-seção 3.2.1, sem passar por alguma forma de retificação eletrônica ou integração do sinal, gera um sinal alternado em alta frequência, que causa leituras com grande variação e dificuldade de interpretação. O código na *engine* Unity é executado apenas uma vez por *frame* (ou quadro), com uma taxa usual entre 30 e 60 quadros por segundo, resultando em uma amostragem do sinal em uma frequência muito baixa, quando comparada ao sinal gerado pelos sensores, para que se pudesse tratar o sinal de forma adequada dentro da *game engine*. Embora os *drivers* e *software* proprietário possam ser

modificados para tal função (como visto em trabalhos na Seção 2.2), tal desenvolvimento já foge ao escopo do trabalho atual.

Além disso, a raridade do dispositivo pede por maior cuidado em seu manejo, e existe o risco de danos ao aparelho quando utilizado em membros inferiores, caso o projeto fosse futuramente ampliado para atender outros membros.

4.3 TRANSIÇÃO PARA O SENSOR MYOWARE

Dadas as dificuldades apresentadas na Seção 4.2, decidiu-se examinar o uso do sensor Myoware. Conforme o projeto migra do uso do Myo para este sensor mais simples, se estuda o método de comunicação entre este e a *engine* Unity.

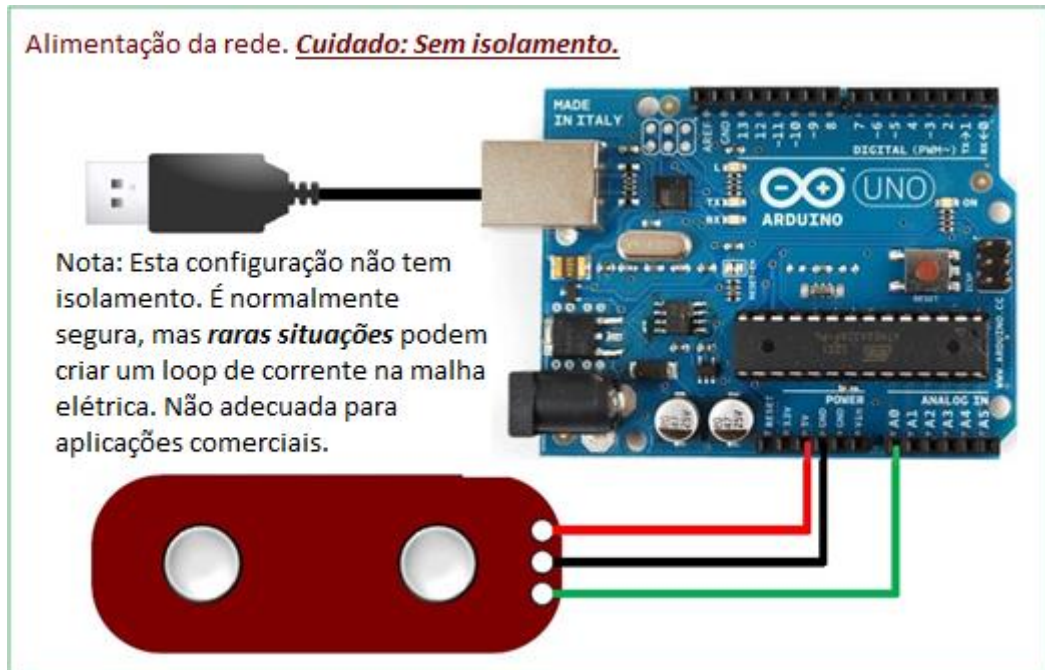
O sensor é alimentado por uma fonte CC de na faixa de 2,9 a 5,7 volts e o valor da leitura do Myoware é modulado como um sinal de amplitude de tensão, a ser convertido na entrada AD de um microcontrolador, como Arduino ou ESP32, utilizado no trabalho. Essa variação é então mapeada de acordo com a resolução do conversor AD específico, seja 10 bits no Arduino ou 12 bits em um ESP32.

Percebe-se então que o problema a ser resolvido não é a conexão, de forma direta, entre a *engine* e o sensor, mas sim entre ela e o microcontrolador que estiver fazendo leitura do sensor e a conversão AD. Por motivo de praticidade no uso e para evitar interferência da alimentação na leitura do EMG, como será descrito em maior detalhe na Seção 4.4, a comunicação será feita por meio de *Bluetooth*, algo que pode ser realizado a partir do “Arduino Bluetooth Plugin”, disponível na loja de complementos oficial da Unity.

4.4 DIFICULDADES COM O MYOWARE

A conexão entre o sensor Myoware e Arduino pode ser feita, teoricamente, conectando-se a entrada de alimentação do sensor à saída 3.3v da placa do microcontrolador, interligando-se os sinais de aterramento (GND) e acoplado a saída de sinal do sensor à uma entrada analógica da mesma, conforme ilustrado na Figura 9.

Figura 9 - Diagrama de conexão do sensor sem uso de isolamento.



Fonte: Myoware User Manual, por Advancer Technologies., tradução do autor.

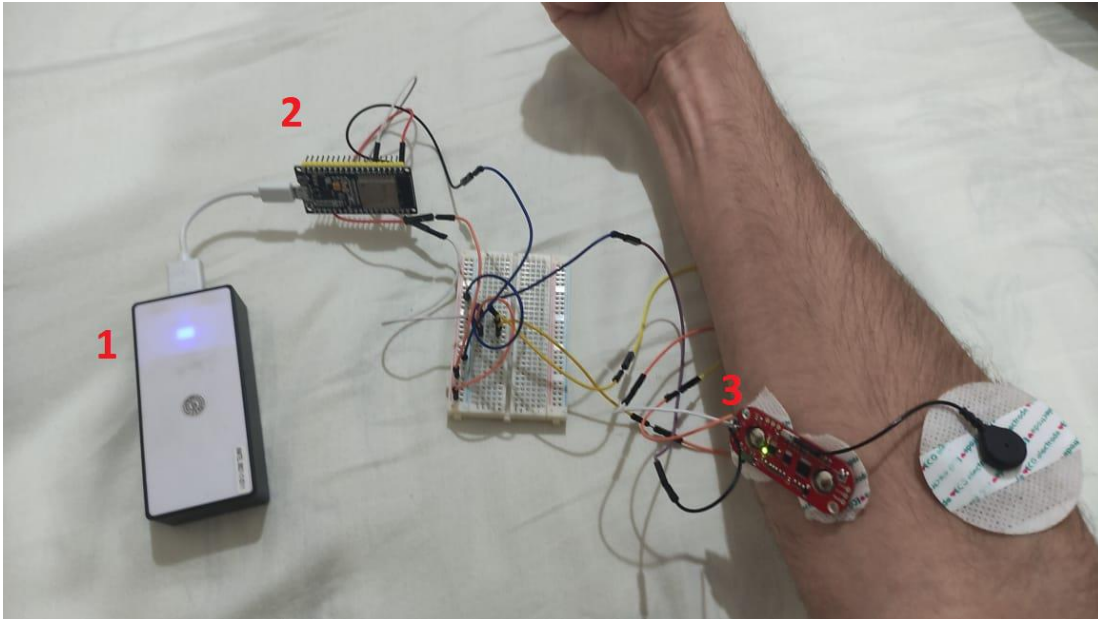
Porém surge aqui um problema: o *loop* de corrente, descrito no *datasheet* como raro, ocorreu durante os testes em todas as situações onde o circuito estava ligado por USB a um computador, causando uma leitura saturada constantemente no valor máximo (1023 no caso do Arduino). Visto que é fundamental para este projeto que o computador seja capaz de receber a leitura desse sensor, e a conexão USB se tornou inviável, foi decidido utilizar comunicação por *Bluetooth*, tendo um ESP32 como microcontrolador, no lugar do Arduino.

Fez-se necessário então encontrar uma forma de alimentar o circuito de forma isolada. Os primeiros testes com baterias mais comuns, AA e de 9V, conseguem acionar o sensor sem interferência e funções básicas do microcontrolador, porém a potência fornecida se mostrou insuficiente para alimentar o subsistema de comunicação *Bluetooth* do ESP32.

Testes com uma bateria de íons de lítio (Li-Ion) 18650 se mostraram mais promissores. Há, porém, uma preocupação: a tensão nominal dessa bateria é de 3.7 volts, consideravelmente acima do recomendado para o ESP32, o que gera a insegurança de que o sistema possa acabar queimando com uso prolongado.

Por fim, foi testado um *powerbank* conectado à entrada USB, conforme apresentado na Figura 10, que passa pelo regulador de tensão da placa, tornando a alimentação mais segura que a célula 18650 sem regulador acoplado. Desta forma foi possível obter a leitura do sensor EMG através de *Bluetooth* no computador de forma satisfatória.

Figura 10 - Sistema montado com *powerbank* (1), ESP32 (2) e Myoware (3), aplicado ao braço do autor.



Fonte: Autor

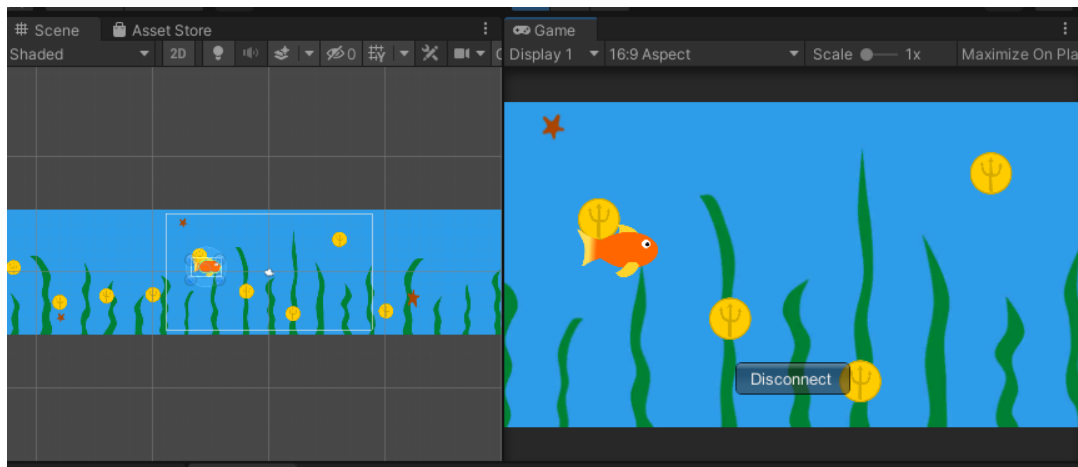
4.5 PROTÓTIPO INICIAL

Com a leitura do sensor sendo transmitida de forma satisfatória, já é possível desenvolver um protótipo do jogo sério como era desejado. O código do microcontrolador é responsável por ler o sinal de EMG e transmiti-lo de *Bluetooth*, utilizando o protocolo de transmissão serial que separa as mensagens por nova linha (“\n”). Na *game engine* então, é implementado um *script* em C# (utilizando o *plugin* mencionado na Seção 4.3) que faz a leitura das mensagens recebidas como *string* e interpreta o valor descrito como *int* (um valor numérico inteiro). Esse valor é, por fim, alocado a uma variável pública a ser utilizada por outro *script*.

A partir do propósito inicial de um jogo onde o usuário movimenta o personagem a partir da contração muscular, se idealiza um cenário onde um peixe se movimenta no eixo vertical de forma proporcional à leitura EMG recebida, com o objetivo de alcançar moedas que surgem na tela em sequência, em posições verticais aleatórias.

A fim de não usar artes de *sprites* que violem direitos autorais nesse jogo sério, o autor desenhou novas *sprites* específicas para esse projeto, consistindo de um plano de fundo, das moedas e do peixe em si, apresentadas na Figura 11, que é a tela do jogo inicialmente.

Figura 11 - Captura de tela do segundo protótipo do jogo sério, com a visão da tela de edição à esquerda e de *preview* do jogo à direita



Fonte: Autor.

Embora a posição do peixe no eixo Y possa ser relacionada diretamente com a leitura do sensor, foi percebido em testes anteriores que isso pode causar comportamento errático ou não natural no jogo, de forma que o personagem parece se teletransportar ou vibrar na tela. Para um resultado mais satisfatório, se aplica uma solução semelhante a um controlador proporcional integrador (PI).

Relacionando a leitura do EMG com coordenadas no eixo Y do programa, esta pode ser utilizada como sinal de referência, definindo a posição desejada do peixe. Convertendo-se a posição atual do personagem (que se espera que fique entre -4 e 4 dentro do jogo) no mesmo alcance de medida do EMG (0 a 4095), pode-se calcular a diferença entre posição atual e desejada. À essa diferença se aplica um ganho proporcional, imprimindo uma velocidade ao peixe que reduz quando ele se aproxima do objetivo, gerando uma movimentação amortecida, já que agora o personagem se move em direção ao valor, e não mais se transporta instantaneamente para o mesmo.

Como os *scripts* na Unity são executados uma vez por *frame* da execução do jogo (usualmente de 30 a 60Hz, de acordo com a performance do computador), se percebe que uma alta frequência de mensagens vindas do microcontrolador (geradas uma vez por ciclo do mesmo, chegando a 240MHz) causam uma fila na entrada do *script*, o que, por sua vez, causa um atraso crescente no controle do personagem. Isso é remediado se estipulando um temporizador de 100 milissegundos entre as mensagens enviadas pelo ESP32, de forma que sua frequência é menor do que a taxa de quadros por segundo do jogo, mas ainda alta o bastante para não prejudicar o controle do usuário.

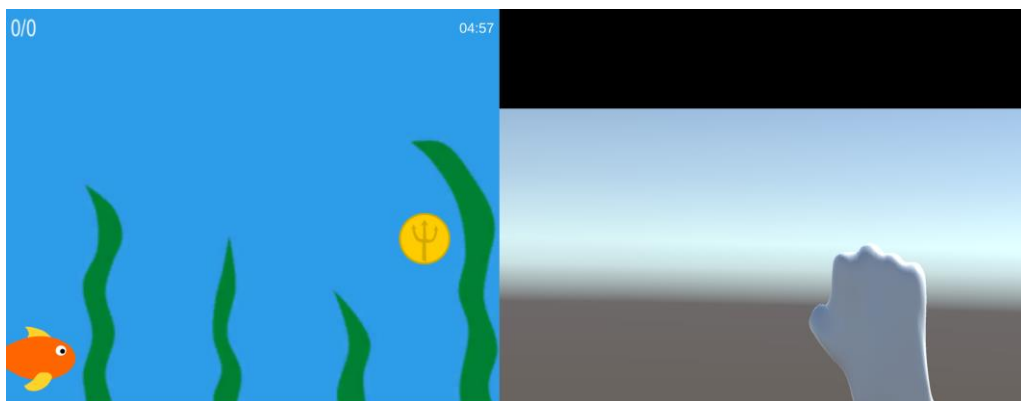
4.6 VERSÃO FINAL COM MÃO VIRTUAL

Ao se desenvolver a aplicação mais específica do jogo sério para tratamento de paresia de punho e dedos, surge a ideia de implementar uma representação virtual da mão do paciente, a fim de emular a terapia espelho.

Como o sintoma em foco no trabalho é a hemiparesia, especialmente os casos onde o paciente não consegue abrir a mão, o objetivo do jogo é de estimular os músculos responsáveis por abri-la. Portanto, os eletrodos do sensor devem ser colocados nestes músculos, para que o peixe suba quando o usuário se esforça para abrir a mão, e desce quando o mesmo relaxa tais músculos.

Para esse propósito foi modelada, pelo autor, uma mão em 3D, no *software* Blender, que foi posteriormente animada para abrir e fechar conforme o valor do sinal de EMG recebido, e ser exibida em um segundo monitor, a ser colocado na frente da mão verdadeira a qual se deseja exercitar. A captura das duas telas pode ser vista na Figura 12, enquanto o modelo da mão pode ser visto na Figura 13.

Figura 12 - Captura de ambas as telas de jogo, lado a lado



Fonte: Autor.

Figura 13 - Modelo 3D da mão virtual, renderizada dentro da *engine* Unity.



Fonte: Autor.

4.7 RESULTADOS ALCANÇADOS

Nessa versão final, se percebe que são necessários ajustes sobre como o usuário irá comandar o jogo via EMG, visto que, com o membro comprometido, não se espera que, devido a hemiparesia, o mesmo seja capaz de ter controle muito preciso sobre a intensidade da contração muscular. É interessante notar aqui que mesmo o autor, saudável, teve menor controle sobre a contração muscular dos músculos extensores (responsáveis por abrirem a mão) do que em testes feitos no bíceps, por exemplo.

A fim de remediar esse ponto, decidiu-se retornar à movimentação a um algoritmo mais próximo ao utilizado no primeiro teste apresentado em 4.1 (Flappy Bird). Nessa versão, qualquer valor no sinal EMG acima de um limiar faz o peixe subir e, do contrário, qualquer valor abaixo faz o mesmo descer sozinho, de acordo com a “gravidade” definida no motor de física da *engine*. Também foi definido que esse limiar não seria fixo, podendo ser alterado dentro dos novos menus do jogo, de forma a atender as necessidades específicas do paciente.

Já com o propósito de facilitar a avaliação do progresso do paciente, foi elaborado um sistema de pontuação, baseado na quantidade de moedas que o peixe consegue coletar durante

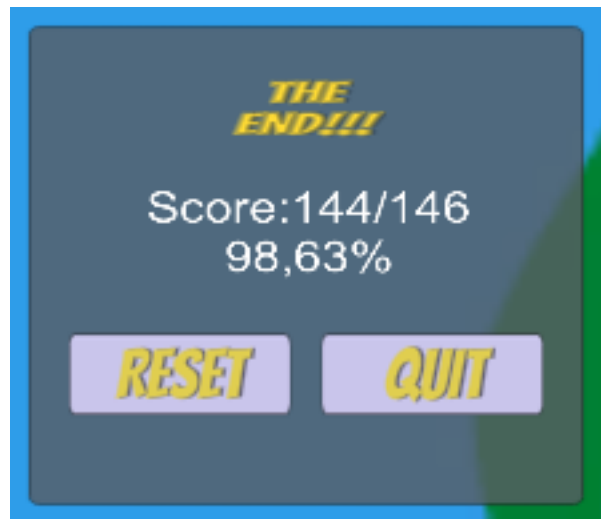
a duração do jogo. O número de moedas coletadas é comparado com o total, que é a soma do que foi coletado com o número de moedas que o jogador deixou passar, resultando em uma porcentagem da precisão do usuário, que pode ser vista no menu de pausa, na Figura 14, e no menu de fim de jogo, na Figura 15.

Figura 14 - Tela de pausa do jogo, acionada pela tecla ESC.



Fonte: Autor.

Figura 15 - Tela de fim de jogo, exibida ao final do tempo de duração pré-determinado.



Fonte: Autor

A velocidade que as moedas se movem na tela e a frequência com que são geradas também podem ser alteradas nos menus do jogo, juntamente com a duração de jogo desejada, como exibido na Figura 16.

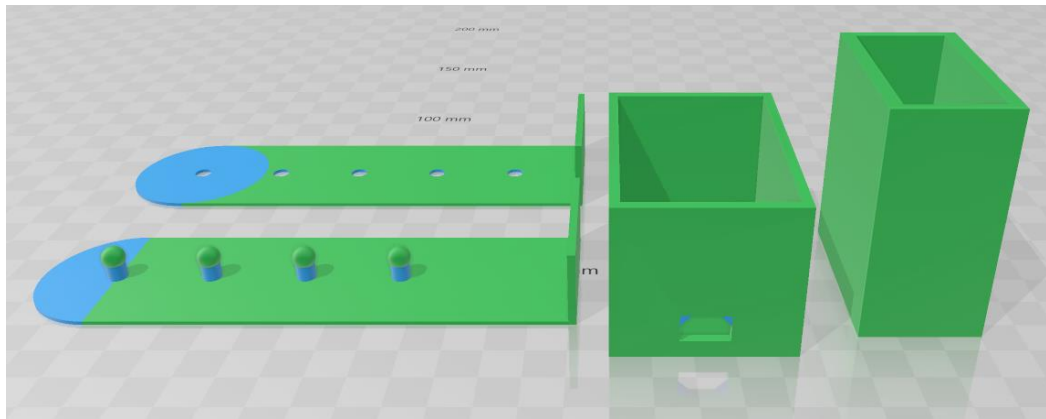
Figura 16 - Menu de opções do jogo, contendo as configurações de duração de jogo, velocidade das moedas, intervalo entre as moedas e limite de ativação do sensor.



Fonte: Autor.

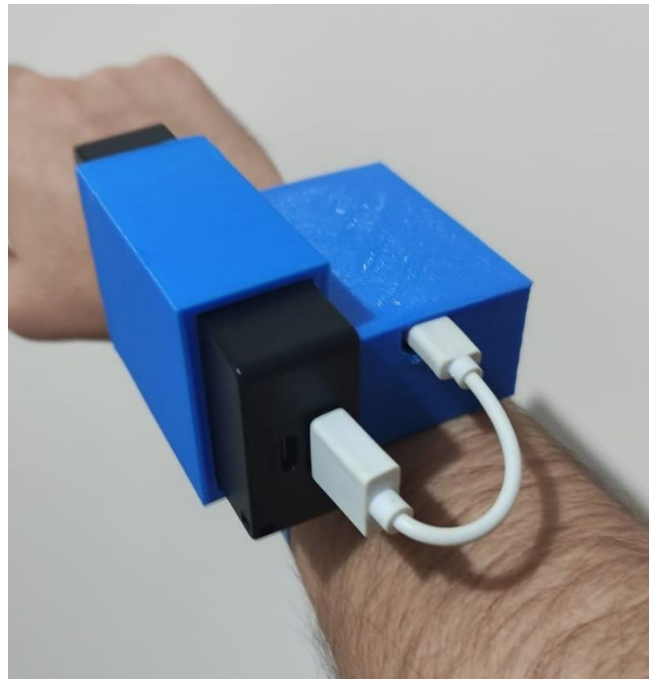
Para deixar a experiência mais confortável para o usuário, foi feita uma pulseira que aloja os componentes eletrônicos do projeto e deixa expostos os eletrodos do sensor EMG a serem aplicados na pele do paciente. Esta foi modelada no *software* 3D Builder (incluso no Windows 10) e impressa em material termoplástico de poliuretano (TPU), flexível. Os modelos 3D das peças da pulseira são apresentados na Figura 17, enquanto o protótipo montado pode ser visto nas Figuras 18, 19 e 20.

Figura 17 - Modelos em 3D das peças da pulseira no software 3D Builder. Em sequência, da esquerda pra direita: tiras da pulseira, suporte para placas de circuito e suporte para *power bank*.



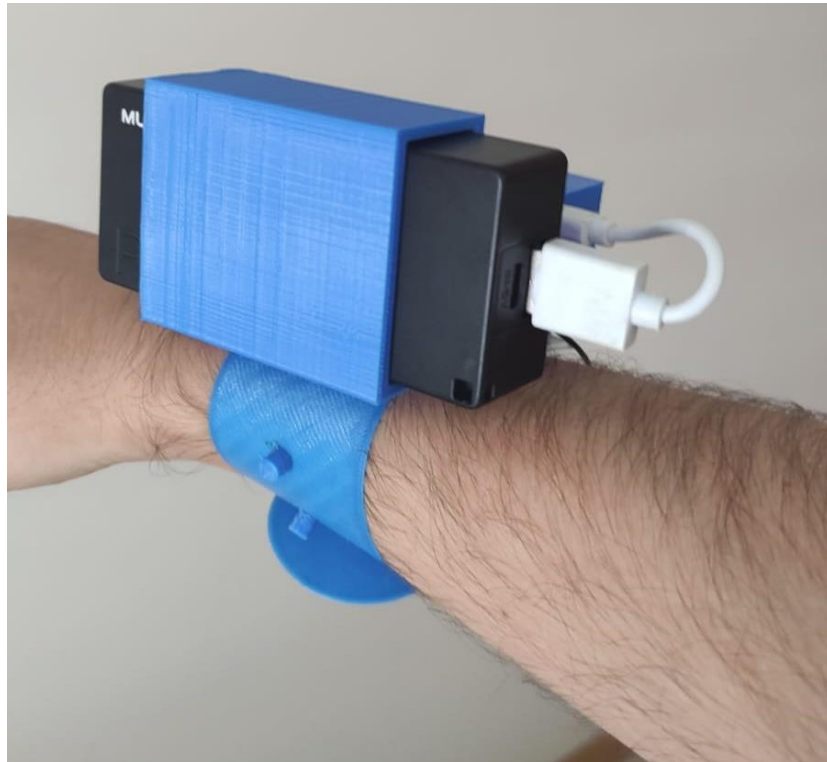
Fonte: Autor

Figura 18 - Pulseira de TPU impressa, contendo os componentes eletrônicos do projeto, no braço do autor.



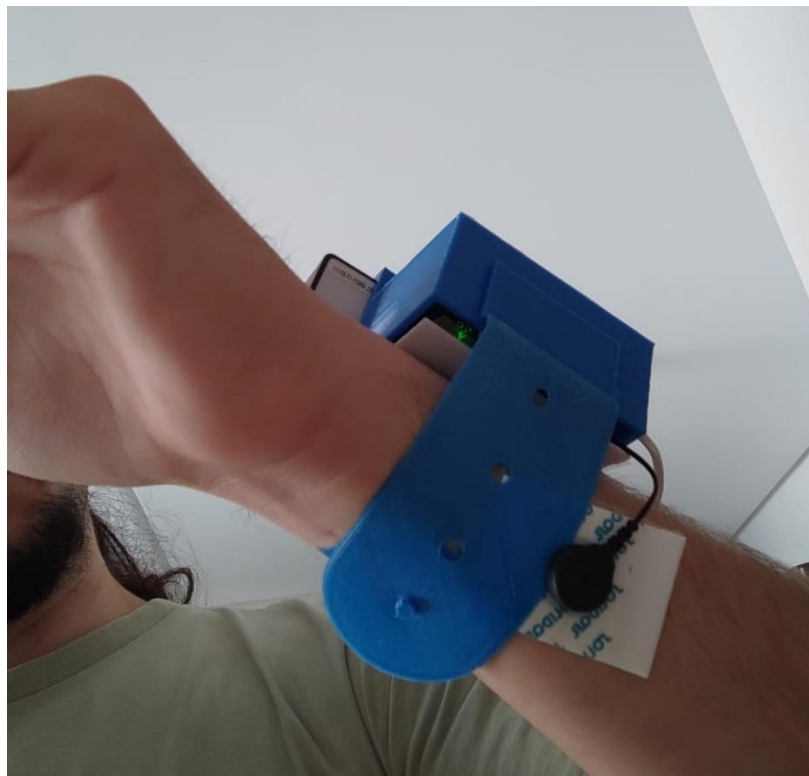
Fonte: Autor.

Figura 19 – Vista lateral da pulseira impressa.



Fonte: Autor.

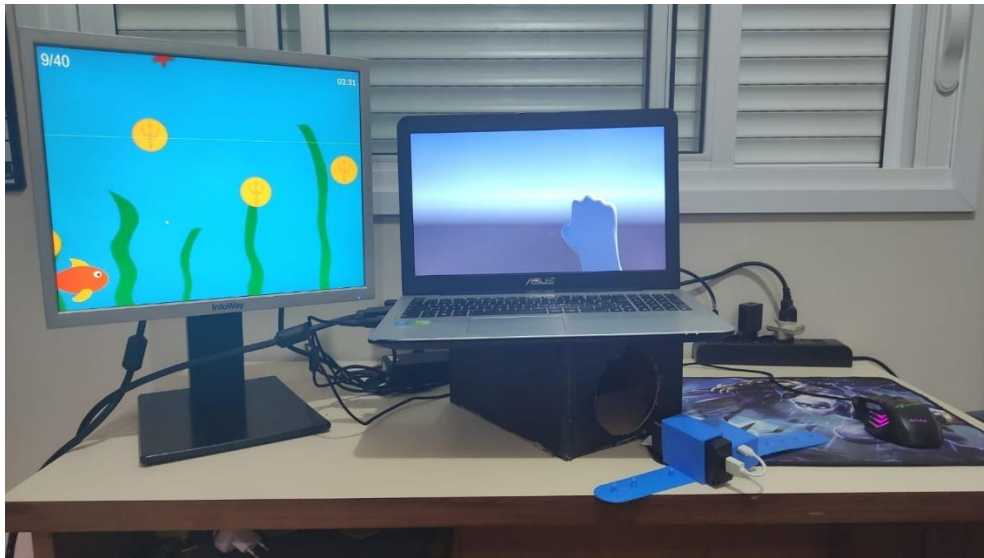
Figura 20 – Vista inferior da pulseira impressa.



Fonte: Autor.

Por fim, uma caixa de papelão foi preparada para obscurecer a visão da mão verdadeira, de forma que fique apenas a imagem da mão virtual em seu lugar. O sistema final, completo, é exibido na Figura 21.

Figura 21 - Protótipo concluído com todos os seus componentes.



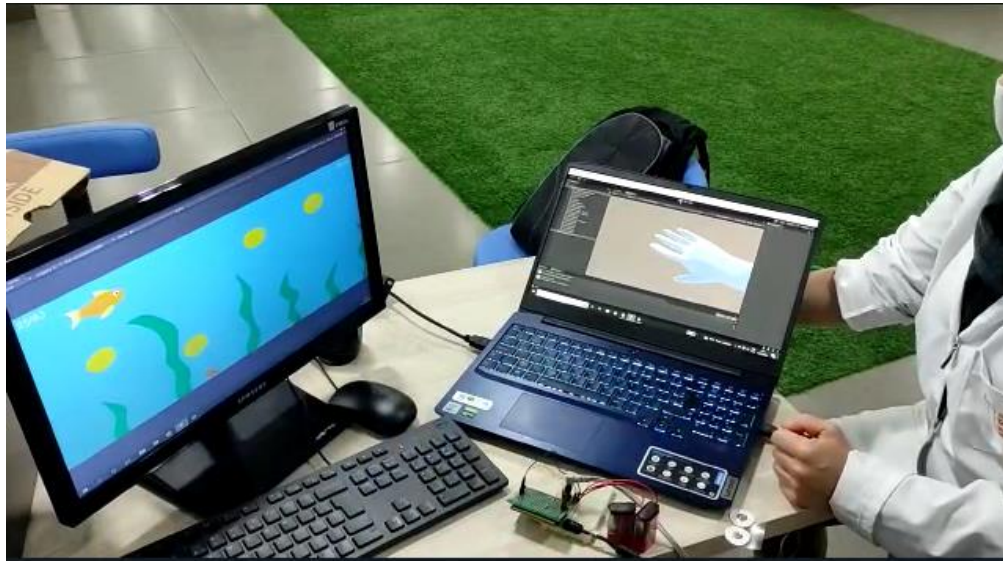
Fonte: Autor.

Foi feita também uma variação desta versão final que utiliza o próprio monitor para obstruir a visão do braço do usuário. Neste caso, a imagem da mão virtual foi rotacionada em aproximadamente 90° e ampliada, para alinhar com a nova posição relativa com a mão real.

Esta última variante foi testada junto à fisioterapeuta Janaína Cardoso Costa, que já tinha experiência trabalhando com dispositivos comerciais dessa área. Uma foto deste teste pode ser vista na Figura 22.

Após o teste, foi feita uma entrevista para avaliar a percepção da profissional sobre o protótipo apresentado. A entrevista completa está em anexo ao fim do trabalho, mas vale destacar aqui que a avaliação dela foi positiva, elogiando a imersão causada pela tela com a mão virtual, comentando que “...[achou] um jogo mais interativo dos que até hoje conhecia”. Além da avaliação do protótipo em si, ela também sugeriu a adição de uma luva robótica em versões posteriores do projeto, a fim de atender de forma mais completa o tratamento de pacientes de AVE com paresia de membros superiores.

Figura 22 - Teste do protótipo com a fisioterapeuta Janaína Cardoso Costa



Fonte: Autor

5. CONCLUSÕES

Ao final deste trabalho, foi alcançado um protótipo funcional da prova de conceito de um jogo sério baseado em EMG proposto, fazendo uso de uma tela que emula terapia espelho, cumprindo assim os objetivos estabelecidos na Seção 1.2. Protótipo tal que foi testado pela fisioterapeuta Janaína Cardoso Costa, tendo uma avaliação muito positiva pela mesma, elogiando a imersão proporcionada pelo jogo sério.

O *hardware* utilizado, sensor *Myoware* e placa ESP32, apresentaram certa instabilidade que sugerem não serem os mais indicados para aplicação comercial. Tal instabilidade se mostrou tanto em complicações com a alimentação por parte do sensor, quanto na conectividade *Bluetooth* no que se refere a placa. No caso de trabalhos derivados deste, é interessante que se investigue o uso de alternativas.

O *software* (o jogo em si e o código no microcontrolador) foi aperfeiçoado para garantir melhor tempo de resposta às ações do usuário, que deixavam um pouco a desejar nas versões iniciais, e a interface finalizada parece acessível ao usuário final (paciente ou terapeuta), sendo possível acrescentar outros idiomas para diferentes públicos. A apresentação visual pode ter ainda várias melhorias para que se torne um produto atraente para um público final, e efeitos sonoros poderiam ser acrescentados. O sistema de pontuação e dificuldade ajustável parece satisfatório ao que o tratamento requer.

Embora exista ainda a necessidade de testes clínicos para validar os pontos anteriores, o teste realizado com uma profissional da área teve reação bastante positiva, como pode ser visto na entrevista completa, em anexo. Testes com pacientes vítimas de AVE poderiam ser realizados em possíveis trabalhos derivados deste.

No desenvolvimento de trabalhos futuros, este projeto poderia ainda ser combinado com outras tecnologias para tratamentos mais eficientes ou estimulantes, como óculos de realidade virtual imersiva e luvas robóticas de *feedback* de força.

REFERÊNCIAS

ADVANCER TECHNOLOGIES (2015). 3-lead Muscle / Electromyography Sensor for Microcontroller Applications.

ADVANCER TECHNOLOGIES. Myoware. Disponível em:
<http://www.advancertechnologies.com/p/myoware.html>. Acesso em 2 de maio de 2021.

BATISTA, T. V., DOS SANTOS MACHADO, L., VALENÇA, A. M. G., & DE MORAES, R. M. (2019). FarMyo: a serious game for hand and wrist rehabilitation using a low-cost electromyography device. *International Journal of Serious Games*, 6(2), 3-19.

BEZ, L. R., MACHADO, J. C., BEIRÃO, M. E., SANTINA, M. M., CARDOZO, P. S., & SILVEIRA, M. C. D. Órteses para membro superior e seu papel na reabilitação do paciente pós-acidente vascular cerebral (AVC).

CHONG J.Y. Hemorragia subaracnóidea (HSA). 2020. Disponível em:
<https://www.msmanuals.com/pt-br/casa/dist%C3%BArbios-cerebrais,-da-medula-espinal-e-dos-nervos/acidente-vascular-cerebral-avc/hemorragia-subaracn%C3%B3idea-hsa>. Acesso em 11 de abril de 2022.

Cleveland Clinic. Brain Bleed, Hemorrhage (Intracranial Hemorrhage). Cleveland, Ohio. Disponível em: <https://my.clevelandclinic.org/health/diseases/14480-brain-bleed-hemorrhage-intracranial-hemorrhage>. Acesso em 11 de abril de 2022.

COSTA, V. D. S., SILVEIRA, J. C. C. D., CLEMENTINO, T. C. A., BORGES, L. R. D. D. M., & MELO, L. P. D. (2016). Effects of mirror therapy on the motor and functional recovery of post-stroke paretic upper limbs: a systematic review. *Fisioterapia e Pesquisa*, 23, 431-438.

CRISWELL, E. (2010). *Cram's introduction to surface electromyography*. Jones & Bartlett Publishers.

CYRINO, G. F. (2019). HarpyGame: um jogo sério customizável com interface multimodal para reabilitação de indivíduos pós-AVE.

DA ROCHA, R. V., BITTENCOURT, I. I., & ISOTANI, S. (2015). Análise, Projeto, Desenvolvimento e Avaliação de Jogos Sérios e Afins: uma revisão de desafios e oportunidades. In *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)* (Vol. 26, No. 1, p. 692).

DARBOIS, N., GUILLAUD, A., & PINSULT, N. (2018). Do robotics and virtual reality add real progress to mirror therapy rehabilitation? A scoping review. *Rehabilitation research and practice*, 2018.

DE LIMA, D. F., CALAÇA, M. A. V., DA LUZ, P. H. S. S., NADER, S., DO NASCIMENTO, J. S. F., ORSINI, M., ... & DO VALE BASTOS, V. H. (2021). A inserção da realidade virtual aplicada na recuperação físico-funcional de membros superiores após acidente vascular encefálico: uma revisão sistemática. *Fisioterapia Brasil*, 22(3), 486-499.

FEIGIN, V. L., STARK, B. A., JOHNSON, C. O., ROTH, G. A., BISIGNANO, C., ABADY, G. G., ... & HAMIDI, S. (2021). Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990–2019: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet Neurology*, 20(10), 795-820.

FOCAL BY NORTH. Myo Armband. Disponível em: <https://support.bynorth.com/myo/>. Acesso em 5 de maio de 2021.

FOLLMANN, J., JÚNIOR, J. D. S., DO AMARAL, É. M. H., & PAIVA, B. T. (2020). PhysioPong: Serious Game Aplicado ao Processo de Reabilitação Física de Amputados de Membro Superior. *Anais do Computer on the Beach*, 11(1), 301-308.

FUMAGALI, G. L. C., & KRUEGER, E. (2021). Efeito modulador da interface EMG-FES na abertura de mão em indivíduos após AVC. *Revista Neurociências*, 29, 1-23.

GHOSEIRI, K., ALLAMI, M., SOROUSH, M. R., & RASTKHADIV, M. Y. (2018). Assistive technologies for pain management in people with amputation: a literature review. *Military Medical Research*, 5(1), 1-6.

HIROCHI, T. L. (2018). Preditores do retorno ao trabalho pós-acidente vascular encefálico em Belo Horizonte-Brasil.

KIM, J. H. (2017). The effects of training using EMG biofeedback on stroke patients upper extremity functions. *Journal of physical therapy science*, 29(6), 1085-1088.

LATORRE, E. C. A., DE BARROS, G. V., VIEIRA, G. A., DE AZEREDO MOREIRA, G., PEREIRA, L. C., VIEIRA, L. A., ... & DA SILVA, R. M. (2020). A efetividade do uso da gameterapia na reabilitação de pacientes com sequela motora pós-AVE: uma revisão sistemática. *Anais da Mostra Acadêmica do Curso de Fisioterapia*, 8(2), 102-110.

LIN, C. W., KUO, L. C., LIN, Y. C., SU, F. C., LIN, Y. A., & HSU, H. Y. (2021). Development and testing of a virtual reality mirror therapy system for the sensorimotor performance of upper extremity: A pilot randomized controlled trial. *IEEE Access*, 9, 14725-14734.

MARCHETTI, P. H. & DUARTE, M. (2006). *Instrumentação em Eletromiografia*. Universidade de São Paulo.

MARQUES, J. F. A. (2019). Efeitos da realidade virtual na reabilitação da marcha em pessoas pós-AVE: revisão bibliográfica (Bachelor's thesis, [sn]).

MERLETTI, R., & PARKER, P. J. (Eds.). (2004). *Electromyography: physiology, engineering, and non-invasive applications* (Vol. 11). John Wiley & Sons.

MILLS, K. R. (2005). The basics of electromyography. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 76(suppl 2), ii32-ii35.

MÜLLER, P. N., ACHENBACH, P., KLEEBE, A. M., SCHMITT, J. U., LEHMANN, U., TREGEL, T., & GÖBEL, S. (2020, November). Flex Your Muscles: EMG-Based Serious Game Controls. In *Joint International Conference on Serious Games* (pp. 230-242). Springer, Cham.

OU, Y. K., WANG, Y. L., CHANG, H. C., & CHEN, C. C. (2020, March). Design and development of a wearable exoskeleton system for stroke rehabilitation. In *Healthcare* (Vol. 8, No. 1, p. 18). Multidisciplinary Digital Publishing Institute.

RAMACHANDRAN, V. S., BLAKESLEE, S., & DOLAN, R. J. (1998). Phantoms In the Brain Probing the Mysteries of the Human Mind. *Nature*, 396(6712), 639-640.

SILVA, E. D. S. M., BARROS, A. C. S., DE BRITO, A. M. N., RODRIGUES, I. O. L., MAXIMIANO, H. R. L., MONTELO, E. S., ... & DO VALE BASTOS, V. H. (2021). Efeitos da Terapia Espelho na funcionalidade do membro superior pós-AVC: revisão integrativa. *Revista Neurociências*, 29, 1-18.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE DOENÇAS CEREBROVASCULARES. Acidente vascular cerebral. Disponível em: http://www.sbdcv.org.br/publica_avc.asp. Acesso em 11 de maio de 2021.

SOUZA, C. L. (2021). Recursos fisioterapeúticos no tratamento da hemiparesia na criança pós acidente vascular encefálico: uma revisão de literatura.

SOUZA, J. T. D. (2019). Jogo sério baseado em Realidade Virtual para reabilitação de indivíduos com paresia de membro superior decorrente de Acidente Vascular Encefálico (AVE).

TATARIAN, K., COUCEIRO, M. S., RIBEIRO, E. P., & FARIA, D. R. (2018, September). Stepping-stones to transhumanism: An emg-controlled low-cost prosthetic hand for academia. In *2018 International Conference on Intelligent Systems (IS)* (pp. 807-812). IEEE.

TRINH, T., SHINER, C. T., THOMPSON-BUTEL, A. G., & MCNULTY, P. A. (2017). Targeted upper-limb Wii-based movement therapy also improves lower-limb muscle activation and functional movement in chronic stroke. *Disability and rehabilitation*, 39(19), 1939-1949.

UNITY. Learn Unity. Disponível em: <https://unity.com/learn>. Acesso em 21 de maio de 2021.

ZAHARIA, C. MyoUnityRawEmg. Disponível em:

<https://gist.github.com/chrisjz/efb6d3aa53fd65fb2364>. Acesso em 2 de maio de 2021.

ANEXO A – ENTREVISTA COM A FISIOTERAPEUTA JANAÍNA COSTA

As perguntas abaixo foram enviadas para a fisioterapeuta Janaína Cardoso Costa após uma bateria de testes com a mesma, utilizando a versão final do protótipo.

1 - Você já tinha experiência anterior com esse tipo de jogo sério?

R: Tinha experiência, pois já mais de cinco anos que trabalho com tecnologias.

2 - Qual foi a sua primeira impressão com o jogo sério apresentado?

R: Ótima impressão, achei um jogo mais interativo dos que até hoje conhecia.

3 - O sensor com os seus respectivos eletrodos são confortáveis de serem usados?

R: Sensores são muito confortáveis, não causam incômodo ao paciente.

4 - O tempo de resposta entre a contração muscular e a movimentação do personagem foi adequado?

R: Adequada resposta.

5 - A interface de jogo é intuitiva? O objetivo e o sistema de pontuação são estimulantes?

R: Achei muito interessante a interação com o paciente, faz uma estimulação ativa.

6 - As configurações de sensibilidade e dificuldade do jogo, são suficientes para atender diferentes pacientes de AVE? Há outras sugestões de ajuste para serem inclusas em versões futuras?

R: As configurações são ótimas e atendem os pacientes com AVE.

Em versões futuras sugiro que tenha uma mão robótica que possa ser mais interativa para que possa ser feito a terapia do espelho.

7 - Qual a sua opinião sobre a mão virtual representada sobre a mão real do paciente? Como se compara à terapia espelho tradicional?

R: Essa mão se compara a terapia do espelho uma vez que o paciente tem a impressão que a sua mão com dificuldade está abrindo e fechando.