



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ- REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
CAMPUS MINISTRO REIS VELLOSO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA**

JOSÉ EVERTON DA SILVA FONTENELE

**REHABILITE GAME+: JOGOS SÉRIOS BASEADOS EM GESTOS PARA A
REABILITAÇÃO DE MOVIMENTOS DA MÃO E ANTEBRAÇO**

**PARNAÍBA
2023**

JOSÉ EVERTON DA SILVA FONTENELE

**REHABILITE GAME+: JOGOS SÉRIOS BASEADOS EM GESTOS PARA A
REABILITAÇÃO DE MOVIMENTOS DA MÃO E ANTEBRAÇO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Universidade Federal do Piauí, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Biotecnologia.

Linha de Pesquisa: Inovação em Neurociência

Orientador: Prof. Dr. Ariel Soares Teles
UFDFPar/IFMA

Coorientador: Prof. Dr. Silmar Silva Teixeira
UFDFPar

PARNAÍBA

2023

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Delta do Parnaíba

F683r Fontenele, José Everton da Silva
 Rehabilite game+: jogos sérios baseados em gestos para a reabilitação de movimentos da mão e antebraço [recurso eletrônico] / José Everton da Silva. – 2023.
 1 Arquivo PDF.

Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade Federal do Delta do Parnaíba, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Ariel Soares Teles
Coorientador: Prof. Dr. Silmar Silva Teixeira

1. Jogos sérios. 2. Reabilitação motora. 3. Visão computacional. 4. Co-design. I. Título.

CDD: 615.8

JOSÉ EVERTON DA SILVA FONTENELE

**REHABILITE GAME+: JOGOS SÉRIOS BASEADOS EM GESTOS PARA A
REABILITAÇÃO DE MOVIMENTOS DA MÃO E ANTEBRAÇO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Universidade Federal do Piauí, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Biotecnologia.

Aprovada em: 28/04/2023

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Ariel Soares Teles (orientador)

UFDFPar/IFMA



Prof. Dr. Silmar Silva Teixeira (coorientador)

UFDFPar



Profa. Dra. Rayele Pricila Moreira dos Santos

UFDFPar



Prof. Dr. Davi Viana dos Santos

UFMA

Agradecimentos

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por me permitir chegar até aqui e por me abençoar com a força e a orientação necessária para enfrentar os desafios que surgiram durante esse projeto. Sou grato por aprender com meus erros e acertos, e por ser guiado pela sabedoria divina ao longo deste caminho.

Gostaria de agradecer ao meu orientador, Prof.Dr. Ariel Teles, por me aceitar nessa jornada, não somente como orientador, mas como uma pessoa melhor. Sou grato por cada dica e conselho que recebi de você, que me ajudaram a superar os desafios e a alcançar meus objetivos neste projeto. Seus ensinamentos foram inestimáveis para o meu crescimento pessoal e profissional, e sou profundamente grato por ter a oportunidade de trabalhar sob sua orientação. Meu muito obrigado por todos os ensinamentos.

Sou grato pelo meu co-orientador, Prof. Dr. Silmar Teixeira, por suas orientações, encorajamento e conselhos sábios ao longo de todos o processo, seus insights foram essenciais para o sucesso deste trabalho, e estou profundamente agradecido pela sua contribuição.

Também gostaria de agradecer ao meu colega de pesquisa, o professor Daniel Sousa, pela sua ajuda, suporte e amizade ao longo deste projeto. Sempre esteve disponível para discutir ideias, dar feedback e me ajudar com as dificuldades que enfrentei. Sua contribuição foi fundamental para o sucesso deste trabalho.

Gostaria de expressar minha gratidão e amor a minha esposa, Irma Nayara, por seu apoio incondicional em todos os aspectos da minha vida, incluindo minha jornada acadêmica. Seu amor, companheirismo e força me sustentaram nos momentos difíceis e me deram coragem para seguir em frente. Ela sempre esteve ao meu lado, nos momentos felizes e tristes, e sempre teve palavras reconfortantes e de apoio que me ajudaram a superar as dificuldades e os desafios. Sou imensamente grato por tê-la ao meu lado nesta jornada, e não poderia ter conseguido chegar até aqui sem seu apoio. Obrigado, por ser minha companheira.

Gostaria de agradecer aos meus pais, Maria Vanda e Edson Machado (em memória), pela educação e formação de caráter que me proporcionaram ao longo de todos esses anos de minha vida. Agradeço por cada sacrifício que fizeram por mim, por cada momento de amor e carinho, por cada conselho e cada ensinamento que me transmitiram.

Gostaria de expressar gratidão aos meus colegas de NITLAB pelo acolhimento e pelo apoio que me deram durante toda a minha jornada de pesquisa na área da saúde. Cada um de vocês contribuiu de maneira única para a minha compreensão deste universo da pesquisa, e estou imensamente grato. Sem dúvida, a atmosfera acolhedora e colaborativa

do nosso grupo de pesquisa foi fundamental para o sucesso deste trabalho, e eu não poderia ter conseguido chegar até aqui sem o apoio e a contribuição de todos vocês. Obrigado por cada ideia compartilhada, cada dúvida esclarecida e cada desafio superado juntos. Estou honrado em ter trabalhado ao lado de pessoas tão talentosas e dedicadas. Meu sincero agradecimento a todos vocês.

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todos os meus amigos e colegas que me apoiaram e motivaram durante toda a minha jornada acadêmica. Cada palavra de encorajamento, cada conversa rápida e cada gesto de amizade foi fundamental para manter-me motivado e confiante na realização dos meus objetivos.

Resumo

Sequelas motoras na mão e antebraço podem ser decorrentes de variadas doenças ou lesões, tais como um acidente vascular encefálico ou fraturas ósseas. Em decorrência disso, o paciente tem limitações ou incapacidade em realizar os movimentos no membro acometido, ficando dependente de auxílio de terceiros para executar as atividades no seu cotidiano, o que compromete a qualidade de vida. Impedidos de realizar funções simples como rodar o antebraço (movimentos de pronação e supinação) ou abrir e fechar a mão (movimentos de flexão e extensão dos dedos), a reabilitação para esses pacientes tende a ser desestimulante por conta dos exercícios repetitivos. Os jogos sérios para reabilitação motora, também chamados de *exergames*, podem motivar os pacientes nas sessões dos exercícios necessários para recuperação do membro comprometido, além de detectar e orientar a execução correta dos movimentos, atuando como uma ferramenta auxiliar no processo de tratamento do paciente. O objetivo desta pesquisa é estender a plataforma *Rehabilitate Game*, desenvolvendo e avaliando jogos sérios focados na reabilitação dos movimentos da mão e antebraço, criando então o *Rehabilitate Game+*. O *Rehabilitate Game* é jogado por usuários de acordo com configurações estabelecidas previamente por profissionais fisioterapeutas, que devem ser baseadas no tratamento específico de cada paciente. Para o desenvolvimento do *Rehabilitate Game+*, utilizou-se a metodologia de co-design, contando com a participação de fisioterapeutas e psicólogos. O resultado foi uma lista de requisitos funcionais e não funcionais, os quais foram implementados no *Rehabilitate Game+*. Os jogos para a reabilitação dos movimentos da mão e antebraço foram então avaliados, alcançando bom desempenho em relação à usabilidade e experiência do usuário (92,5 na média geral do SUS, e pontuações entre 1,46 e 1,98 das escalas do UEQ). Além disso, as técnicas de reconhecimento de movimento implementadas no jogo alcançaram elevadas taxas de acerto (*F1-score* de 0,98 e 0,99 para pronação e supinação do antebraço, respectivamente, e 1,00 para flexão e extensão dos dedos). Conclui-se então que o *Rehabilitate Game+* está apto para ser utilizado em experimentos clínicos com pacientes.

Palavras-chave: Jogos Sérios, Reabilitação Motora, Visão computacional, Co-design.

Abstract

Motor sequelae in the hand and forearm can result from various diseases or injuries, such as a stroke or bone fractures. As a result, the patient has limitations or inability to perform movements in the affected limb, becoming dependent on the help of third parties to perform activities in their daily lives, which compromises their quality of life. Prevented from performing simple functions such as rotating the forearm (pronation and supination movements) or opening and closing the hand (flexion and extension movements of the fingers), rehabilitation for these patients tends to be discouraging due to repetitive exercises. Serious games for motor rehabilitation, also called exergames, can motivate patients in the exercise sessions needed to recover the compromised limb, in addition to detecting and guiding the correct execution of movements, so acting as an auxiliary tool in the patient's treatment process. The objective of this study is to extend the *Rehabilitate Game* platform, developing and evaluating serious games focused on the rehabilitation of hand and forearm movements, thus creating *Rehabilitate Game+*. The *Rehabilitate Game* is played by users according to settings previously established by professional physiotherapists, which must be based on the specific treatment of each patient. For the development of *Rehabilitate Game+*, the co-design methodology was used, with the participation of physiotherapists and psychologists. The result was a list of functional and non-functional requirements, which were implemented in *Rehabilitate Game+*. The games for the rehabilitation of hand and forearm movements were then evaluated, then achieving good performance in terms of usability and user experience (92.5 in the SUS average, and scores between 1.46 and 1.98 on the UEQ scales). Furthermore, the motion recognition techniques implemented in the game achieved high hit rates (F1-score of 0.98 and 0.99 for forearm pronation and supination, respectively, and 1.00 for finger flexion and extension). We conclude that *Rehabilitate Game+* is able to be used in clinical trials with patients.

Keywords: Serious Games, Motor Rehabilitation, Computer Vision, Co-design.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Antebraço: ossos e articulações.	22
Figura 2 – Articulação da cabeça do rádio com o capítulo do úmero.	23
Figura 3 – Epicôndilo medial do úmero, músculos estendendo inferiormente do epicôndilo medial.	24
Figura 4 – Epicôndilo lateral do úmero, músculos estendendo inferiormente do epicôndilo lateral.	25
Figura 5 – Os oito ossos do carpo, divididos em carpais proximais e distais.	27
Figura 6 – Os cinco ossos metacarpais e suas ligações com os carpos e as falanges.	28
Figura 7 – Articulações do dedo indicador.	29
Figura 8 – Mapeamento dos 21 pontos da mão com o modelo MediaPipe Hands (MH).	38
Figura 9 – Linha do tempo da metodologia de pesquisa.	49
Figura 10 – Configuração de sessões no <i>Rehabilitate Game</i>	50
Figura 11 – Tela do jogo da versão original do <i>Rehabilitate Game</i>	51
Figura 12 – Tela com nova configuração de tratamentos.	51
Figura 13 – Tela de configuração do jogo <i>Bee</i>	53
Figura 14 – Tela do jogo <i>Bee</i>	53
Figura 15 – Tela do jogo <i>Spaceship</i>	55
Figura 16 – Tela com nova configuração de tratamentos.	69
Figura 17 – Lista de sessões do tratamento.	70
Figura 18 – Adicionando um novo tratamento.	70
Figura 19 – Tela de configuração do jogo <i>Bee</i>	71
Figura 20 – Tela do jogo <i>Bee</i>	71
Figura 21 – Tela do jogo <i>Bee</i>	72
Figura 22 – Tela do jogo <i>Spaceship</i>	73
Figura 23 – Evoluções das naves do jogo <i>Spaceship</i>	73
Figura 24 – Gráfico com os resultados dos participantes da escala System Usability Scale (SUS) em ordem crescente de pontuação.	75
Figura 25 – Gráfico de distribuição dos 26 itens do <i>User Experience Questionnaire</i> (UEQ) para os 21 participantes do estudo.	75
Figura 26 – Comparação dos resultados do <i>Rehabilitate Game+</i> e o <i>benchmark</i> do UEQ para as seis escalas: atratividade, transparência, eficiência, controle, estimulação e inovação.	76
Figura 27 – Resultados de desempenho na detecção dos movimentos de pronação do antebraço.	79

Figura 28 – Resultados de desempenho na detecção dos movimentos de supinação do antebraço.	80
Figura 29 – Resultados de desempenho na detecção dos movimentos de flexão e extensão dos dedos da mão.	81

Lista de tabelas

Tabela 1 – Numeração dos trabalhos relacionados.	42
Tabela 2 – Trabalhos relacionados: principais características.	43
Tabela 3 – Trabalhos relacionados: principais características (cont.).	44
Tabela 4 – Trabalhos relacionados: resultados, conclusão e/ou trabalhos futuros.	45
Tabela 5 – Matriz de confusão.	64
Tabela 6 – Tabela de requisitos coletados no período do co-design	67
Tabela 7 – Tabela de requisitos coletados no período do co-design (cont.).	68
Tabela 8 – Matriz de confusão dos movimentos de pronação do antebraço.	78
Tabela 9 – Matriz de confusão dos movimentos de supinação do antebraço.	78
Tabela 10 – Matriz de confusão dos movimentos de flexão e extensão dos dedos da mão.	79

Lista de Siglas

AM Aprendizado de Máquina.

AVE Acidente Vascular Encefálico.

CMC Carpometacárpicas.

CRUD Create, Read, Update e Delete.

HTML HyperText Markup Language.

IA Inteligência Artificial.

IFD Interfalangeanas distais.

IFP Interfalangeanas proximais.

LMC Leap Motion Controller.

MCF Metacarpofalângicas.

MH MediaPipe Hands.

ML Machine Learning.

MMSS Membros Superiores.

MS Membro Superior.

MVC Model, View e Controller.

NiTLab Laboratório de Neuroinovação Tecnológica & Mapeamento Cerebral.

PC Paralisia Cerebral.

PHP Hypertext Preprocessor.

RA Realidade Aumentada.

RG Rehabilitate Game.

RV Realidade Virtual.

SUS System Usability Scale.

TICs Tecnologias da Informação e Comunicação.

UEQ *User Experience Questionnaire*.

UFDPar Universidade Federal do Delta do Parnaíba.

VC Visão Computacional.

Sumário

	Lista de tabelas	xi
	Lista de Siglas	xii
1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Contexto de Pesquisa	15
1.2	Caracterização do Problema	17
1.3	Hipótese de Pesquisa	18
1.4	Relevância do Trabalho	18
1.5	Objetivos	19
1.6	Organização do Trabalho	20
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1	Anatomia e Biomecânica do Antebraço	21
2.1.1	Ossos	21
2.1.2	Músculos	23
2.1.3	Nervos	25
2.2	Anatomia e Biomecânica da Mão	26
2.2.0.1	Ossos	26
2.2.0.2	Articulações	29
2.2.0.3	Músculos	31
2.2.1	Nervos	31
2.3	Principais Comprometimentos no Antebraço e na Mão	32
2.4	Jogos Sérios	33
2.5	Inteligência Artificial	35
2.6	Visão Computacional	36
2.7	<i>MediaPipe</i>	36
2.7.1	<i>Palm Detection Model</i>	38
2.7.2	<i>Hand Landmark Model</i>	39
2.8	Conclusão	39
3	TRABALHOS RELACIONADOS	40
3.1	Estudos Secundários	40
3.2	Estudos Primários	41
3.3	Discussão	47
4	METODOLOGIA	48

4.1	Visão Geral	48
4.2	CrITÉrios Éticos	48
4.3	O Jogo SÉrio <i>RehabilitateGame+</i>	48
4.4	Primeira Versão do <i>Rehabilitate Game</i>	49
4.5	Adaptando a Versão Original da Plataforma <i>Rehabilitate Game</i>	51
4.6	Adicionando Jogos à Plataforma	52
4.6.1	Jogo 1 - Movimentos de Pronação e Supinação do Antebraço	52
4.6.2	Jogo 2 - Movimentos de Pronação e Supinação do Antebraço, Flexão e Extensão dos Dedos da Mão	54
4.7	Condução do Método de Co-design	54
4.7.1	Objetivo do Estudo	56
4.7.2	Recrutamento	56
4.7.3	Procedimentos	57
4.7.4	Coleta de Dados	57
4.8	Melhorando o <i>Rehabilitate Game+</i>	58
4.9	Ferramentas e Ambientes de Desenvolvimento	58
4.10	Avaliação de Usabilidade e Experiência do usuário	60
4.10.1	Objetivo do Experimento	60
4.10.2	Recrutamento	60
4.10.3	Procedimentos	60
4.10.4	Coleta de Dados	61
4.10.5	Análise dos Dados	62
4.11	Avaliação de Reconhecimento de Movimentos	62
4.11.1	Objetivo do Experimento	62
4.11.2	Recrutamento	63
4.11.3	Procedimentos	63
4.11.4	Coleta de Dados	63
4.11.5	Métricas de Desempenho	64
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
5.1	Co-design	66
5.1.1	Participantes	66
5.1.2	Requisitos Identificados	66
5.1.3	Discussão	68
5.2	Versão do Jogo Evoluída Após o Co-design	68
5.2.1	Discussão	72
5.3	Experimento de Usabilidade e Experiência do Usuário	74
5.3.1	Participantes	74
5.3.2	<i>System Usability Scale</i>	74
5.3.3	<i>User Experience Questionnaire</i>	74

5.3.4	Discussão	77
5.4	Avaliação de Reconhecimento de Movimentos	77
5.4.1	Participantes e Análise dos Dados	77
5.4.2	Movimento de Pronação do Antebraço	78
5.4.3	Movimento de Supinação do Antebraço	78
5.4.4	Movimento de Flexão e Extensão dos Dedos	78
5.4.5	Discussão	79
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
6.1	Contribuições Científicas e Tecnológicas	82
6.2	Limitações	83
6.3	Trabalhos Futuros	83
6.4	Publicações	84
	REFERÊNCIAS	85
	ANEXOS	94
	ANEXO A – QUESTIONÁRIO DOS FISIOTERAPEUTAS	95
	ANEXO B – QUESTIONÁRIO DOS PSICÓLOGOS	96
	ANEXO C – QUESTIONÁRIO DE USABILIDADE E EXPERIEN- CIA DO USUÁRIO	97
	ANEXO D – MOVIMENTO DE PRONAÇÃO	99
	ANEXO E – MOVIMENTO DE SUPINAÇÃO	100
	ANEXO F – MOVIMENTOS DE FLEXÃO E EXTENSÃO	101

1 Introdução

1.1 Contexto de Pesquisa

Os membros superiores do corpo humano desempenham uma função importante na vida cotidiana. As habilidades motoras finas (i.e., aquelas relacionadas aos movimentos delicados e específicos) são essenciais para desempenhar tarefas do dia a dia, tais como os movimentos de levantar um talher para se alimentar e segurar uma roupa para se vestir. Em contrapartida, as habilidades motoras grossas são aquelas relacionadas a atividades menos delicadas, tais como engatinhar, levantar-se e movimentos de proteção física (INGRAM *et al.*, 2019). O controle motor preciso dos membros superiores depende de uma grande integração de estímulos sensoriais, motores para a execução de tarefas, força muscular, destreza e coordenação bimanual (i.e., tarefas que exigem a utilização das duas mãos) (INGRAM *et al.*, 2022). Os Membros Superiores (MMSS) são, portanto, importantes para a funcionalidade humana, porém dada a sua mobilidade, são muito susceptíveis a lesões.

Os MMSS podem ser acometidos por lesões provocadas por doenças ou traumas diretos, ou indiretos. Em pacientes vítimas de Acidente Vascular Encefálico (AVE), por exemplo, 80% dos sobreviventes apresentam comprometimento motor do Membro Superior (MS), dos quais somente 20 a 30% conseguem a recuperação funcional (AHMED; YELDAN; MUSTAFAOGLU, 2022). Entre as lesões traumáticas as fraturas são condição frequente, provocada por acidentes de trânsito, lesões esportivas que acomete pessoas de todas as idades (MICHIELSEN *et al.*, 2019). Além disso, cotovelo e punho são regiões frequentemente afetadas por lesões associadas ao esforço repetitivo, tais como, síndrome do pronador redondo, síndrome do túnel do carpo. Outros problemas associados aos MMSS incluem: tenossinovite de *De Quervain* (SANT'ANNA; RANGEL; MOTA, 2018), lesão do plexo braquial (THATTE; NAYAK; HIREMATH, 2020) e epicondilite lateral, conhecida popularmente como “cotovelo do tenista” (MA; WANG, 2020). Todos esses problemas podem ter impacto direto na função dos MMSSs, no antebraço com os movimentos de pronação e supinação e da mão nos movimentos de flexão e extensão dos dedos. Esses movimentos são muito importantes para várias atividades do cotidiano, como segurar objetos, digitar no teclado, realizar gesto e movimentos específicos com a mão. Além de possuir uma relevância em diversas profissões que exigem movimentos manuais específicos.

A supinação do antebraço acontece quando a palma da mão é direcionada para cima e a pronação é direcionada para baixo, é onde processo de rotação acontece, o osso do rádio gira em torno da ulna ao longo de um eixo da cabeça do rádio através da fôvea da ulna distal, ressaltando que a ação dessas rotações acontece sem que o ombro se movimente, podendo acontecer junto à flexão e extensão do cotovelo ou independentemente. Além

disso, as interações das articulações (cotovelo e antebraço) proporcionam uma variedade de posicionamentos eficazes da mão (NEUMANN, 2010).

A rotação do antebraço é um movimento importante na execução de atividades do cotidiano, como, por exemplo, na alimentação e em cuidados com a higiene pessoal. Além disso, o antebraço tem a função de girar a mão no espaço e permitir uma retribuição de força durante tarefas funcionais que dependem da coordenação e interações entre as seguintes articulações: radioulnar proximal, membrana interóssea e a articulação radioulnar distal. Qualquer interrupção na função em uma dessas regiões pode comprometer diretamente a função do antebraço (LASTAYO; LEE, 2006), sendo indicado uma reabilitação específica visando recuperação funcional dos movimentos comprometidos.

As mãos humanas são muito complexas e versáteis, com a capacidade de realizar atividades básicas diárias, sendo mais forte do que os outros membros (YUE; ZHANG; WANG, 2017). A mão é uma parte importante do membro superior humano e é responsável por uma ampla gama de movimentos complexos e precisos. A mão é composta por várias estruturas anatômicas, incluindo ossos, articulações, músculos, tendões, nervos e vasos sanguíneos, que trabalham em conjunto para permitir uma grande variedade de tarefas que exigem os movimentos da mão (NEUMANN, 2010). Considerado um dos principais estrutura motora efetores dos nossos comportamentos motores mais complexos, responsável por expressar as emoções por meio de gestos, contato, música e arte. Sua estrutura biomecânica permite uma interação com proficiência, podendo ser utilizada de maneira primitiva, como um gancho, ou com grande habilidade, como um instrumento altamente especializado que realiza funções muito complexas, exigindo diferentes níveis de força (NEUMANN, 2010).

Várias intervenções são utilizadas na recuperação dos movimentos da capacidade funcional dos MMSS, principalmente em decorrência de AVE, como a terapia de movimento induzido por restrição, terapia de espelho e terapia assistida por robótica (PULMAN; BUCKLEY, 2013). Além disso, alguns estudos avaliaram a eficácia de programas de exercícios para MMSS, como em (YOO; YOO, 2011) e (STUDENSKI *et al.*, 2005), tendo como resultado uma melhora na capacidade motora e na qualidade de vida.

Os programas de reabilitação clássica tendem a estimular os pacientes com uma variedade de exercícios de reabilitação, nos casos de pacientes com AVE. No entanto, pacientes relatam que essa forma clássica de recuperação funcional pode ser enfadonha devido a exercícios repetitivos, desencadeando desmotivação e, conseqüentemente, o desinteresse, comprometendo o processo de reabilitação. Além disso, esses tratamentos são administrados individualmente, gerando custo alto, e tendo outra possível desvantagem, o deslocamento do paciente até a clínica de reabilitação.

Métodos de reabilitação para MMSS baseados em sistemas computacionais, tais como jogos sérios, se apresentam como uma opção para contornar a desvantagem da

possível desmotivação no tratamento clássico (KAMNARDSIRI *et al.*, 2021). Além disso, os jogos sérios proporcionam uma experiência interativa, onde é gerado altos níveis de engajamento nos pacientes durante a reabilitação. Os jogos sérios motivam os pacientes a realizar uma sequência prescrita de exercícios de reabilitação de forma atrativa e envolvente, bem como possibilita amenizar a sensação de cansaço durante os exercícios (ALVES; GONÇALVES; CARBONE, 2022). A utilização, mais frequente, da tecnologia nas áreas de reabilitação e, especificamente, os jogos têm sido adotados na recuperação física e cognitiva através de exercícios interativos proporcionados na imersão do ambiente lúdico, como movimentos corporais para a conclusão de tarefas atribuídas por elementos da interface do jogo (KAMNARDSIRI *et al.*, 2021).

1.2 Caracterização do Problema

Estudos apontam que a reabilitação em domicílio com a utilização de jogos sérios torna os exercícios repetitivos mais atrativos, aumentando a motivação do paciente. Por exemplo, (CHEN *et al.*, 2019) apresentam em seu estudo 14 pesquisas nas quais os participantes utilizaram jogos sérios para a reabilitação dos movimentos dos membros superiores em um ambiente domiciliar. Dois desses estudos exploraram a utilização de jogos comerciais de consoles já existentes no mercado, como o *Sony PlayStation 2* e o *Nintendo Wii*. Jogos comerciais costuma promover melhor aceitação dos usuários, no entanto, por não serem desenvolvidos pensados em reabilitação motora, não costumam conter orientações suficientes e específicas para pacientes que precisam de reabilitação.

Enquanto isso, os demais estudos, apresentados em (CHEN *et al.*, 2019) desenvolveram jogos específicos para a reabilitação, oferecendo exercícios adaptáveis e personalizados que podem detectar os movimentos dos pacientes durante o exercício. Esses jogos, além da aquisição dos consoles, necessitam de extensões, tais como dispositivos robóticos e sensores para capturar os movimentos do paciente (e.g., *Wii mote*, *Kinect* e *ArmeoSenso*), o que acarreta no aumento do custo.

Estudos recentes evidenciam uma crescente tendência na pesquisa de reabilitação motora dos membros superiores por meio do uso de jogos sérios. Por exemplo, (KAMNARDSIRI *et al.*, 2021) apresentou uma revisão de 169 estudos que abordam a reabilitação motora em uma variedade de condições, como AVE, paralisia cerebral, déficits motores neurológicos, contraturas por queimaduras, doença de Parkinson, lesões no ombro e no punho. Esses estudos visaram melhorar os movimentos dos dedos, palma, cotovelo, antebraço, ombro e músculos da mão.

Na maioria desses estudos, foram utilizados sensores comerciais, como o Kinect, como parte integrante de seus sistemas. Alguns estudos combinaram o Kinect com outros dispositivos, como placas de equilíbrio Wii, Tyromotion Timo e marcadores corporais, além

de luvas hápticas personalizadas. Dois estudos utilizaram um dispositivo semelhante ao Kinect chamado PrimeSense, que é uma alternativa no mercado de sensores de profundidade. Quanto aos jogos desenvolvidos, eles variaram desde a [Realidade Virtual \(RV\)](#), [Realidade Aumentada \(RA\)](#), videogames 2D, jogos de tabuleiro eletrônico interativo até aplicativos móveis de saúde.

Apesar de estudos relatarem jogos com a possibilidade de serem usados para auxiliar o processo de reabilitação em [MMSS](#), não foram encontrados jogos sérios desenvolvidos especificamente para recuperação dos movimentos de pronação e supinação do antebraço e flexão e extensão dos dedos da mão. Portanto, os estudos encontrados na literatura e relacionados com o tema desse trabalho propuseram jogos destinados à reabilitação de várias partes do [MS](#), mas não dos movimentos citados.

Diante do exposto, o problema abordado por esta pesquisa de mestrado envolve o desenvolvimento de jogos sérios para auxiliar profissionais, terapeutas e pacientes no processo de reabilitação dos movimentos de rotação do antebraço (pronação e supinação) e dos movimentos dos dedos da mão (flexão e extensão). Além disso, objetivando diminuir custos com tecnologias para a adoção da solução, um diferencial dos jogos é permitir que os movimentos utilizados para interagir com as mecânicas de jogo sejam detectados por [Visão Computacional \(VC\)](#) e [Inteligência Artificial \(IA\)](#) com a utilização de uma câmera.

1.3 Hipótese de Pesquisa

A hipótese desta pesquisa é de que o uso de uma solução de jogo sério utilizando [VC](#) baseada em [IA](#) servem de base para o desenvolvimento de jogos sérios baseados em gestos, os quais são adequados para auxiliar o processo de reabilitação dos movimentos do antebraço (pronação e supinação) e da mão (flexão e extensão dos dedos).

1.4 Relevância do Trabalho

Com 50% dos pacientes desenvolvendo alguma condição crônica com limitações motoras, de comunicação, cognitivas ou emocionais ([MEIJEREN-PONT *et al.*, 2022](#)), o [AVE](#) pode resultar em prejuízos neurológicos, levando o indivíduo a incapacidades e até à morte. Nos Estados Unidos das Américas, é estimado que 795.000 pessoas são diagnosticadas com [AVE](#) anualmente e, mesmo com os avanços no tratamento na fase aguda, o [AVE](#) ainda continua sendo a principal causa de incapacidades grave a longo prazo. Estudos apontam que de 35% a 40% dos pacientes apresentam limitações nas atividades básicas do dia a dia ([CUCCURULLO *et al.*, 2022](#)).

Exergames (do inglês, uma aglutinação das palavras “*exercise*” + “*game*”) é uma combinação de exercícios físicos com videogames, tornando os exercícios mais prazerosos

e oferecendo um ambiente seguro, motivando e envolvendo pessoas a participarem de atividades que exigem movimentos (CHAN *et al.*, 2019). O interesse em tal assunto tem relação com a experiência que os *exergames* podem proporcionar com os exercícios, tornando-os mais agradáveis e divertidos, e contribuindo, dessa forma, para o sucesso do processo de reabilitação (CHAN *et al.*, 2019).

Durante a pandemia, devido ao coronavírus 2019 (COVID-19), os serviços de reabilitação foram forçados a modificar a maneira de como fornecer e prestar os serviços (LUGO-AGUDELO *et al.*, 2021). Por conta disso, medidas foram adotadas em muitos países para conter a disseminação da doença, sendo uma dessas medidas a adoção de reabilitações domiciliares que podem ser realizadas com diferentes estratégias utilizando a telerreabilitação (LUGO-AGUDELO *et al.*, 2021), envolvendo a entrega remota de serviços de reabilitação, como fisioterapia, telemonitoramento do paciente e teleconsulta. Dessa forma, permite-se proporcionar assistência no domicílio do paciente sem a necessidade da presença física de terapeutas ou outros profissionais de saúde. Os benefícios da telereabilitação incluem o acompanhamento de terapias prolongadas adaptadas às necessidades dos pacientes e a possibilidade de redução significativas nos custos.

Uma ferramenta que agregue todas as vantagens citadas acima tende a impactar positivamente no processo de reabilitação por atuar no engajamento do paciente, na acessibilidade dos serviços e diminuição de custos do tratamento, contribuindo para a redução da desistência dos pacientes diante da reabilitação. Dessa forma, os jogos sérios para auxiliar o processo de reabilitação nesse trabalho são ferramentas com a pretensão de contribuir para a eficiência da recuperação funcional dos movimentos comprometidos, além de reduzir os índices de desistência no tratamento por parte do paciente.

1.5 Objetivos

O objetivo geral dessa pesquisa de mestrado é desenvolver dois jogos sérios baseados em gestos a partir da IA e VC para reabilitar pacientes com comprometimento motor do antebraço nos movimentos de pronação e supinação e da mão nos movimentos de flexão e extensão dos dedos. Os objetivos específicos desse trabalho são:

- Desenvolver dois jogos sérios que abordem os exercícios de reabilitação motora para pacientes que tenham sequelas motoras no antebraço e mão;
- Utilizar técnicas de VC e IA para a segmentação de pontos da mão junto aos jogos sérios a ser desenvolvido;
- Aprimorar a plataforma e os jogos com base em uma metodologia de co-design, envolvendo a colaboração ativa de profissionais de fisioterapia e psicologia;

- Avaliar a usabilidade e experiência do usuário com a utilização dos jogos por profissionais da área de fisioterapia;
- Avaliar o desempenho dos jogos no reconhecimento dos movimentos.

1.6 Organização do Trabalho

O restante desta dissertação de mestrado está organizado da seguinte forma:

- O **Capítulo 2** descreve a fundamentação teórica que serve de base para esse trabalho. A anatomia e biomecânica do antebraço com os movimentos de pronação e supinação e da mão com os movimentos de flexão e extensão dos dedos, assim como seus principais comprometimentos são apresentados sucintamente. Também é nesse capítulo que são explanados os temas específicos envolvendo a parte de jogos, ciência da computação e tecnologias utilizadas: gameterapia, jogos sérios, IA, VC e o *framework MediaPipe*;
- No **Capítulo 3** é feita uma revisão do estado da arte, discutindo os principais estudos relacionados a jogos sérios para reabilitação;
- O **Capítulo 4** da dissertação apresenta a primeira versão do *Rehabilitate Game*, seguida das adaptações realizadas na versão inicial para esse trabalho de mestrado. O capítulo também apresenta a metodologia adotada para o desenvolvimento do jogo, incluindo o processo de co-design com profissionais da área da saúde. Também são abordados os métodos de avaliação utilizados, como a avaliação de usabilidade e experiência do usuário, e a avaliação de reconhecimento de movimento;
- No **Capítulo 5**, são apresentados os resultados e suas discussões, detalhando os requisitos identificados durante o processo de co-design, bem como a versão final do jogo pós co-design. Em seguida, são apresentados os resultados do experimento de usabilidade e experiência do usuário e, por fim, os resultados da avaliação de reconhecimento de movimentos;
- Finalmente, o **Capítulo 6** apresenta as considerações finais, onde são evidenciadas as principais contribuições do trabalho, suas limitações e trabalhos futuros.

2 Fundamentação Teórica

Esse capítulo apresenta as temáticas e definições importantes para subsidiar o desenvolvimento deste trabalho de mestrado, descrevendo e destacando os principais conceitos e nomenclaturas da anatomia do antebraço e sua biomecânica, bem como os tópicos relacionados aos jogos e computação, os quais são usados nesse trabalho. A primeira seção é destinada para a apresentação anatômica e dos movimentos do antebraço, seguida da seção que aborda a anatomia e biomecânica da mão. A seção seguinte destaca os principais comprometimentos da mão e antebraço. Os jogos sérios estão em uma seção usada para evidenciar conceitos importantes para o jogo proposto. Nas últimas três seções, são descritos a *IA*, a *VC* e o *MediaPipe*, visando destacar os conceitos e ferramentas computacionais importantes usados na implementação dos jogos propostos nessa dissertação.

2.1 Anatomia e Biomecânica do Antebraço

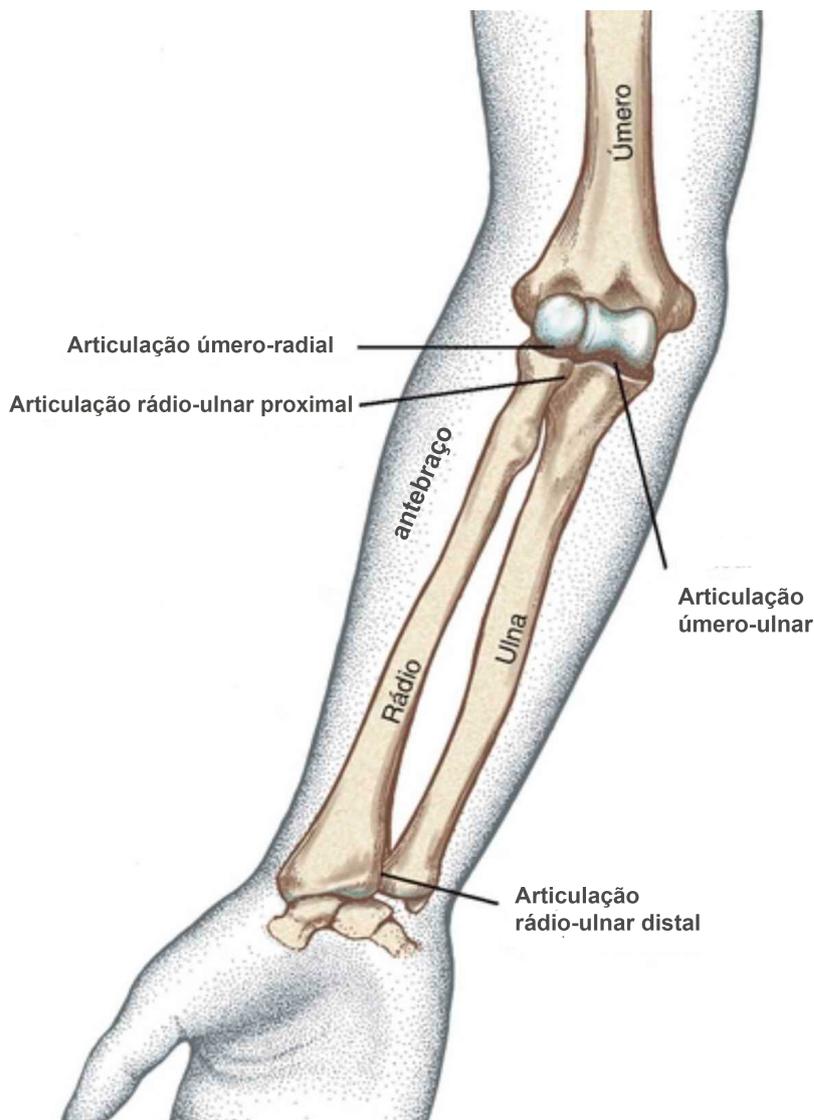
A pronação e supinação são os movimentos de rotação restritos ao antebraço. A supinação é a rotação que permite posicionar a palma da mão direcionada para cima e a pronação direcionada para baixo, sem que o ombro se movimente. As interações das articulações (cotovelo e antebraço) aumentam significativamente uma variedade de posicionamentos e movimentação eficazes da mão, permitindo uma maior eficácia em diferentes atividades (NEUMANN, 2010). As articulações do cotovelo e do antebraço são responsáveis por uma ampla variedade de movimentos da mão e do braço, permitindo que realizemos tarefas cotidianas e atividades físicas complexas.

O antebraço, ilustrado na Figura 1, faz parte do membro superior, sendo uma parte articulável e se estendendo do cotovelo ao punho. Ele é formado pelos ossos rádio e ulna ligados por uma membrana interóssea fibrosa e forte. Essa membrana possibilita a fixação/estabilidade dos ossos do antebraço enquanto ocorre a pronação e supinação, além de fornecer a fixação proximal para alguns músculos profundos do antebraço. No punho, existe uma articulação importante para os movimentos de rotação chamada de radioulnar distal, recebendo esse nome por estar localizada entre os ossos rádio e ulna. O movimento que ocorre nas articulações do cotovelo e radioulnar auxiliam o ombro na aplicação de força e no controle da colocação da mão no espaço (MOORE; DALLEY; AGUR, 2010).

2.1.1 Ossos

A ulna é o osso mais longo do antebraço e o que proporciona maior estabilidade aos movimentos. Em sua extremidade proximal, articula-se com o úmero e a cabeça do rádio

Figura 1 – Antebraço: ossos e articulações.



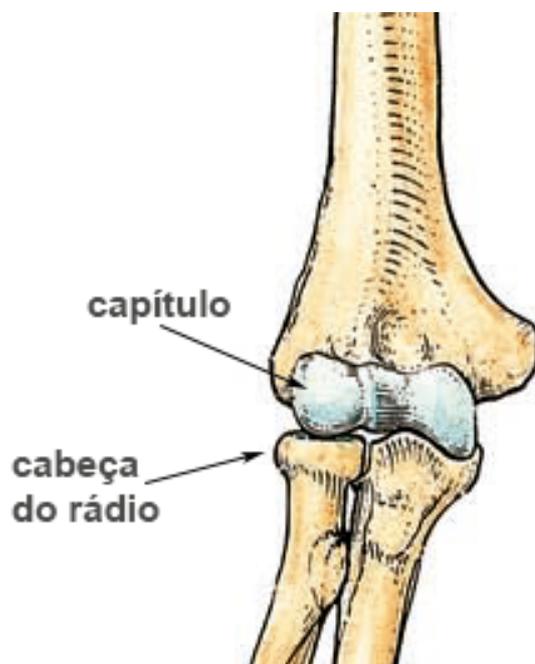
Fonte: Adaptado de (NETTER, 2017).

na lateral. A ulna possui duas projeções proeminentes: o olecrano, onde ocorre a projeção proximal de sua face posterior, sendo formado a ponta do cotovelo, servindo como uma pequena alavanca para a extensão do cotovelo; e o processo coronoide que se projeta da parte anterior e proximal do corpo da ulna (MOORE; DALLEY; AGUR, 2010).

O comprimento da ulna diminui progressivamente em todo o seu comprimento proximal, porém, na extremidade distal existe uma pequena cabeça expandida em um processo estiloide, como se percebe através da Figura 1. A diáfise, porção mediana e maior parte do osso, é triangular na posição transversal proximal e quase cilíndrica distalmente. Além disso, o comprimento posterior da ulna é convexa e a parte medial é sinuosa, possuindo sua metade proximal com uma pequena curvatura côncava na lateral, e a metade distal com uma curvatura côncava na parte medial (STANDRING, 2016).

O osso mais lateral do antebraço é o rádio (Figura 1) que possui extremidades proximais e distais expandidas, embora a parte distal seja mais larga. A diáfise se alarga mais em direção à sua extremidade distal, tendo sua lateral convexa, e a parte anterior e distal é côncava. Além disso, articula-se com o capítulo proximalmente, a ulna e o carpo (semilunar e escafoide) (STANDRING, 2016). Já na sua parte proximal, está dividido em cabeça, colo e tuberosidade. A cabeça do rádio é côncava e articular-se com o capítulo do úmero durante a flexão e extensão do cotovelo (MOORE; DALLEY; AGUR, 2010), como mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Articulação da cabeça do rádio com o capítulo do úmero.

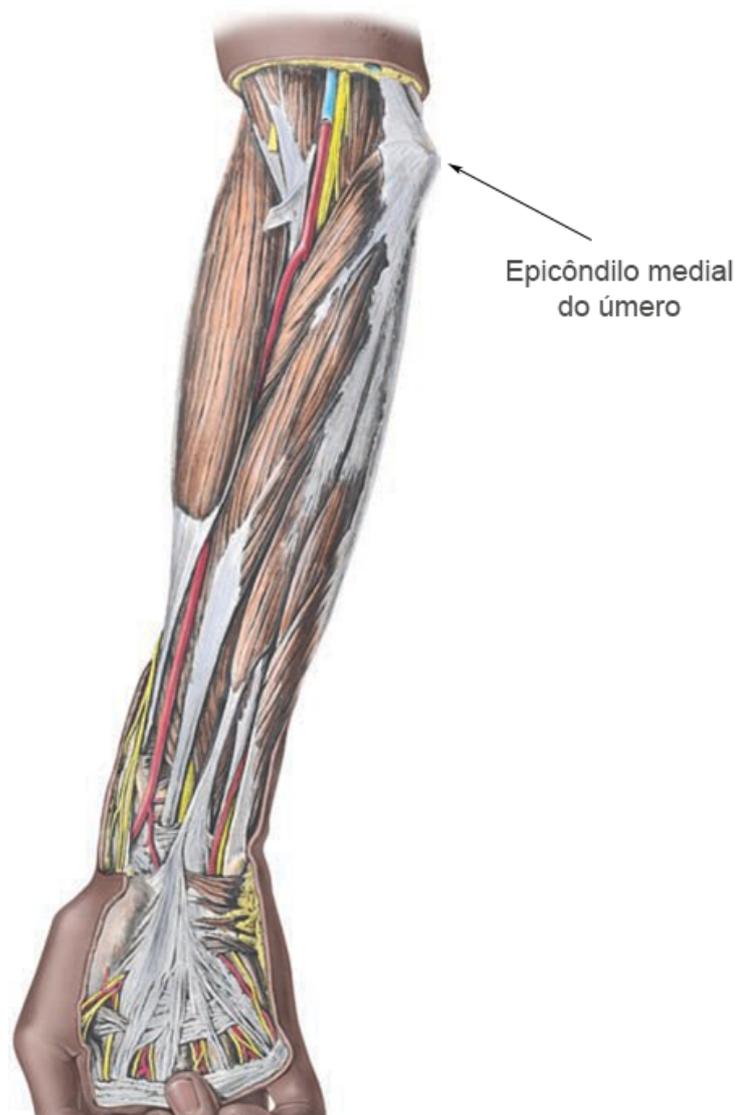


Fonte: Adaptado de (MOORE; DALLEY; AGUR, 2010).

2.1.2 Músculos

Para desempenhar as funções de flexão e extensão, os movimentos do antebraço e mão dependem da ativação dos músculos adequados. Esses músculos são responsáveis por realizar e controlar esses movimentos. O antebraço conta com seus músculos que estão divididos em dois compartimentos: o anterior, onde se localizam os flexores; e o posterior, responsáveis pela extensão. Os músculos cruzam a articulação do cotovelo, alguns dos quais atuando nas articulações presentes no próprio cotovelo, enquanto os demais atuam no punho e nos dedos. Na parte proximal, os músculos do antebraço possuem ventres musculares volumosos, se estendendo inferiormente do epicôndilo medial (Figura 3) e lateral (Figura 4) do úmero. Os tendões desses músculos passam pela parte distal do antebraço e continuam no punho e dedos. Os músculos flexores possuem cerca do dobro do volume e força dos músculos extensores (MOORE; DALLEY; AGUR, 2010).

Figura 3 – Epicôndilo medial do úmero, músculos estendendo inferiormente do epicôndilo medial.

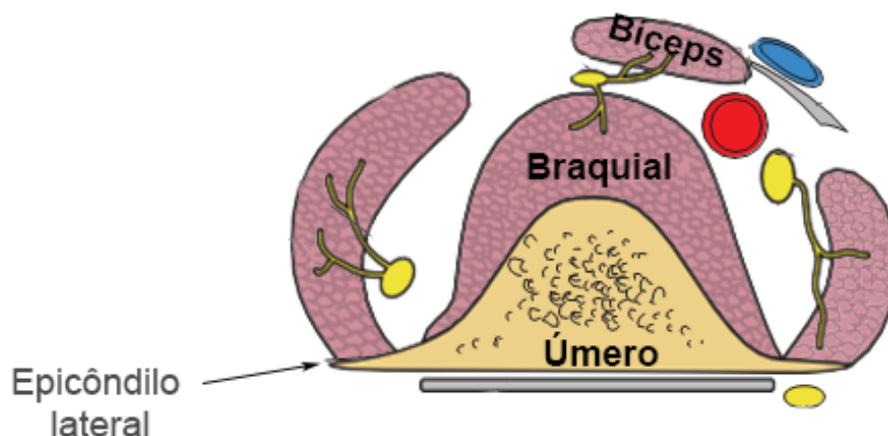


Fonte: Adaptado de (MOORE; DALLEY; AGUR, 2010).

No compartimento anterior, na epicondilite medial do úmero, é onde se originam os músculos flexores do punho e dedos (STANDRING, 2016). Esse compartimento está dividido em três camadas: superficial, intermediara e profunda. Na camada superficial estão os músculos pronador redondo, flexor radial do carpo, palmar longo e flexor ulnar do carpo. A camada intermediária é formada pelo músculo flexor superficial dos dedos. Por fim, os músculos flexores profundos dos dedos, flexor longo do polegar e pronador quadrado estão localizados na camada profunda. Todos os músculos do compartimento anterior do antebraço são inervados pelos nervos medianos e/ou ulnar, à exceção do braquiorradial que faz parte do flexor do antebraço, mas está localizado no compartimento posterior ou extensor, inervado pelo nervo radial (MOORE; DALLEY; AGUR, 2010).

Os músculos extensores de punho e dedos têm sua origem no compartimento

Figura 4 – Epicôndilo lateral do úmero, músculos estendendo inferiormente do epicôndilo lateral.



Fonte: Adaptado de (MOORE; DALLEY; AGUR, 2010).

posterior, no epicôndilo lateral (STANDRING, 2016). Os músculos que estendem, abduzem ou aduzem a mão na articulação do punho são os extensores radiais do carpo: longo, curto e o ulnar. Os que estendem os quatro dedos medialmente são os extensores: dos dedos, do indicador e do mínimo. Por fim, o abductor longo, extensor curto e extensor longo são responsáveis por abduzirem e estenderem o polegar (MOORE; DALLEY; AGUR, 2010).

2.1.3 Nervos

Os três nervos que se estendem ao antebraço são o mediano, ulnar e radial, sendo o mediano o principal do compartimento anterior, chamado flexor-pronador, inervando a maioria dos músculos desse compartimento e enviando ramos diretamente para as camadas superficial e intermediária dos músculos flexores do antebraço. O nervo radial aparece na região cubital, no compartimento posterior, o extensor-supinador do antebraço. Além dos nervos cutâneos, na parte anterior do antebraço, só existem dois nervos, mediano e ulnar (MOORE, 2018).

Assim como o nervo mediano, o nervo ulnar dá origem a outros ramos durante sua passagem através do braço. No antebraço, ele inerva o músculo flexor ulnar do carpo. Isso acontece quando entra no antebraço passando entre suas duas cabeças de fixação proximal e parte ulnar do flexor pronador dos dedos, que envia tendões para o 4º e o 5º dedo (MOORE, 2018). Por outro lado, o nervo radial é o principal do compartimento posterior por inervar todos os músculos desse compartimento do braço e do antebraço (CAETANO *et al.*, 2021).

2.2 Anatomia e Biomecânica da Mão

A mão é considerada a maior ferramenta do homem. Com a evolução ao longo dos anos, foram possíveis o desenvolvimento e o refinamento constante dessa ferramenta. Sua função é bastante complexa, tendo interações entre a força fornecida pela musculatura intrínseca e extrínseca, além da estabilidade fornecida pelos ligamentos e a estrutura óssea, garantindo a inserção e fixação para os músculos e ligamentos (PANCHAL-KILDARE; MALONE, 2013). A mão é composta de uma estrutura especializada que trabalha sincronizadamente, proporcionando uma biomecânica motora precisa e sentidos táteis finos (MAW; WONG; GILLESPIE, 2016). A anatomia da mão está dividida em falanges, ossos, metacarpos e ossos do carpo. Mais especificamente, a mão é composta de 27 ossos, incluindo oito ossos do carpo, cinco metacarpos e 14 falanges (MAW; WONG; GILLESPIE, 2016; PANCHAL-KILDARE; MALONE, 2013).

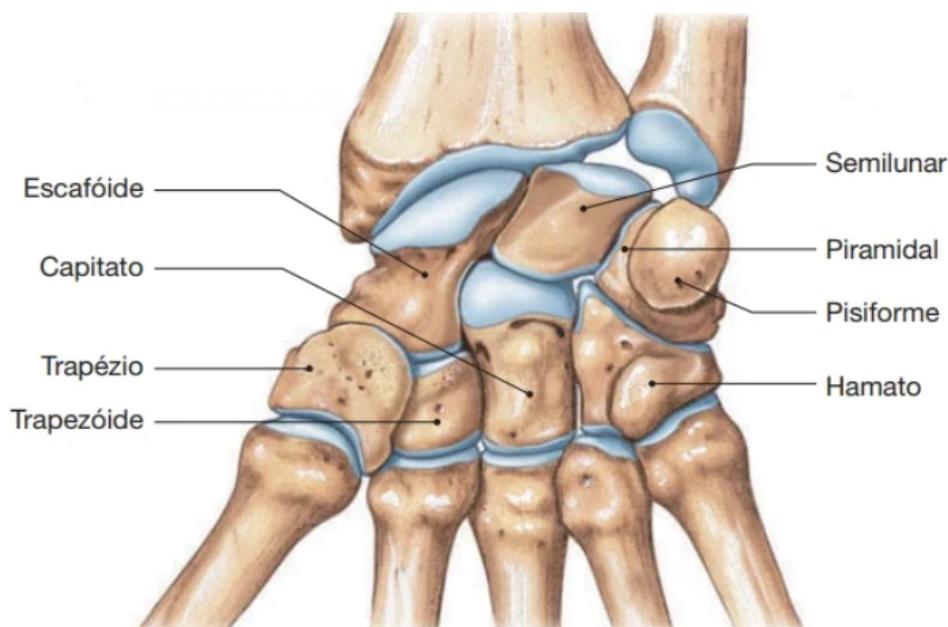
Os movimentos de flexão e extensão são comuns em quase todas as articulações do corpo humano que permitem movimentos livres, como os dedos dos pés, tornozelos, joelhos, quadris, tronco, ombros, cotovelos, punhos e dedos das mãos. Na mão, a flexão ocorre quando os dedos se curvam em direção à palma da mão. Isso é possível graças aos músculos flexores da mão, localizados na parte anterior do antebraço, que estão conectados aos ossos dos dedos por tendões que permitem a flexão. A extensão, por outro lado, é o movimento oposto à flexão, onde os dedos se estendem e se afastam da palma da mão. Isso é possível graças aos músculos extensores da mão, localizados na parte posterior do antebraço (HAMILL; KNUTZEN; DERRICK, 2016). As articulações interfalângicas são responsáveis pela flexão e extensão dos dedos, são consideradas articulações gínglimo clássicas, conhecidas também como articulações em dobradiça, que permitem movimentos em um único plano, como uma dobradiça de uma porta. As articulações *Interfalangeanas distais (IFD)* possuem um intervalo de flexão que varia de aproximadamente 12 a 31°, enquanto as articulações *Interfalangeanas proximais (IFP)* possuem um intervalo de flexão que varia de 19 a 70° (HALL, 2020).

2.2.0.1 Ossos

O carpo é pertencente às três regiões ósseas da mão, ficando localizado entre o antebraço e o metacarpo, formado por oito ossos carpais (Figura 5). Os ossos estão divididos em duas fileiras de quatro ossos: ossos carpais proximais e ossos carpais distais (NEUMANN, 2010; MARTINI; TIMMONS; TALLITSCH, 2009).

Os ossos carpais proximais são formados pelo escafoide, que fica na margem lateral do punho, e semilunar formato de vírgula, localizado medialmente ao escafoide e o piramidal. O escafoide e o semilunar articulam-se com a cabeça do rádio por meio do disco articular. O osso piramidal possui a forma de uma pequena pirâmide. Assim como os ossos anteriores, o piramidal articula-se com o disco articular que separa a cabeça da ulna do carpo e o

Figura 5 – Os oito ossos do carpo, divididos em carpais proximais e distais.



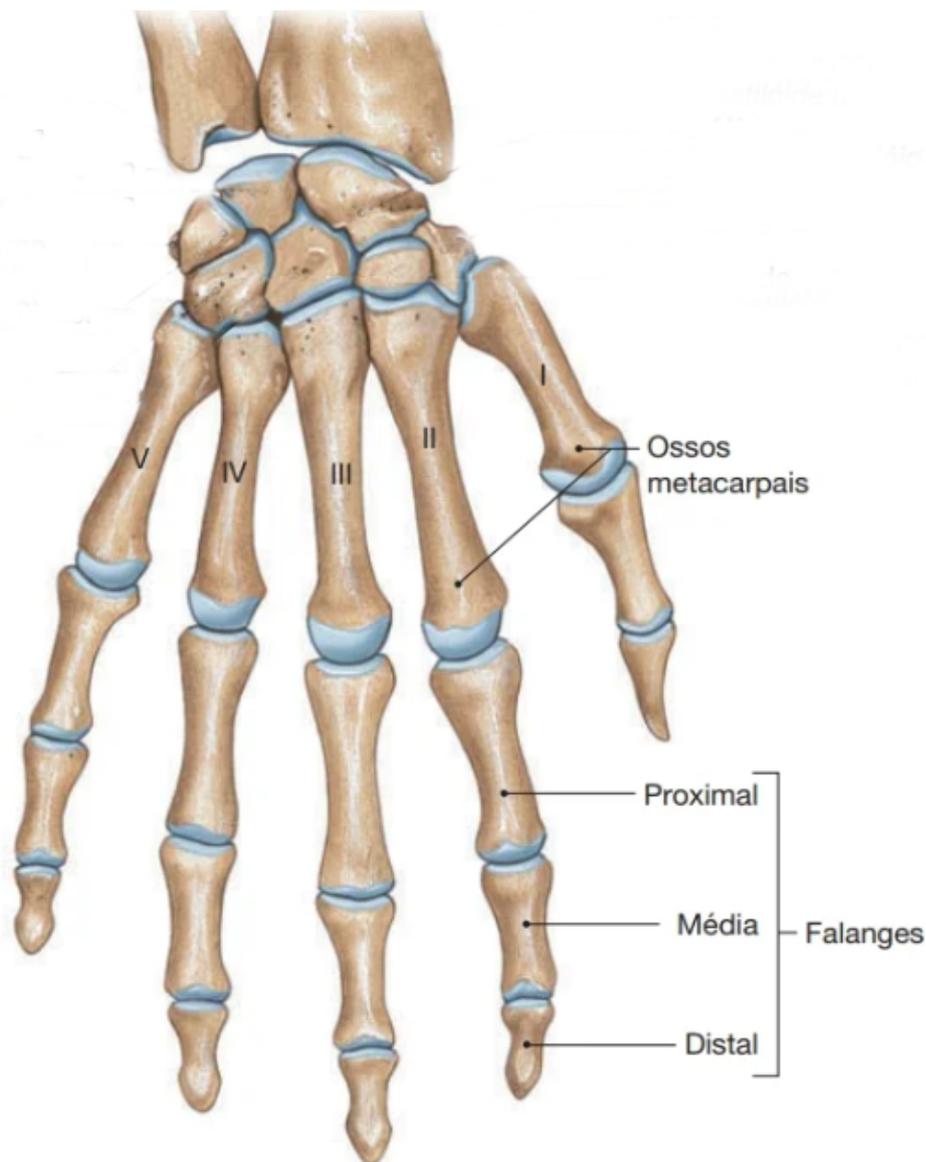
Fonte: Adaptado de (MARTINI; TIMMONS; TALLITSCH, 2009).

pisiforme, localizado anteriormente ao piramidal e se estendendo medialmente aos outros osso do carpo nas fileiras proximal ou distal (MARTINI; TIMMONS; TALLITSCH, 2009).

Os ossos carpais distais são formados pelo trapézio, trapezóide, capitato e hamato. Trapézio é o osso lateral da parte distal, formando uma articulação proximal com o escafoíde. O trapezóide localiza-se medialmente ao trapézio, sendo o menor osso carpal distal e possui uma articulação proximal com o escafoíde. O capitato é o maior o osso carpal, e situa-se entre o trapezóide e o hamato. Por fim, o hamato é o osso localizado medialmente da fileira distal (MARTINI; TIMMONS; TALLITSCH, 2009).

O metacarpo é a região óssea da mão que se articula com os ossos carpais e sustentam a palma da mão (que se encontram entre a punho e os dedos) (Figura 6) (MARTINI; TIMMONS; TALLITSCH, 2009). Ele é formado por cinco ossos metacarpos, numerados de um a cinco, iniciando pelo polegar. A aparência dos metacarpos é de uma miniatura de osso longo. Eles possuem uma cabeça distal, uma haste e uma base expandida. As cabeças distais são de formato arredondado e fazem articulação com as falanges próximas (NEUMANN, 2010). As bases dos metacarpos fazem articulação com a fileira distal do carpo e entre si, exceto o primeiro e o segundo metacarpos (que se se articula somente com os ossos da fileira proximal do carpo). As hastes possuem superfícies palmares longitudinalmente côncavas, formando cavidades para os músculos palmares. Os metacarpos são de grande importância para mão, ao serem responsáveis por transmitir a força dos músculos da mão aos dedos, garantindo movimentos precisos e delicados (PANCHAL-KILDARE; MALONE, 2013).

Figura 6 – Os cinco ossos metacarpais e suas ligações com os carpos e as falanges.



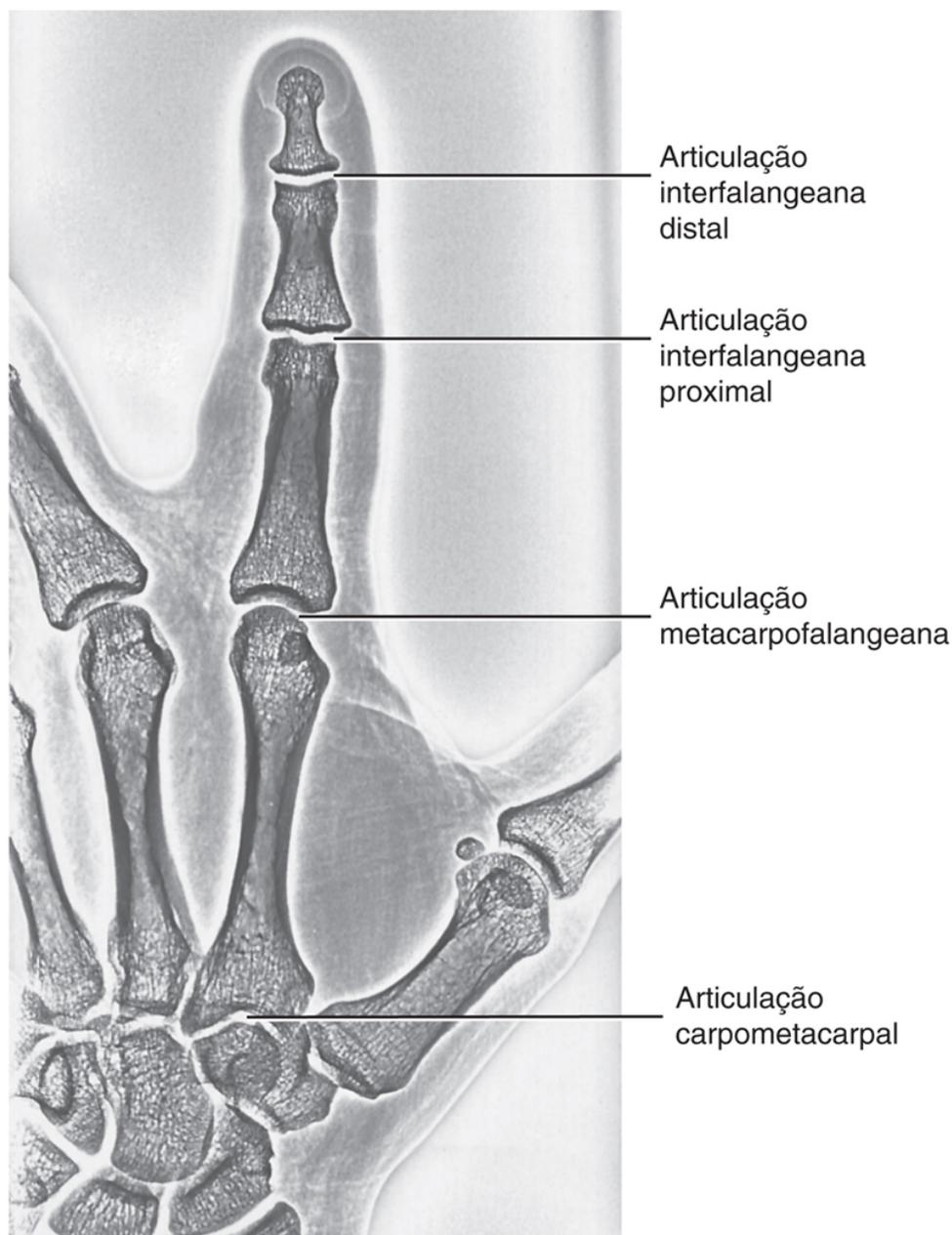
Fonte: Adaptado de (MARTINI; TIMMONS; TALLITSCH, 2009).

Falanges são os ossos que formam os dedos da mão. Cada mão possui 14 falanges, em que cada dedo possui três falanges (proximal, média e distal), com exceção do polegar, que possui somente duas (proximal e distal), como visto na Figura 6 (MARTINI; TIMMONS; TALLITSCH, 2009). As falanges de um dedo em particular têm sua estrutura semelhante (com exceção da diferença em tamanho), possuindo uma cabeça, o corpo e a base. As falanges proximal e medial dos dedos possuem base diáfise côncavas e cabeça convexa. Já a falange distal de cada dedo tem uma base côncava e, em sua extremidade distal, possuem tuberosidade arredondada (NEUMANN, 2010).

2.2.0.2 Articulações

As articulações **Carpometacárpicas (CMC)** são formadas pela articulação entre a fileira distal dos ossos do carpo e base dos cinco metacarpos (Figura 7), ficando na região mais proximal da mão. A rigidez dos ossos do segundo e terceiro dedo unidos ao carpo distal forma um pilar central estável e fixo através da mão. Quando a mão é fechada em volta de um objeto, as articulações **CMC** mais periféricas se adaptam à forma do objeto, de modo que a mão envolva o objeto com firmeza e precisão (NEUMANN, 2010).

Figura 7 – Articulações do dedo indicador.



Fonte: Adaptado de (NEUMANN, 2010).

A articulação **CMC** do polegar fica localizada entre o metacarpo e o trapézio, sendo

a mais complexa das articulações **CMC** entre todos os dedos, permitindo uma variedade de movimentos que são essências do polegar. Desta forma, ela permite que o polegar circunde objetos na palma (HAMILL, 1999; NEUMANN, 2010). A segunda articulação **CMC** é formada pela articulação entre a base ampliada do segundo metacarpo e a superfície distal do trapézio, também podendo envolver o osso capitato. A terceira articulação **CMC** é formada principalmente entre a base do terceiro metacarpo e a superfície distal do capitato. Já a quarta articulação **CMC** fica entre a base do quarto metacarpo e a superfície distal do hamato, e pode envolver também o capitato. Por fim, a quinta articulação **CMC** consiste entre a base do quinto metacarpo e a superfície distal do hamato (NEUMANN, 2010).

As articulações **Metacarpofalângicas (MCF)** são formadas pela conexão dos metacarpos e as falanges. São articulações ovoides, ou seja, formadas entre as cabeças convexas dos metacarpos e as superfícies proximais côncavas rasas das falanges proximais (Figura 7). A função das articulações **MCF** dos quatro dedos é também diferente da função do polegar. As articulações **MCF** dos quatro dedos são condiloides, ou seja, que permitem movimentos em dois planos, flexão-extensão no plano sagital e abdução-adução no plano frontal. A articulação **MCF** no polegar é uma articulação em gínglimo, permitindo movimento em apenas um plano. Essa articulação é reforçada em ligamentos colaterais e com os ligamentos palmares. Com a articulação **MCF** relaxada e praticamente estendida, pode ser vista a ampla mobilidade passiva da falange proximal em relação à cabeça do metacarpo. Com isso, a articulação pode ser distendida-comprimida, transladando no sentido anteroposterior (para frente e para trás), laterolateralmente e em rotação axial (em torno do seu próprio eixo). Com esses amplos movimentos acessórios nas articulações **MCF** permitem que os dedos adaptem-se melhor às formas dos objetos apreendidos, assim aumentando o controle da preensão (NEUMANN, 2010; HAMILL, 1999).

As articulações interfalangeanas da mão são: **IFP**, distais e do polegar. As articulações **IFP** e **IFD** só ocorrem do 2º ao 5º dedo (é a região onde possui as três falanges) e o polegar, possuindo somente uma articulação interfalangeana. As articulações entre os dedos possuem uma superfície articulada com formatos e estruturas específicas. Articulações **IFP** são formadas entre a cabeça da falange proximal e a base da falange média. A cabeça da falange proximal apresenta dois côndilos, arredondados e separados por um sulco central raso. E na superfície oposta da falange média, tem duas facetas côncavas rasas separadas por uma crista central. As articulações **IFD** são formadas entre a cabeça da falange média e a base da falange distal, e são semelhantes à estrutura das articulações **IFP**, com exceção da ausência dos ligamentos de contratura em flexão. O polegar possui uma única articulação interfalangeana por possuir somente duas falanges, a proximal e a distal (NEUMANN, 2010; HAMILL, 1999).

2.2.0.3 Músculos

Os músculos que controlam os dedos da mão estão classificados em dois grupos principais: extrínsecos e intrínsecos. Os músculos extrínsecos possuem sua origem fora da mão, e possuem tendões que se estendem por uma grande distância, alcançando até a ponta dos dedos. Esses tendões são mantidos em seus lugares ao redor do punho por faixas fibrosas chamadas de retináculos, que se encontram tanto na parte dorsal quanto na parte palmar do punho. Os retináculos ajudam a manter os tendões no lugar durante o movimento da mão e dos dedos. Os músculos intrínsecos possuem tanto a origem quanto a inserção na mão, e são responsáveis por movimentos nas articulações MCF e interfalangeanas. Na palma da mão, os quatro músculos intrínsecos do polegar formam uma região carnosa conhecida como eminência tenar. Já no lado da palma referente ao dedo mínimo, os três músculos intrínsecos desse dedo formam uma crista carnosa de menor proporção, chamada de eminência hipotenar. Esses músculos são importantes para proporcionar força e precisão nos movimentos da mão e dos dedos (NEUMANN, 2010; HAMILL, 1999).

2.2.1 Nervos

Os nervos que fazem parte da mão são: ulnar, mediano e radial. Os três nervos contribuem na sensibilidade cutânea geral. O nervo ulnar inerva todos os músculos intrínsecos da mão, mas os três músculos tenares e os dois músculos lumbricais laterais são inervados pelo nervo mediano. O nervo radial é o último nervo a passar pelo antebraço, seguindo uma trajetória lateral e posterior na região radial. Ele passa profundamente ao tendão do músculo braquiorradial e, em seguida, continua na mão, inervando a pele sobre a sua superfície posterolateral. O nervo ulnar entra na mão pela lateral, próximo ao osso pisiforme e logo atrás da artéria ulnar. Ao passar pelo pisiforme, ele se divide em dois ramos: um mais profundo, que controla principalmente os músculos da mão, e outro mais superficial, que é responsável principalmente pela sensibilidade da pele. O medial é considerado o nervo sensitivo mais importante da mão, pelo fato de inervar a pele dos dedos do polegar, indicador e médio, e também da face lateral do dedo anular.

O sistema nervoso é responsável por reunir informações do ambiente através do sentido do tato, sendo especialmente importante na área da mão que cobre o polegar e o dedo indicador. Além disso, os três dedos laterais e metade lateral do dedo anular fornecem informações sensitivas que permitem posicionar os dedos com a força adequada para agarrar objetos com precisão. Já o nervo radial possui somente um componente que entra na mão, o ramo superficial. Na mão, ele passa sobre a tabaqueira anatômica (i.e., região que fica entre o polegar e o dedo indicador), na face posterolateral do punho, a qual supre a pele sobre a face posterolateral da palma da mão, e nas costas dos três dedos laterais e metade do quarto dedo, a partir das juntas mais próximas das pontas dos dedos (MITCHELL; WM,).

2.3 Principais Comprometimentos no Antebraço e na Mão

Nessa seção são apresentados alguns comprometimentos causadores das sequelas motoras no antebraço e na mão, que implicam em incapacidades nos movimentos: o AVE, a tenossinovite de *De Quervain*, a lesão do plexo braquial, a epicondilite lateral e a hanseníase. Para cada comprometimento, são acrescentados breves comentários sobre sua incidência, origem e suas consequências.

O AVE é uma das principais causas de incapacidade em todo o mundo, com 80% dos pacientes apresentando prejuízos na parte motora do membro superior e com uma recuperação funcional em torno de 30% entre acometidos (AHMED; YELDAN; MUSTAFAOGLU, 2022). Além de todas as graves sequelas consequentes do AVE, as sequelas motoras afetam a mobilidade do paciente, limitando-o em suas atividades básicas diárias, participação social e atividades profissionais, tendo como consequência danos em sua qualidade de vida (HATEM *et al.*, 2016). A hemiparesia, que é a paralisia parcial de um lado do corpo, é uma complicação comum após o acidente vascular encefálico (AVE) e frequentemente afeta o membro superior. Essa condição pode causar fraqueza muscular, contraturas musculares, alterações no tônus muscular, frouxidão articular e prejudicar o controle motor. Esses sintomas podem dificultar tarefas cotidianas, como alcançar, pegar e segurar objetos (HATEM *et al.*, 2016).

Outra doença que compromete os movimentos do antebraço e da mão é a tenossinovite do primeiro compartimento extensor do punho, também chamada tenossinovite de *De Quervain*. Ela está entre os distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho, cuja incidência vem aumentando no mundo. Ela tem origem multifatorial, envolvendo também fatores genéticos ligados ao sexo, pois é observada uma maior incidência entre as mulheres (SANT'ANNA; RANGEL; MOTA, 2018; HETAIMISH *et al.*, 2020). A tenossinovite de *De Quervain* é uma das doenças que mais acometem o punho, causando um processo inflamatório local e atingindo os tecidos sinoviais peritendinosos e os tecidos próprios dos tendões (GOEL; ABZUG, 2015; ABI-RAFEH *et al.*, 2020; TAMURA *et al.*, 2020).

Complicações neurológicas decorrentes da luxação do ombro podem envolver tanto lesões de um único nervo como lesões mais complexas do plexo braquial, causando uma ampla escala de incapacidades, desde o enfraquecimento transitório do membro superior e sensação de formigamento até paralisia permanente total do membro (GUTKOWSKA *et al.*, 2020; RICH; NEWELL; WILLIAMS, 2019). A lesão do plexo braquial pode ocorrer devido lesão obstétrica ou por traumas no ombro devido a acidentes (THATTE; NAYAK; HIREMATH, 2020; LI *et al.*, 2019; PONDAAG; MALESSY, 2021).

Alguns distúrbios que podem causar incapacidades têm sua origem em decorrência de um esforço repetitivo, como, por exemplo, a epicondilite lateral, também chamada de “cotovelo de tenista”. Ela é a causa mais comum de dor e disfunção do cotovelo,

e ocorre principalmente de preensão repetitiva ou extensão do punho durante várias atividades. Afeta de 1% a 3% da população, produzindo um enorme ônus social e econômico como consequência dos dias de trabalho perdidos, podendo até impedir os pacientes de trabalharem por semanas (MA; WANG, 2020; DUNCAN *et al.*, 2019; LENOIR; MARES; CARLIER, 2019; JOHNS; SHRIDHAR, 2020).

A hanseníase se caracteriza como uma doença crônica causada pelo *Mycobacterium leprae* que apresenta um curso clínico dependente da interação entre a resposta imune do hospedeiro e o patógeno, infectando as células cutâneas e os nervos periféricos e ocasionando lesões. Sendo um agravo de grande relevância para saúde pública, a hanseníase acomete a pele e os nervos periféricos, podendo gerar deformidades e apresentando potencial incapacitante. Os pacientes podem apresentar diminuição da força do membro superior e da sensibilidade, além de limitações na realização de atividades e restrição de participação social, causando prejuízos nos âmbitos econômico, social, cultural e emocional (CARREGOSA *et al.*, 2020; ALECRIM *et al.*, 2018; da Rosa1 Izabella *et al.*, 2021; SANTANA *et al.*, 2021; ALECRIM *et al.*, 2018; Pradeep Nair; Nanda Kumar, 2013). Quando há lesão em níveis mais proximais, os músculos extrínsecos podem ser comprometidos, levando à perda de controle dos músculos distais, flexão da falange dos dedos indicador e médio, perda das funções superficiais flexoras, comprometimento do movimento de pronação e tendência ao desvio ulnar do punho. Com esses sintomas, pode ser difícil manusear objetos pequenos e capturar objetos maiores. Já a lesão do nervo ulnar pode causar distúrbios na circulação da borda interna da mão dos dedos 4^o e 5^o, com paralisia da maioria dos músculos intrínsecos da mão, resultando em deformidade em garra e atrofia dos músculos hipotenar e tenar (LASTÓRIA; ABREU, 2014).

2.4 Jogos Sérios

Às vezes, a reabilitação clássica é considerada um processo lento, decorrente da falta de motivação e entediante, devido à natureza repetitiva dos exercícios. Em decorrência disso, muitos pacientes consideram os exercícios estressantes, levando a desistência da terapia. Como uma proposta para contornar esses problemas, estão sendo desenvolvidas novas formas de apoio terapêutico convencional nos últimos anos, tais como tratamento medicinal, robótica e jogos.

Os jogos digitais têm desempenhado funções importantes nas áreas de educação, treinamento e informação, focando em um propósito de uma área específica (TAN; ZARY, 2019). Os jogos sérios são desenvolvidos para promover alguma mudança no jogador, como o conhecimento, a capacidade física e cognitiva, assim como a saúde ou bem-estar mental (SPIL *et al.*, 2021), não tendo o entretenimento como foco principal. Na área de reabilitação de pacientes com deficiência motora, os jogos sérios incorporam a diversão

nos exercícios, permitindo que o paciente esqueça a sua condição atual e se concentre no jogo (AMBROS-ANTEMATE *et al.*, 2021).

Portanto, sistemas de reabilitação baseados em jogos têm como propósito tornar os exercícios de reabilitação mais atraentes e promover a motivação aos pacientes, através da interação entre o jogo e os usuários utilizando de cenários orientados a tarefas. Essa abordagem de reabilitação pode ser personalizada por profissionais para as necessidades de cada paciente, pois estudos apontam que apenas um terço dos pacientes com AVE realmente realizam exercícios recomendados em casa, devido à falta de motivação em decorrência dos exercícios repetitivos convencionais. Nesse quesito, a reabilitação baseada em jogos possibilita o incentivo aos pacientes a continuarem com os exercícios de reabilitação em casa (HUNG *et al.*, 2016).

Apesar de estarem presentes em várias formas e gêneros, os jogos sérios geralmente contêm quatro características que os definem: um objetivo para os jogadores tentarem alcançar, regras de limitações do jogo, um sistema de *feedback* mostrando como deve alcançar o objetivo e a participação voluntária dos jogadores (WARSINSKY *et al.*, 2021). No estudo Qiu *et al.* (2020), foi relatado que o número de repetições de treinamento realizado por sobreviventes do AVE com a reabilitação utilizando jogos sérios é mais elevado do que o realizado por uma reabilitação clássica (QIU *et al.*, 2020).

Outra abordagem é a reabilitação interpessoal, uma forma de promover a motivação na reabilitação motora através do uso de jogos sérios que permitem ao paciente competir ou cooperar com outra pessoa. A competição e a cooperação são elementos conhecidos por serem motivadores em jogos para entretenimento e diversão, além dos potenciais benefícios para a saúde (QIU *et al.*, 2020).

Nem sempre um terapeuta está disponível ou o paciente tem condições de fazer o traslado até a clínica para encontros regulares, sendo uma alternativa viável para contornar esse problema a reabilitação domiciliar. Nesse caso, os pacientes podem ter acesso ao tratamento com jogos de reabilitação interpessoal com as pessoas de seu convívio domiciliar. A competição e cooperação são previamente sugeridas e essa estratégia é apontada como promotora da motivação ao fortalecer os laços sociais entre pacientes e parentes (GORŠIČ; CIKAJLO; NOVAK, 2017).

Um aliado para a reabilitação motora da extremidade superior, que vem ganhando interesse e sendo estudado, é o uso de RV, disponibilizando vários dispositivos no mercado com resultados promissores no tratamento de sequelas motoras. Como exemplo, o *Leap Motion Controller*® é uma tecnologia que analisa imagens para reconstruir uma representação tridimensional captada pelo dispositivo (e.g., a mão), permitindo o usuário interagir em um ambiente virtual semi-imersivo (AGUILERA-RUBIO *et al.*, 2022).

Outro termo associado a esse contexto, e relativamente recente, é a gamificação, que

remete ao uso de elementos de *design* de jogo em diversos outros contextos ou ambientes (DETERDING *et al.*, 2011). Esses elementos são, por exemplo, pontuações, níveis ou fases, avatares, missões, gráficos sociais ou certificados (KRATH; SCHÜRMAN; KORFLESCH, 2021). Jogos sérios e gamificação ganham cada vez mais atenção em muitos campos e sendo utilizados em vários grupos-alvos. Essa atenção especial não pode ser vista somente pelo número de aplicações, mas também no crescente número de pesquisas em áreas acadêmicas focadas nos aspectos de jogos sérios e gamificação (LUBBE *et al.*, 2021).

Com a crescente utilização das **Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs)**, novas formas de reabilitações estão sendo adotadas, visando promover a recuperação funcional, físicas e cognitivas na forma de exercícios interativos baseados em jogos, conhecidos como *exergames*. Essas formas de reabilitações recorrem a plataformas tecnológicas que exigem de seus usuários movimentos corporais para concluir tarefas atribuídas por elementos de interface de videogame (KAMNARDSIRI *et al.*, 2021). Através dessa combinação de exercícios físicos com estimulação cognitiva, o treinamento pode ficar mais próximo das necessidades das atividades diárias. Além disso, os *exergames* fornecem um alto potencial motivacional ao proporcionarem uma jogabilidade agradável e por serem aplicados a diversas configurações (ADCOCK *et al.*, 2020).

É perceptível que os jogos de computador interativos ganharam atenção como componentes de reabilitação. Construídos sobre os avanços em **RV** e dispositivos de rastreamento, e vão desde sistemas de plataforma de alto custo até tecnologias de videogame de baixo custo. Sistemas de reabilitação baseados em jogos motivam o paciente durante os exercícios de reabilitação, sendo comum que essas categorias de sistemas funcionem com o princípio de oferecer aos pacientes uma interface de usuário interativa com diferentes cenários orientados a tarefas. Por exemplo, usando dispositivos de rastreamento, os pacientes podem fazer movimentos específicos de reabilitação para interagir com o jogo e ganhar amplitude em um movimento (HUNG *et al.*, 2016). Além disso, jogos sérios que utilizam **IA** têm sido amplamente adotados na área da saúde, proporcionando uma experiência imersiva e personalizável. Esses jogos combinam tecnologia com os princípios da **IA** para oferecer soluções inovadoras (ABD-ALRAZAQ *et al.*, 2022).

2.5 Inteligência Artificial

A **IA** é um ramo da Ciência da Computação que simula o pensamento e o comportamento da inteligência do ser humano em computadores (CAIJUN; XI; ZHENZHOU, 2021), tendo estudos associados às várias sub-áreas específicas, tais como, sistemas especialistas, aprendizado de máquina, reconhecimento de padrões, compreensão de linguagem natural, prova automatizada de teoremas, programação automática, robótica, teoria dos jogos, dentre outras (Liu Xian, 2010). Com áreas ainda em desenvolvimento e pesquisas, a **IA**

passou por um longo processo de amadurecimento gradual (FU, 2020), estando presente em várias aplicações, inclusive no auxílio em processo de reabilitação, fornecendo suporte a fisioterapia (JAYATILAKE *et al.*, 2013).

O **Aprendizado de Máquina (AM)** (do inglês, **Machine Learning (ML)**) é uma subárea da **IA** com o propósito de desenvolver técnicas computacionais de construção de sistemas capazes de adquirir conhecimento de forma automática. O **AM** é chamado de supervisionado quando o objetivo é realizar uma predição sobre padrões ou instâncias futuras de um problema, tendo como base instâncias rotuladas fornecidas previamente. Já o **ML** não supervisionado objetiva, em geral, realizar agrupamentos para identificar padrões e organizar os dados em grupos, sem a necessidade de usar dados rotulados.

A solução proposta por esta dissertação tem como base o uso de **AM** para o rastreamento da mão, por meio do *MediaPipe*, o qual é capaz de realizar a inferência de 21 pontos de referência da mão. Portanto, os conceitos introdutórios relacionados a **IA** e **AM** são importantes para o entendimento da solução proposta por este trabalho de mestrado.

2.6 Visão Computacional

O ser humano consegue detectar e rastrear imagens de objetos a qualquer momento durante suas atividades diárias, como, por exemplo, a percepção de obstáculos, pedestres ou outros veículos enquanto dirige. O campo da **VC** (do inglês, *Computer Vision*) propõe diversos algoritmos para a detecção e rastreamento de vários alvos de forma automática, sendo possível a criação de aplicações nesse seguimento, como, algoritmos para vigilância por vídeo, análise de esportes de equipe e interações humano-computador (KAMKAR *et al.*, 2020).

Portanto, a **VC** é uma subárea da **IA** designada para a compreensão de imagens estáticas e sequências de imagens (i.e., vídeos), como a capacidade de reconhecer pessoas, objetos, reconstrução de cenas tridimensionais ou navegar em ambientes. Ela é um campo baseado na Ciência da Computação, processamento de sinais e vários campos matemáticos, como geometria, estatística e álgebra (GERONIMO *et al.*, 2013).

Os gestos da mão do usuário são utilizados na solução proposta por este estudo de mestrado. Com base em **VC**, e através de uma câmera, é possível capturar os gestos da mão, a partir do fluxo de vídeo e o reconhecimento em tempo real dos 21 pontos-chave de referência na imagem da mão.

2.7 *MediaPipe*

O *MediaPipe* é uma *framework* de código aberto utilizado para o desenvolvimento de soluções de **AM** e **VC**, desenvolvido e mantido pela Google. O *MediaPipe* provê modelos

treinados que podem ser reutilizados de forma simples, pois visa ajudar pesquisadores e desenvolvedores a criarem suas próprias soluções. Ele disponibiliza modelos que podem ser implementados em diversas plataformas, tais como Android, iOS, Windows, Linux e Web.

Sua arquitetura adota os seguintes conceitos (LUGARESI *et al.*, 2019): grafos (*Graph*), nós (*Calculators*), pacotes (*Packets*) e fluxos (*Streams*). A arquitetura dele é organizada em uma *pipeline* de um grafo, em que os nós são conectados por fluxos de dados, e cada fluxo representa uma série temporal de pacotes de dados. A *pipeline* é flexível, permitindo inserir ou substituir qualquer nó do grafo, além de customizá-los. Os grafos podem ter qualquer número de entradas e saídas, e ainda ramificar ou mesclar os fluxos de dados. Os dados entre os nós fluem de forma bidirecional. Nos nós ocorrem boa parte do processamento de um grafo e sua função é consumir pacotes e sua interface é responsável por definir o número de portas de entrada e saída para os fluxos, as quais são identificadas por índices.

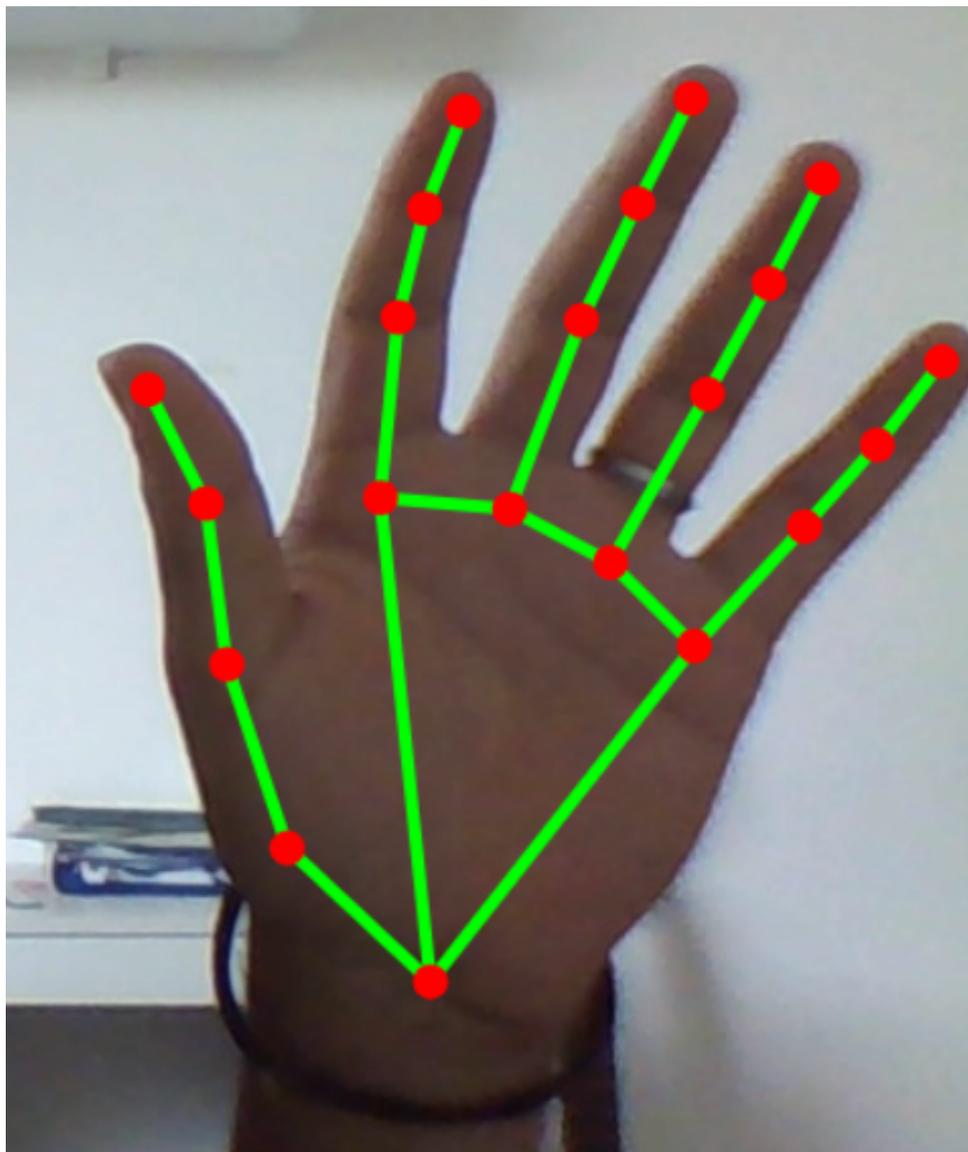
Dentre os diversos modelos disponíveis no *MediaPipe*, as principais soluções são para: detecção de face (*Face Detection*), malha de rosto (*Face Mesh*), mãos (*Hands Detection*), segmentação de cabelo (*Hair Segmentation*) e detecção de objetos (*Object Detection*). Em particular, o *MediaPipe Hands* (MH) é uma solução de rastreamento das mãos e dedos de seres humanos, em que foram usadas técnicas de AM para identificar 21 pontos-chave da mão a partir de um único quadro (i.e., *frame*), como visto na Figura 8. O método utilizado pelo *MediaPipe* consegue um desempenho em tempo real e utiliza dois modelos de AM: o primeiro é aplicado à imagem completa para detectar a mão, delimitando-a por uma caixa; já o segundo modelo trabalha somente na região delimitada previamente para identificar os pontos-chave.

Com os avanços tecnológicos, a percepção da forma e movimento das mãos podem ser peças vitais para melhorar a experiência do usuário em uma variedade de domínios e plataformas tecnológicas. Essa percepção pode ser aplicada na compreensão da linguagem de sinais, no controle de gestos manuais, na sobreposição de conteúdo digital e informações do mundo físico no auxílio da realidade aumentada. Na VC, a percepção robusta das mãos em tempo real é uma tarefa desafiadora devido a oclusões das próprias mãos e dos dedos, não possuindo um padrão de alto contraste.

O modelo MH é uma solução de rastreamento da mão e dos dedos com um alto grau de precisão. Para isso, é aplicado um método de AM, em que é feita a inferência de 21 pontos em 3D (i.e., com coordenadas x, y e z) de uma mão a partir de um único quadro. O MH possui ótimo desempenho em tempo real, podendo ser utilizado em um celular e com uma escala para várias mãos em simultâneo (ZHANG *et al.*, 2020).

O MH utiliza uma pipeline de AM composta de vários modelos que trabalham em conjunto: um que detecta a palma da mão que aparece na imagem completa e retorna uma caixa de delimitação manual orientada; e outro modelo de referência manual que opera na

Figura 8 – Mapeamento dos 21 pontos da mão com o modelo MH.



Fonte: teste realizado pelo autor.

região onde foi delimitada pelo modelo anterior de detecção da palma da mão, retornado os pontos-chave 3D (ZHANG *et al.*, 2020).

2.7.1 *Palm Detection Model*

A detecção das mãos é uma tarefa complexa, considerando a sua variação de tamanho, com uma extensão grande de escala (20x) em relação aos quadros de imagem e também a capacidade de detectar mãos ocluídas e auto-ocluídas. Comparados ao modelo *MediaPipe Face Mesh*, o rosto possui padrões de alto contraste, como, por exemplo, na região dos olhos e da boca, facilitando a identificação do rosto. Essa característica falta nas mãos, tornando comparativamente mais difícil a detecção de forma confiável se for considerado somente as características visuais. Para isso, é preciso fornecer contextos adicionais, como

características do braço, corpo ou pessoa, auxiliando a localização precisas das mãos.

Para superar os desafios mencionados, no modelo *Palm Detection Model* foram utilizadas diferentes estratégias, como o treinamento de um detector de palma em vez de um detector de mão por inteiro, por ser mais fácil estimar caixas delimitadoras de objetos rígidos, como palmas e punhos, tornando significativamente mais simples do que detectar mãos com dedos articulados (ZHANG *et al.*, 2020). Nesse modelo, também foi considerado que as palmas das mãos são objetos menores, então a solução teria um melhor desempenho para casos de auto-occlusão de duas mãos, como, por exemplo, um aperto de mão. Além disso, as palmas das mãos podem ser modeladas usando caixas delimitadoras quadradas, possibilitando ignorar outras proporções.

2.7.2 *Hand Landmark Model*

Posterior a detecção da palma em toda a imagem, o modelo de referência da mão realiza uma localização precisa do ponto-chave de 21 coordenadas 3D da articulação da mão nas regiões da mão detectadas por regressão. O modelo aprende uma representação da pose da mão interna consistente e robusta até mesmo para mãos parcialmente visíveis e auto-ocluídas. Para se chegar a esse resultado, o modelo foi treinado com cerca de 30 mil imagens reais com coordenadas 3D dos 21 pontos. Para uma melhor detecção de possíveis poses e fornecer uma supervisão adicional sobre a geometria da mão, foi renderizado um modelo de mão sintético de alta qualidade sobre vários fundos, e mapeamento para as coordenadas 3D correspondentes, como demonstrado na Figura 8.

2.8 Conclusão

Este capítulo apresentou os conceitos necessários para o entendimento do trabalho de pesquisa realizada. A teoria apresentada no capítulo é fundamental para entender o restante do conteúdo. A seguir, no próximo capítulo, são apresentados os trabalhos relacionados a essa pesquisa de mestrado.

3 Trabalhos Relacionados

Os trabalhos relacionados apresentados neste capítulo restringem-se a estudos que focaram na proposição de jogos sérios para a reabilitação motora de MMSS de seres humanos, utilizando de câmeras para detecção de movimento e controle do jogo, excluindo estudos que realizaram pesquisas com jogos desenvolvidos unicamente para fins de entretenimento, e que focaram na verificação da viabilidade de aplicação para a reabilitação do MS. Em particular, os jogos sérios aqui discutidos são considerados *exergames* baseados em gestos e desenvolvidos especificamente com o propósito de reabilitação motora de MMSS.

3.1 Estudos Secundários

Com a delimitação do tema, foi realizado um levantamento bibliográfico e uma busca exploratória na literatura sobre trabalhos focados na reabilitação dos MMSS com intervenção auxiliada por jogos sérios. Dentre os vários estudos mencionados neste capítulo e relacionados com o tema deste trabalho, estão uma revisão de escopo e três revisões sistemáticas (KOUTSIANA *et al.*, 2020; PROENÇA; QUARESMA; VIEIRA, 2018; AGUILAR-LAZCANO *et al.*, 2019; DOUMAS *et al.*, 2021; AGUILERA-RUBIO *et al.*, 2022), que pesquisaram, analisaram e discutiram jogos sérios para recuperação de membros superiores.

A terapia baseada em realidade virtual usando o Leap Motion Controller (LMC), tecnologia com um sensor e câmeras para rastrear os movimentos dos dedos das mãos, vem sendo mencionada em estudos com sistemas de reabilitação, incluindo jogos, do MS após AVE. A revisão sistemática em (AGUILERA-RUBIO *et al.*, 2022) avalia a eficácia dos sistemas que usam o LMC no tratamento do MS, obtendo como resultados dos seis estudos incluídos, houve uma melhora significativa na funcionalidade do MS afetado pelo AVE após o uso desses sistemas. Além disso, os pacientes relataram altos níveis de satisfação com o tratamento baseado em realidade virtual.

A revisão sistemática em (AGUILAR-LAZCANO *et al.*, 2019) divide os estudos que focam em jogos sérios para reabilitação de MMSS em três modalidades de interação: sistemas de visão, de visão complementar e os sem visão. Sistemas de visão usam apenas um sensor baseado em câmeras para obter os dados, enquanto os de visão complementar usam câmera e outros sensores para obter os dados. Por fim, sistemas sem visão usam outros dispositivos diferentes de câmeras para controlar o jogo ou para medir os movimentos dos usuários, como, por exemplo, sistemas robóticos e consoles de jogos. Além disso, o Kinect é o dispositivo mais utilizado em sistemas de visão para controlar os jogos sérios ou medir

posições do usuário, enquanto o restante dos estudos usam outros dispositivos, dentre eles, o LMC, o *PrimeSense* e câmeras web.

Para identificar métodos, práticas e padrões de tecnologia, a revisão de escopo (KOUTSIANA *et al.*, 2020) avaliou o papel atual dos jogos sérios na reabilitação de MMSS. Usando as bases de dados PubMed e Scopus e incluindo artigos publicados de 1999 a 2019, a revisão utilizou como critérios de elegibilidade as formas de reabilitação do braço envolvendo jogos em formato eletrônico, além de estudos primários publicados em periódicos ou conferência com revisão por pares. Com 169 trabalhos relevantes identificados na busca, ela indica como resultado uma necessidade por mais pesquisas usando jogos sérios na reabilitação de MMSS. A revisão conclui não haver resposta definitiva sobre se um jogo sério contribui para a melhoria da funcionalidade dos MMSS, mas que certamente constitui um meio suplementar de motivação.

Concluindo com o surgimento de um novo paradigma no campo da reabilitação, caracterizado pelo uso de jogos sérios, o trabalho (PROENÇA; QUARESMA; VIEIRA, 2018) realiza uma revisão sistemática sobre o uso de plataformas tecnológicas com jogos sérios na reabilitação de MMSS em pacientes com distúrbios neuromotores. Após a coleta nas bases e aplicação dos critérios de seleção, foram extraídos os dados de 38 estudos, sendo que 92% dos artigos foram publicados desde 2010. Dentre os resultados, a revisão documenta 35 tipos diferentes de plataformas de jogos e 21 deles que realizaram um ensaio clínico, com oito desses relatando melhorias nos pacientes após o uso dos jogos e plataformas.

A eficácia de jogos sérios visando a recuperação de MMSS, em sobreviventes adultos com AVE, foi avaliada em (DOUMAS *et al.*, 2021) por uma meta-análise. O estudo secundário também investigou se a adesão aos princípios da neuroreabilitação tinham relação com a eficácia de jogos projetados especificamente para reabilitação, independentemente do dispositivo utilizado. Realizada conforme as diretrizes do PRISMA, a pesquisa usou as bases PubMed, EMBASE, Scopus e Cochrane para a coleta de ensaios clínicos randomizados controlados e comparou os efeitos da inclusão de intervenções usando jogos sérios juntamente com o tratamento convencional. A meta-análise mostrou como as intervenções usando jogos sérios que atenderam a pelo menos 8 princípios de neuroreabilitação trouxeram melhores efeitos gerais.

3.2 Estudos Primários

Além das revisões mencionadas anteriormente, nove estudos primários são relatados nesse capítulo por terem características alinhadas com o tema proposto deste trabalho: estudos com jogos sérios desenvolvidos especificamente para reabilitação de MMSS que utilizam câmeras para rastrear os movimentos e manter o controle no jogo. A Tabela

1 foi criada para numerar os nove estudos em ordem cronológica, objetivando uma melhor organização das tabelas da extração das características dos estudos. As principais características de cada estudo, após suas descrições, são apresentadas nas Tabelas 2, 3 e 4 contendo uma síntese dessas características dos trabalhos relacionados mencionados. Dos nove estudos descritos neste capítulo, sete deles foram desenvolvidos para pacientes com AVE, um para Paralisia Cerebral (PC) e um estudo não deixou explícito o público-alvo.

Tabela 1 – Numeração dos trabalhos relacionados.

Número do estudo	Estudo
1	(PRANGE <i>et al.</i> , 2008)
2	(BURKE <i>et al.</i> , 2009a)
3	(BURKE <i>et al.</i> , 2009b)
4	(ALANKUS <i>et al.</i> , 2010)
5	(EVETT <i>et al.</i> , 2011)
6	(BURTON <i>et al.</i> , 2011)
7	(LIN; KELLEHER; ENGSBERG, 2013)
8	(CAPÓ <i>et al.</i> , 2013)
9	(BALUZ <i>et al.</i> , 2022)
10	Esse estudo

O desafio e a motivação para os exercícios ativos, funcionais e intensivos são aspectos essenciais durante a neuroreabilitação. A RV se apresenta como solução adequada e promissora para implementar esses aspectos, apesar do uso clínico ser considerado limitado pela exigência de equipamentos de alta tecnologia em muitos sistemas de RV. Por outro lado, sistemas comerciais de baixa tecnologia, normalmente, não são adequados para uso em pacientes com distúrbios motores devido suas próprias limitações de implementação das características de reabilitação. A proposta do estudo descrito em (PRANGE *et al.*, 2008) é o desenvolvimento de um aplicativo de RV, chamado *FurballHunt*, de tecnologia relativamente acessível e de baixo custo, baseado em captura de movimento do ombro, para uso específico em neuroreabilitação.

Os autores do estudo em (BURKE *et al.*, 2009a) desenvolveram vários jogos sérios para a reabilitação dos MMSS, utilizando fontes variadas para o rastreamento dos movimentos. Dois desses jogos foram desenvolvidos para promover os movimentos grosseiros do braço, usando câmera web para capturar o movimento do usuário. Um dos jogos (*Rabbit Chase*) foi desenvolvido para a reabilitação de um único braço (direito ou esquerdo), e o outro (*Arrow Attack*) para reabilitação de ambos os braços. O principal resultado foi de um estudo de usabilidade realizado com 10 participantes saudáveis, com resultados positivos. No entanto, a falta de participantes pacientes limitou a avaliação da eficácia dos jogos na reabilitação dos membros superiores após o AVE. Como trabalhos futuros, é mencionado o recrutamento de pacientes com AVE para participarem de uma próxima avaliação.

Tabela 2 – Trabalhos relacionados: principais características.

Número do Estudo	Nomes dos jogos	Público-alvo	Participantes dos testes
1	FurballHunt	AVE	1 adulto e 1 idoso
2	Rabbit Chase	AVE	10 participantes sem deficiência
	Arrow Attack		
3	Rabbit Chase	AVE	3 pacientes com diferentes graus de deficiência
	Arrow Attack		
	Bubble Trouble		
4	Frog Simon, Dirt Race Baseball Catch, Catch the Kitty, Under the Sea, Pong, Frogger, Helicopter, e Garden	AVE	4 pacientes do sexo feminino
5	SpongeBall	AVE	11 usuários sem deficiência e 8 neurofisioterapeutas
	SpaceRace		
6	Slingshot	AVE	Não informado
	SpaceRace		
	BalloonPop		
7	Jogo de organização	AVE	2 pacientes com hemiparesia de MMSS
	Jogo andar a cavalo		
	Jogo andar de bicicleta		
8	Não informado	PC	9 adultos com PC
9	<i>Rehabilitate Game</i>	Não específico	21 fisioterapeutas e 12 pacientes
10	<i>Rehabilitate Game+</i>	Não específico	Co-design: 16 fisioterapeutas e 5 psicólogos; Experimentos: 21 profissionais ou estagiários de fisioterapia, e 36 sujeitos saudáveis.

Ao trabalho mencionado anteriormente, foi incorporado mais um jogo, chamado *Bubble Trouble*, com duas versões: uma para reabilitação do braço afetado e outra que requer o uso de ambos os braços. Além disso, nessa segunda fase do estudo (BURKE *et al.*, 2009b), foram realizadas avaliações com três pacientes acometidos com AVE. A câmera foi calibrada para o ambiente de iluminação, na casa dos pacientes, com uma demonstração realizada por um membro da equipe do estudo. Os participantes podiam jogar cada jogo quantas vezes quisessem, com cada sessão de jogo individual com duração de 90 segundos, sendo os resultados considerados positivos nas avaliações dos pacientes. A próxima fase da pesquisa, mencionada como trabalho futuro, envolverá o recrutamento de pessoas com

Tabela 3 – Trabalhos relacionados: principais características (cont.).

Número do Estudo	Parte do corpo	Movimentos	Sessões/ Duração
1	Ombro	Horizontais (como alcançar e agarrar objetos)	3 de 30 min, durante 6 semanas
2	MS	Movimentos grosseiros do braço	Não informados
	MMSS		
3	MS	Movimentos grosseiros do braço	90 segundos Podendo jogar várias vezes.
	MMSS		
	MS e MMSS		
4	MS	Rotação do ombro, flexão e extensão de mãos e dedos	Não informados
5	Mão	Movimento de pinça	Não informados
	Mão	Rotação e translação	
6	Mão	Movimento da mão no plano e pinçamento	Não informados
	Mão	Movimento mão no plano e rotação do punho	
	Mão	Movimentos de alcance e agarramento	
7	Mão, ombro e cotovelo	Flexão e extensão de ombro e cotovelo e abdução horizontal	1 hora por dia, durante 6 semanas
	Úmero e ombro	Flexão e extensão do ombro	
	Mão e antebraço	Supinação e pronação	
8	Ombro	Flexão, extensão, adução, abdução, rotação e circundução	1 sessão de 20 minutos por semana, durante 24 semanas
	Cotovelo	Flexão e extensão	
	Cotovelo-punho	Pronação e supinação	
	Punho	Flexão, extensão, adução, abdução e circundução	
9	MMSS	Flexão, extensão, abdução e adução	3 minutos por dia, intercaladas a cada 48 horas, durante 12 dias
10	Antebraço e mão	Pronação e supinação, e flexão e extensão	Exp. 1: ≈30 minutos Exp. 2: ≈10 minutos

AVE para um estudo mais longo, com avaliação física antes, durante e após a intervenção.

Os autores em (ALANKUS *et al.*, 2010) desenvolveram uma série de jogos e uma infraestrutura que permite a personalização de jogos para pacientes individuais acometidos com AVE, podendo ser adaptados para uso de pacientes em diferentes níveis de recuperação. A câmera web é um dos dispositivos utilizados para detectar e rastrear os movimentos de várias partes, inclusive o MS. Com a câmera, o sistema detecta vários movimentos do

Tabela 4 – Trabalhos relacionados: resultados, conclusão e/ou trabalhos futuros.

Número do Estudo	Resultados/Conclusão/Trabalhos futuros
1	Ligeira melhora no estado motor da função do braço. Aplicáveis em um cenário de reabilitação clínica.
2	Feedback positivo dos participantes. Recrutamento futuro de pacientes com AVE.
3	Resultados positivos nas avaliações dos pacientes. Recrutamento de pacientes para estudo mais longo.
4	Os jogos projetados para reabilitação em casa têm o potencial de ajudar os pacientes com AVE a recuperar o movimento perdido.
5	Os 11 usuários acharam os jogos divertidos e envolventes. Os 8 fisioterapeutas acharam o jogo fácil de entender, mas sugeriram adaptações e melhorias. Possibilidade de usar a detecção de biofeedback para monitorar o estado físico de pacientes.
6	Espera-se que os testes forneçam dados para futuras pesquisas e investigações sobre o uso de tecnologias voltadas para o campo de reabilitação de AVE.
7	Melhorias funcionais dos dois participantes sugerem que a RV pode criar um ambiente motivador individualizado para os pacientes, incentivando a prática em massa de movimentos repetitivos.
8	Melhora o equilíbrio postural estático e dinâmico. Viabilidade para a reabilitação de terapia do equilíbrio. Pode se adaptar aos níveis de mudança de habilidades, interesse ou fadiga dos pacientes.
9	Pelo indicador <i>Net Promoter Score</i> , 85,7% dos fisioterapeutas e 100% dos pacientes avaliaram de forma positiva o jogo, confirmada nas seis escalas <i>User Experience Questionnaire (UEQ)</i> , indicando que o jogo pode ser utilizado em um ensaio clínico para medir o desempenho funcional dos pacientes antes e depois do tratamento.
10	Pelo <i>System Usability Scale (SUS)</i> , a média de avaliação do <i>Rehabilitate Game+</i> foi de 92,5. Pelo <i>UEQ</i> , as escalas tiveram os seguintes resultados: atratividade (1,98), estimulação (1,82), transparência (1,76), eficiência (1,56) e inovação (1,52). Além disso, as técnicas de reconhecimento de movimento implementadas no jogo alcançaram elevadas taxas de acerto: <i>F1-score</i> de 0,98 e 0,99 para pronação e supinação do antebraço, respectivamente, e 1,00 para flexão e extensão dos dedos. Esses resultados indicam que o jogo pode ser utilizado em experimentos clínicos com pacientes.

MS, em que dentre os principais estão a rotação do ombro; flexão e extensão dos dedos da mão; segurar, mover e soltar; além do movimento de aproximação da mão. Alguns dos jogos foram projetados para um único jogador, enquanto outros para dois jogadores (competitivos ou colaboradores), fornecendo, neste único caso, uma motivação extra em comparação com os jogos para um jogador pelo fator companhia. O estudo contou com a participação de quatro pessoas do sexo feminino, com diferentes graus comprometimentos de amplitude dos movimentos decorrente do AVE.

Alguns jogos utilizam, além da câmera, outros dispositivos para rastrear os movimentos necessários para a reabilitação, na modalidade de sistemas de visão complementar. Por exemplo, em (EVETT *et al.*, 2011) foram projetados e desenvolvidos dois jogos sérios (o *SpongeBall* e o *SpaceRace*) com um sistema sem marcadores, chamado MOCAP (do inglês, *MOtion CAPture*), usando duas câmeras, uma óptica e outra térmica, para o rastreamento das mãos e identificação dos gestos, conseguindo detectar movimentos de agarrar/soltar, movimentos de punho, além de identificar a posição 2D da mão no espaço. Foram realizados testes de usabilidade com relação ao controle dos jogos com a participação de 11 usuários sem deficiência e por oito neurofisioterapeutas experientes.

Apesar de não apresentar resultados de testes, o estudo (BURTON *et al.*, 2011) discute a implementação de três jogos sérios especialmente projetados e desenvolvidos para incentivar exercícios de mão específicos para pacientes com AVE. O jogo *Slingshot* foi projetado para estimular o movimento da mão no plano 2D e os movimentos de pinçamento, em que o usuário move a mão para a frente e, em seguida, usa uma ação de pinçar/fechar para carregar uma bola. O *SpaceRace* controla a inclinação de uma nave no plano X e Y através dos movimentos de rotação da mão, com a nave ficando mais rápida à medida que o jogo avança para aumentar a dificuldade, terminando quando ocorre um número predefinido de colisões. O terceiro jogo implementado foi o *BalloonPop*, projetado para incentivar os movimentos de alcance e agarramento, em que o usuário controla uma garra que se move no espaço 3D com o movimento da mão.

Em uma intervenção de terapia domiciliar de seis semanas para pessoas com AVE, os autores em (LIN; KELLEHER; ENGSBERG, 2013) avaliaram a eficácia de três jogos individualizados de RV, criados para melhorar o movimento nas extremidades superiores. Dois indivíduos com hemiparesia de membros superiores, foram convidados a jogar uma hora por dia durante seis semanas, tendo como avaliações a medida do movimento da extremidade superior e o desempenho em habilidades funcionais. Os participantes jogaram cerca de quatro a seis vezes por semana, com os resultados apontando uma melhora no movimento da extremidade superior e na participação em tarefas funcionais. O estudo conclui que os jogos de RV mostraram-se eficazes como intervenção de terapia domiciliar para pessoas com AVE, tendo potencial para serviços de terapia domiciliar mais motivador.

Técnicas de VC são aplicadas em (CAPÓ *et al.*, 2013) na interação entre um jogo e os usuários, desenvolvido para a reabilitação de pacientes com PC, com o propósito de reabilitar várias partes do corpo, inclusive os MMSS. No processo de interação com o jogo, o usuário realiza as ações de flexão, extensão, adução, abdução, rotação e circundução do ombro. Além disso, os movimentos de flexão e extensão do cotovelo; pronação e supinação do complexo cotovelo-punho; e flexão, extensão, adução, abdução e circundução do punho também são contemplados nas interações entre o jogo e usuários. Foi realizado um estudo clínico com nove pacientes adultos entre 27 e 57 anos diagnosticados com PC e com

controle motor voluntário limitado de um ou ambos [MMSS](#). Antes e após o período de terapia de 24 semanas, os pacientes foram pré e pós-avaliados e os resultados mostraram que o sistema apresentado melhora o equilíbrio postural estático e dinâmico, além da viabilidade para a reabilitação de terapia do equilíbrio.

3.3 Discussão

O jogo sério [Rehabilitate Game \(RG\)](#) foi desenvolvido em ([BALUZ et al., 2022](#)) com o propósito de ser uma ferramenta de terapia complementar para reabilitação de [MMSS](#) em clínicas e ambientes domésticos, promovendo a prática de exercícios associados a reabilitação motora dos [MMSS](#) em um ambiente lúdico e gerenciável. Ele foi implementado utilizando técnicas de [VC](#) baseadas em aprendizado de máquina, usa como dispositivo de entrada somente uma câmera para capturar os movimentos durante os exercícios que representam as ações no jogo, sendo uma solução de baixo custo para o propósito de reabilitação. Para a avaliação do jogo, a equipe da pesquisa contou com 33 participantes (21 fisioterapeutas e 12 pacientes) e obteve um nível de satisfação positiva, com excelente pontuação no indicador *Net Promoter Score* (85,7% dos fisioterapeutas e 100% dos pacientes), confirmada nas seis escalas [UEQ](#) (atratividade, perspicuidade, eficiência, confiabilidade, estímulo e novidade).

Os jogos sérios propostos neste trabalho são uma continuação (i.e., uma extensão) do [RG](#), com ambos os objetivos dos jogos sendo uma ferramenta auxiliar para o processo de reabilitação dos [MMSS](#) e utilizando as mesmas ferramentas computacionais (e.g., [VC](#), [MediaPipe](#)). Entretanto, a solução desenvolvida e proposta neste estudo foca em partes diferentes do [MS](#) (o antebraço e a mão), os quais não tinham sido abordados na primeira versão do [RG](#), e envolve movimentos distintos para o controle dos jogos. Além disso, apesar da proposta do presente trabalho seja de uma integração ao [RG](#) para a formação de uma plataforma de jogos para reabilitação, os jogos dos dois estudos também se diferenciam pelos cenários lúdicos específicos de cada jogo.

4 Metodologia

4.1 Visão Geral

A metodologia adotada neste trabalho envolve a continuação do desenvolvimento do *Rehabilitate Game*, uma plataforma de jogos sérios criada para auxiliar na reabilitação motora. A Figura 9 apresenta a linha do tempo que resume a metodologia desta pesquisa. Inicialmente, realizamos adaptações na plataforma *Rehabilitate Game* para permitir a inclusão de outros jogos sérios, além daqueles propostos na versão inicial do game. Foram adicionados dois novos jogos para os movimentos de pronação e supinação do antebraço e flexão e extensão dos dedos da mão. Em seguida, para aprimorar a proposta inicial dos jogos desenvolvidos, foi adotado o método de co-design, que envolveu a colaboração de profissionais de saúde. Eles contribuíram com sugestões e ideias, gerando então uma lista de requisitos para os jogos. Considerando essa lista, uma atualização da implementação dos jogos foi realizada, visando melhorar a plataforma e os jogos sérios propostos. Foi então criado o *Rehabilitate Game+*, o qual foi testado em dois experimentos: o primeiro para avaliar a usabilidade e experiência do usuário, envolvendo somente profissionais de fisioterapia, e o segundo para a avaliação de reconhecimento dos movimentos do antebraço e da mão pelos jogos.

4.2 Critérios Éticos

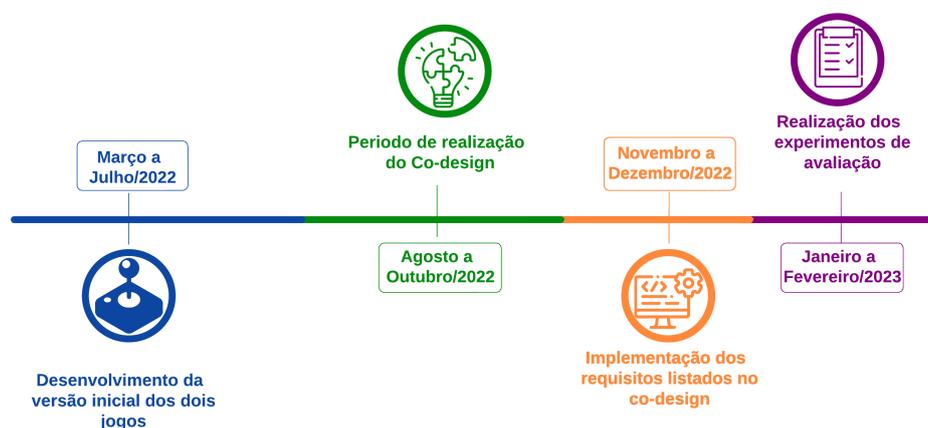
Este estudo foi conduzido obedecendo aos princípios éticos inerentes à pesquisa envolvendo seres humanos. O estudo foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Delta do Parnaíba (CEP-UFDPAr), o qual foi aprovado sob número 5.632.311.

Os participantes foram esclarecidos sobre o propósito da pesquisa, seus objetivos, procedimentos, e foram consultados quanto ao aceite em participar do estudo. Após esclarecimento, eles foram orientados a assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), em duas vias, sendo uma para o participante e outra para o pesquisador, garantindo-se o anonimato e a liberdade de ausência na pesquisa, bem como foi assegurado o direito de desistir de sua participação.

4.3 O Jogo Sério *RehabilitateGame+*

O *Rehabilitate Game* (BALUZ *et al.*, 2022) é uma plataforma web que possui gerenciamento de profissionais, pacientes, controle de acesso, tratamentos (junto a anamnese) e

Figura 9 – Linha do tempo da metodologia de pesquisa.



Fonte: do autor.

sessões. O propósito dessa plataforma é oferecer um jogo sério baseado em gestos para a reabilitação motora dos membros superiores (especificamente ombro e cotovelo), com o uso de VC e AM, junto a tecnologias com ampla inclusão social, como, câmeras web (câmeras integradas em *notebooks* e computadores de mesa). O *Rehabilitate Game* é uma plataforma que possui um jogo sério com várias configurações mediante a necessidade do paciente, em que o profissional consegue defini-las. Neste capítulo é apresentado, inicialmente, o *Rehabilitate Game* na sua versão original, e o processo de evolução da plataforma, aqui chamada de *Rehabilitate Game+*.

4.4 Primeira Versão do *Rehabilitate Game*

O profissional de saúde (usualmente, o/a fisioterapeuta) faz seu primeiro acesso à plataforma, passando todos os dados cadastrais necessários. Posterior a isso, ele pode cadastrar pacientes informando dados pessoais, contatos e endereço. Logo depois, o profissional deve criar um tratamento, preenchendo a anamnese e a quantidade de sessões previstas para o paciente. Após definida a quantidade de sessões e salvar o tratamento,

são geradas as sessões com as configurações padrões no qual o profissional deve definir cada sessão individualmente. A qualquer momento o profissional pode adicionar sessões e configurá-las, se julgar necessário. Por fim, o profissional se encarrega de configurar as sessões conforme as necessidades e evolução do paciente.

A plataforma foi desenvolvida para suportar a criação de outros cenários, permitindo a aplicação de outros exercícios e funcionalidades. Dessa forma, o *Rehabilitate Game* permite a aplicação de gameterapia na reabilitação motora, não somente nos membros superiores, mas também dos inferiores, e outros membros e movimentos que requeiram reabilitação. Como visto na Figura 10, esse recurso do sistema é disponível quando o usuário define a “articulação”, a qual será trabalhada com o paciente. Ao definir a articulação, o profissional está configurando, na verdade, qual o jogo a ser utilizado pelo paciente. Para cada jogo/articulação, o profissional de saúde também deve definir a fase, as quais podem variar o nível de dificuldade e mecânicas de jogo.

Figura 10 – Configuração de sessões no *Rehabilitate Game*.

Sessões Dashboard / Pacientes / Tratamentos / Sessões / Editar

Cadastrar Sessão

Paciente * Ana Maria **Data *** 06/12/2021 **Horário *** 10:00:00 **Ambiente *** Clínica

Articulação * Ombro e Cotovelo **Fase *** Escolha uma opção

Duração * 3 **Plano de fundo *** Opção 02

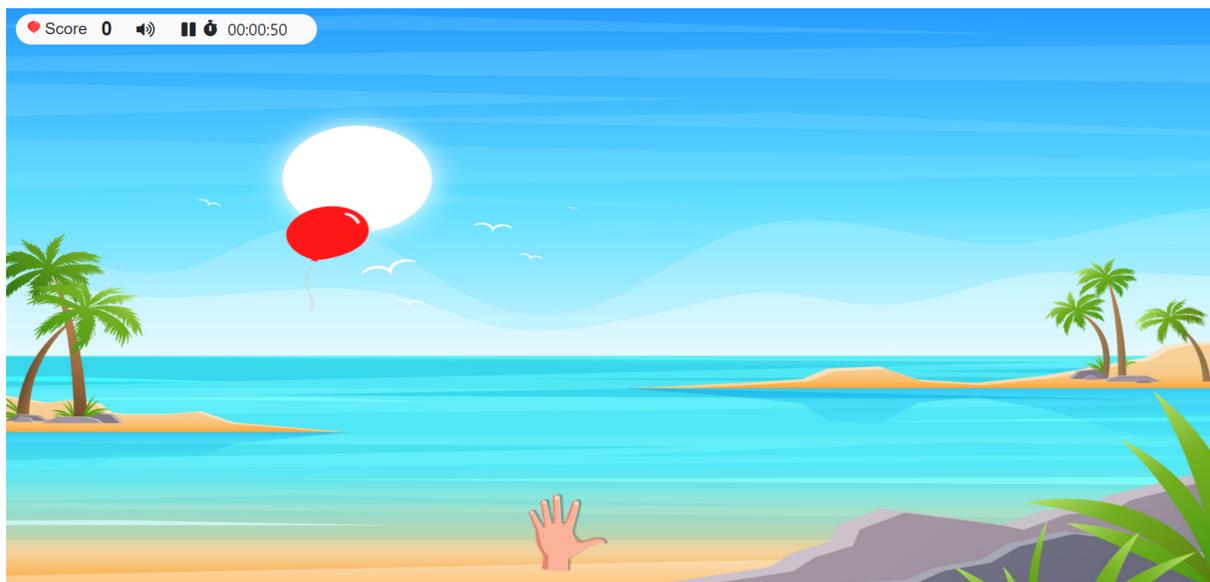
Estouro do Balão * Automático **Ângulo *** 90

(*) campos obrigatórios

Atualizar

Fonte: do autor.

Na versão original do *Rehabilitate Game*, o jogo existente tem o cenário/ambiente relacionado a balões (Figura 11), possuindo elementos gráficos, como, balões, um plano de fundo e uma imagem que representa a mão do paciente no ambiente do jogo. O jogo foi definido com o propósito de auxiliar na reabilitação do ombro e cotovelo, possuindo as seguintes fases configuráveis: Fase I - movimento em repetição; Fase II - movimento livre; e Fase III - dinâmica de ponto. Além da escolha dessas três fases na sessão, o profissional de saúde ainda pode configurar o plano de fundo, tempo da sessão, o membro a ser trabalhado em cada sessão (i.e., esquerdo ou direito), assim como em qual posição e lado ou altura os objetos (i.e., balões) apareceram no jogo.

Figura 11 – Tela do jogo da versão original do *Rehabilitate Game*.

Fonte: do autor.

4.5 Adaptando a Versão Original da Plataforma *Rehabilitate Game*

Para aprimorar o *Rehabilitate Game*, foi necessário fazer ajustes na versão original da plataforma. Como anteriormente explicado, o cenário do jogo era definido diretamente na sessão, com a escolha do jogo e posterior a fase. Para poder ser adicionado outros jogos na plataforma, foi necessário mudar a tela de configurações, sendo então criado o conceito de “tratamento”, como visto na Figura 12

Figura 12 – Tela com nova configuração de tratamentos.

Fonte: do autor.

Com essa mudança, as configurações das sessões são mais específicas para jogo.

Assim, as sessões terão configurações relacionadas a um jogo específico escolhido para o tratamento. Portanto, o profissional poderá escolher uma fase a cada sessão e, para cada fase, será possível definir configurações específicas, tornando-a mais ajustada às necessidades do paciente. Chamamos de “fase” uma especificação de comportamento das dinâmicas de jogo. A plataforma também permite exibir possíveis configurações a partir da fase escolhida. Essas fases estão definidas com um grau de amadurecimento do processo de reabilitação do paciente, possuindo variações do jogo, com níveis de dificuldade distintos.

4.6 Adicionando Jogos à Plataforma

Uma vez que a versão original da plataforma *Rehabilitate Game* foi adaptada para permitir a inclusão de novos jogos à plataforma, para este trabalho de mestrado, foram desenvolvidos dois jogos sérios para a reabilitação dos MMSS. Tais jogos possuem cenários que criam uma sensação de “infinito”, os quais possuem um plano de fundo que se move em um único sentido. Eles são *exergames*, em que os exercícios são baseados nos gestos dos pacientes/jogadores. Com isso, os pacientes praticam os exercícios físicos para promover os movimentos motores do membro superior. Em particular, os jogos foram criados para exercitar os seguintes movimentos: (i) pronação e supinação do antebraço; e (ii) flexão e extensão dos dedos da mão. Os jogos utilizam uma câmera web para a captura dos movimentos do paciente, sem a necessidade de qualquer outro dispositivo de entrada adicional, como, controles, óculos ou algum sensor.

4.6.1 Jogo 1 - Movimentos de Pronação e Supinação do Antebraço

No primeiro jogo, chamado de *Bee*, o profissional define as configurações necessárias para o paciente, tais como: duração, lado do membro, a fase (i.e., I - somente flores, II - Somente aranhas, e III - ambas) para aquela sessão, e a velocidade (i.e., lento, médio e rápido) dos objetos (i.e., flor, aranha e abelha), como visto na Figura 13. A interface da tela de configuração foi desenvolvida de forma intuitiva para uma melhor experiência do usuário.

O cenário do jogo é inspirado na aventura de uma abelha, e possui um fundo amarelo com colmeias e elementos gráficos, tais como flores, aranhas e a abelha. Os elementos dos tipos flor e aranha descem verticalmente pela tela do jogo, e a abelha se mantém ao na parte inferior do cenário, como visto na Figura 14. As flores e as aranhas aparecem no cenário de forma aleatória, e a configuração que pode ser definida para essas duas categorias de elemento no jogo é a velocidade em que elas percorrem o cenário.

Já o movimento da abelha é controlado pelos movimentos de pronação e supinação do antebraço do paciente, os quais possuem três estados: neutro (posição em que o dedo mínimo está posicionado lateralmente para a câmera), pronação e supinação. Se o paciente

Figura 13 – Tela de configuração do jogo *Bee*.

Sessões Dashboard / Pacientes / Tratamentos / Sessões / Editar

Cadastrar Sessão

Paciente * João Pedro **Data *** 07/06/2022 **Horário *** 03:00:00

Ambiente * Clínica **Duração *** 1 **Membro *** Esquerdo

Fase * Escolha uma opção

Velocidades

Abelha Médio **Flor** Lento **Aranha** Rápido

(*) campos obrigatórios

Atualizar

Fonte: do autor.

Figura 14 – Tela do jogo *Bee*.

Fonte: do autor.

estiver trabalhando o membro esquerdo, a pronação movimenta a abelha para o lado esquerdo da tela e a supinação para o lado direito. Caso contrário, o movimento muda, ou seja, a pronação movimenta a abelha para a direita e a supinação para a esquerda.

O objetivo do paciente, ao controlar a abelha para a esquerda ou direita, é conseguir pegar (i.e., colidir) o maior número de flores antes que o tempo acabe. Cada flor pega pelo paciente é contabilizada no seu *score*. Além disso, o paciente deve controlar a abelha para

desviar das aranhas no cenário (com os movimentos de pronação e supinação). Portanto, o paciente precisa conseguir desviar do máximo de aranhas até o final do tempo. Igualmente, cada aranha que a abelha colidir é contabilizada em um *score*. Em resumo, o paciente precisa contabilizar o maior número de flores e menor quantidade possível de aranhas até que a sessão tenha seu tempo encerrado.

4.6.2 Jogo 2 - Movimentos de Pronação e Supinação do Antebraço, Flexão e Extensão dos Dedos da Mão

O segundo jogo, chamado *Spaceship*, possui o enredo voltado para espaço sideral, em que o objetivo do paciente é controlar uma nave, desviar ou destruir os meteoros que descem verticalmente em sua direção (Figura 13). Similarmente ao jogo *Bee*, o jogo *Spaceship* possui as configurações para que o profissional de saúde possa definir: a duração do jogo, lado do membro, a fase para a sessão (i.e., I - esquivar, e II - esquivar e atirar), e a velocidade (i.e., lento, médio e rápido) dos objetos (i.e., meteoros e a nave). Os dois jogos compartilham de forma similar das mesmas configurações, com exceção das fases e dos objetos gráficos (i.e., meteoros e a nave).

Como visto na Figura 15, o plano de fundo do jogo é uma imagem do espaço que passa pela tela verticalmente da parte superior até a parte inferior do cenário. Desse modo, ocorre uma ilusão de que a nave está em constante movimento para frente. Os elementos do jogo (i.e., meteoros e a nave) estão presentes no cenário da seguinte forma. Os meteoros descem verticalmente na parte superior do cenário. O tamanho e a posição dos meteoros são aleatórios, assim eles surgem com diferença de tamanho e posições diferentes pelo cenário.

A nave somente possui a possibilidade de locomoção na horizontal (i.e., esquerda ou direita). A interação para a movimentação da nave é controlada pelos movimentos de pronação e supinação do paciente, similar ao jogo *Bee*. Diferentemente, neste jogo há a possibilidade do paciente disparar tiros a partir da nave para atingir os meteoros. Para isso ocorrer, os disparos são realizados pelos movimentos de flexão e extensão dos dedos da mão. A dinâmica funciona da seguinte forma: o paciente executa a flexão dos dedos, então é gerado um tiro apenas e, para ocorrer outro disparo, o paciente precisa realizar o movimento de extensão dos dedos e novamente o de flexão. Portanto, o disparo sempre será realizado na flexão dos dedos, requerendo do jogador uma nova execução do movimento.

4.7 Condução do Método de Co-design

Uma metodologia que vem sendo adotada no meio acadêmico, e especificamente na área da saúde, é a do Design Participativo (DP) ou co-design (BIRD *et al.*, 2021). O objetivo dessa abordagem é envolver pesquisadores e participantes em um processo

Figura 15 – Tela do jogo *Spaceship*.

Fonte: do autor.

reflexivo em busca para uma solução no projeto, além de incentivar a parceria entre pesquisadores e stakeholders (i.e., as partes interessadas no projeto) ao longo da pesquisa (BILODEAU *et al.*, 2022).

O co-design na área da saúde envolve uma parceria de profissionais da saúde, pessoas que passaram pela experiência de utilizar o sistema (e.g., pacientes e seus familiares/cuidadores) e os desenvolvedores do novo sistema (WARD *et al.*, 2018). Portanto, o co-design envolve trabalhar em conjunto para projetar um novo produto ou atualizar

produtos existentes, aproveitando o conhecimento, experiência e contribuições de cada um, para alcançar melhores resultados ou melhorar eficiência (BOVAIRD; LOEFFLER, 2013). Os benefícios dessa abordagem de trabalho em equipe vem sendo evidenciado em vários estudos (DAVIES *et al.*, 2016; BLACKWELL *et al.*, 2017; WARD *et al.*, 2019).

Essa abordagem de coparticipação vem sendo adotada também em projetos de jogos, após constatação de que o envolvimento dos usuários finais e/ou dos responsáveis pelo cuidado dos pacientes é um ponto crucial no processo de tomada de decisão no projeto e podem interferir na eficácia dos jogos. Entretanto, são observados alguns desafios para a sua realização, tais como: o período essencial para se envolver adequadamente com os participantes; barreiras linguísticas e culturais entre os colaboradores; a escolha de colaboradores para se obter uma boa representação do grupo de usuários; e o poder de decisão dos participantes no projeto (CLEMENSEN *et al.*, 2017; DEKKER; WILLIAMS, 2017).

4.7.1 Objetivo do Estudo

Foi realizado o experimento de co-design com o propósito de aprimorar os jogos sérios que auxiliam na reabilitação dos MMSS com problemas em movimentos de pronação e supinação do antebraço, e flexão e extensão dos dedos da mão. Esse experimento contou com a colaboração de participantes na área da saúde, como fisioterapeutas e psicólogos. O objetivo da colaboração foi compreender as limitações e necessidades dos pacientes, além de obter ideias e sugestões sobre a temática, funcionalidades, mecanismos de gamificação e engajamento para os jogos propostos. Com base nas ideias e sugestões coletadas, foi gerada uma lista de requisitos, utilizada para melhorar os jogos. A aplicação do método de co-design visou tornar o processo de reabilitação mais motivador e divertido para os pacientes, e também garantir que os exercícios gerados a partir da execução do jogo fossem efetivos na reabilitação.

4.7.2 Recrutamento

Nosso objetivo foi buscar por profissionais das áreas de fisioterapia e psicologia que pudessem colaborar com sugestões para os jogos sérios propostos inicialmente. Para selecionar os participantes, estabelecemos os seguintes critérios de seleção: que fossem profissionais da área da saúde, como fisioterapeutas e psicólogos, e ter disponibilidade para participar de reuniões presenciais ou online. O recrutamento dos participantes foi inicialmente feito por convites aos profissionais do laboratório em que o estudo foi realizado, o Laboratório de Neuroinovação Tecnológica & Mapeamento Cerebral (NiTLab) da Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr). A partir desse profissionais, foi possível usar a técnica de *snowballing*, ou seja, os participantes convidados foram inicialmente incentivados a indicar outros profissionais da área da saúde que poderiam contribuir com

o estudo. Desta forma, o recrutamento foi expandido para outros profissionais que não faziam parte do laboratório. Além disso, foi criado um vídeo de apresentação do projeto, que foi enviado por mensagem de WhatsApp aos profissionais da área da saúde. Após isso, criamos um grupo no WhatsApp a fim de centralizar a comunicação, com o intuito de criar encontros presenciais e virtuais conforme a disponibilidade dos participantes.

4.7.3 Procedimentos

Foram realizados os encontros com os participantes, entre presenciais e virtuais. Os presenciais foram feitos no laboratório NiTLab da UFDFPar e os virtuais foram realizados utilizando a plataforma Google Meet. No início dos encontros, foi apresentada a plataforma *Rehabilitate Game+*, demonstrando as etapas necessárias para acessar os jogos, como criar o cadastro do paciente, criar o tratamento e configurar a sessão. Em seguida, os jogos foram demonstrados e os participantes presentes no encontro presencial tiveram a oportunidade de testá-los. Durante a demonstração e teste dos jogos, os participantes foram convidados a fazer sugestões e dar orientações sobre a plataforma e os jogos.

Os encontros duravam em média 2 horas, conduzidos de forma interativa, permitindo que os participantes tirassem dúvidas e compartilhassem suas experiências. A participação dos fisioterapeutas e psicólogos permitiu uma abordagem multidisciplinar na avaliação da plataforma e dos jogos, enriquecendo a discussão sobre a sua usabilidade e eficácia para a reabilitação de pacientes.

4.7.4 Coleta de Dados

Durante os encontros presenciais com os profissionais de saúde, foi possível identificar os requisitos necessários para a realização do co-design. Para garantir o registro adequado de todas as informações coletadas, um pesquisador foi designado para realizar as anotações de forma precisa e detalhada. Com a ajuda desse pesquisador, foi possível documentar todos os requisitos identificados pelos participantes, garantindo que nada fosse esquecido.

Nos encontros virtuais realizados através da plataforma Google Meet, foi utilizado o recurso de gravação disponível na ferramenta para registrar o encontro. Após a finalização dos encontros, os vídeos gravados foram acessados e revisados para a obtenção dos requisitos necessários. Essa abordagem de gravação permitiu que os requisitos fossem registrados com precisão e que pudessem ser revisados posteriormente com mais facilidade e agilidade.

Ao final, os participantes responderam um questionário no *Google Forms*: dois questionários para cada tipo de profissional, um para fisioterapeutas e outro para os psicólogos. O motivo da criação de dois questionários foi para atender as necessidades específicas de cada grupo de profissionais. Como os fisioterapeutas têm um conhecimento técnico específico na reabilitação motora de membros superiores, o questionário deles

foi concentrado mais em questões relacionadas a experiência prática no tratamento de pacientes com comprometimentos de [MMSS](#), incluindo o uso de tecnologias computacionais. Já o questionário dos psicólogos abordou mais questões relacionadas a sua formação e abordagem de trabalho, em que poderiam contribuir com ideias e feedbacks relacionados a parte emocional e cognitiva dos jogos. Deste modo, os questionários foram elaborados segundo as características e necessidades de cada grupo de profissionais envolvidos no estudo.

Para melhorar o *Rehabilitate Game+*, refinamos os requisitos coletados em uma tabela. Requisitos similares foram unidos em um único requisito, reduzindo a duplicidade de ideias. Em seguida, os requisitos foram separados em grupos: elementos do jogo, postura do paciente, movimentos do paciente, sistema e feedback do jogo. Os elementos do jogo se referem à parte gráfica, como personagens, obstáculos ou cenário. Já a postura do paciente está relacionada à maneira como ele deve se posicionar durante o jogo, evitando desconforto ou execução errada dos movimentos. Os movimentos do paciente tratam da sensibilidade dos movimentos que ele efetuará durante o jogo. O sistema abrange os requisitos necessários para o funcionamento da plataforma e, por fim, o feedback se refere ao tipo de retorno que o profissional ou o paciente recebe, como relatórios de progresso.

4.8 Melhorando o *Rehabilitate Game+*

Em seguida, analisamos cada requisito crítica e propositivamente, eliminando aqueles que não poderiam ser implementados ou não seriam viáveis, como a adaptação dos jogos para dispositivos móveis. Após essa etapa, criamos uma lista final contendo apenas os requisitos que seriam implementados no *Rehabilitate Game+*. Então fizemos a implementação dos requisitos, realizando atualizações na plataforma para melhor se adaptar aos novos jogos e melhorias na parte de tratamentos, adicionando mais configurações de sessões, permitindo que o profissional configure os jogos conforme a necessidade do paciente. Além disso, deixamos os jogos mais flexíveis para os pacientes, oferecendo uma grande variedade de formatos e evitando que o jogo fique monótono.

4.9 Ferramentas e Ambientes de Desenvolvimento

Os jogos sérios foram desenvolvidos utilizando tecnologias web, tais como: [HyperText Markup Language \(HTML\)](#), [CSS](#), [JavaScript](#), [Hypertext Preprocessor \(PHP\)](#), e o [Laravel](#). O modelo *MediaPipe Hands* foi incorporado aos jogos para a captura dos movimentos do paciente e, assim, permitir a movimentação dos elementos do jogo. Para o desenvolvimento dos jogos e as atualizações na plataforma web, utilizamos o software *Visual Studio Code*. Ele é um editor de código-fonte desenvolvido pela Microsoft, que possui baixo custo de armazenamento e processamento. Essa ferramenta está disponível para

as seguintes plataformas: Windows, MacOs e Linux. A ferramenta possui suporte para identificação de erros no código-fonte, controle de versão com o *Git* incorporado, realce de sintaxe (i.e., diferencia por coloração, palavras reservadas, funções e variáveis criadas na linguagem), e autocompletar inteligente de código.

Com o [HTML](#), foi possível a integração entre a plataforma web e os jogos sérios. Ela é uma tecnologia de marcação de hipertexto, representada por *tags*, possibilitando a inserção de conteúdo, criando assim uma estrutura de página web. Através de um arquivo com a extensão *.html*, o navegador faz a leitura do código e renderiza o conteúdo exibindo para o usuário final. Atualmente os jogos sérios foram desenvolvidos com a versão 5 (i.e., HTML5), utilizando a *tag canvas*, a qual é um espaço destinado a desenhar elementos específicos, formas geométricas, adição de imagens, por uma linguagem de programação dinâmica, o *JavaScript*.

O *JavaScript* é uma linguagem de programação interpretada no lado do cliente, enquanto a linguagem [PHP](#) trabalha no servidor e retorna os resultados renderizados em [HTML](#). O JavaScript é executado direto no navegador do usuário. É uma linguagem de alto nível, baseada em objetos e fracamente tipada (i.e., não há necessidade de especificar o tipo das variáveis). *JavaScript* trabalha em conjunto com a *tag canvas*, o que possibilitou criar animações e proporcionar uma dinâmica ao jogo.

O *Rehabilitate Game* foi desenvolvido com o *framework* Laravel, um dos *frameworks* de código aberto mais utilizados para o desenvolvimento de sistemas web. A escolha do Laravel foi pelos seguintes motivos: possuir uma documentação completa e de fácil entendimento, a comunidade é extensa e ativa no mercado, dando suporte em fóruns de dúvidas e, mais importante, possui um padrão de arquitetura de software [Model, View e Controller \(MVC\)](#), separando a *interface* do usuário das regras de negócio. O padrão MVC é dividido em três camadas: a *view*, camada de interação do usuário, *model*, a manipulação dos dados, e o *controller*, que possui as regras de negócio e fazendo a interação entre as outras duas camadas. Com algumas linhas de código é possível criar todo um processo de [Create, Read, Update e Delete \(CRUD\)](#) no banco de dados. A linguagem de programação [PHP](#) é utilizada pelo Laravel. Ela é destinada ao desenvolvimento web, permitindo a inserção em documentos [HTML](#). A linguagem [PHP](#) executa no lado do servidor, onde seu resultado é renderizado em [HTML](#), o que impede que o código-fonte desenvolvido seja visualizado.

O *MariaDB* é um sistema de gerenciamento de banco de dados compatível com o [PHP](#), estando presente em muitos servidores com distribuição Linux na nuvem. O *MariaDB* é um banco de dados relacional de código aberto, baseado sempre na última versão do *MySQL*, do qual herdou diferentes recursos. O gerenciamento do banco de dados se deu pelo uso do *HeidiSQL*, uma ferramenta com baixo custo de processamento. Com essa ferramenta, é possível a inserção, atualização, visualização e exclusão dos dados, e

todo o controle da estrutura do banco de dados.

Por fim, utilizamos o gerenciador de controle de versões *Git*, integrado ao *GitHub*, uma plataforma que hospeda código-fonte. O *Git* é um sistema de controle de versão distribuído, destinado para o desenvolvimento de software, mas pode ser utilizado para registrar o histórico de qualquer arquivo. Ele permite criar então um repositório para fazer registros de todas as atualizações feitas no projeto e, caso aconteça um erro no projeto, é só retornar para versão anterior, assim resolvendo o problema.

4.10 Avaliação de Usabilidade e Experiência do usuário

4.10.1 Objetivo do Experimento

Avaliamos a usabilidade e a experiência do usuário do *Rehabilitate Game+* em relação aos jogos disponibilizados para a reabilitação dos movimentos de pronação e supinação do antebraço e extensão e flexão da mão. Para isso, contamos com a participação de fisioterapeutas que utilizaram o software e jogaram os jogos, a fim de compreender como eles interagiram com o sistema e como perceberam a experiência de uso. Essa avaliação foi realizada exclusivamente com profissionais de fisioterapia.

4.10.2 Recrutamento

O recrutamento inicial para o experimento foi realizado através do contato com os participantes do experimento inicial de co-design, no qual somente os fisioterapeutas foram convidados a participar. Para selecionar os participantes, foram estabelecidos critérios de seleção: ser profissional da área de fisioterapia ou estar no último período da graduação em fisioterapia e estar no período de estágio. Além disso, foi utilizada a técnica de *snowballing*, na qual os participantes iniciais foram convidados a indicar outros fisioterapeutas que pudessem contribuir com o experimento. Convites foram enviados aos participantes confirmados para poderem compartilhar com seus contatos ou grupos de WhatsApp. Também foram feitas visitas à Clínica Escola de Fisioterapia na [UFDP](#), com a permissão dos responsáveis, onde o estudo foi explicado aos alunos e o convite foi feito, anotando-se o contato de cada aluno interessado em participar.

4.10.3 Procedimentos

Os experimentos foram conduzidos nos formatos presencial e virtual. Os experimentos presenciais foram realizados no laboratório [NiTLab](#) da [UFDP](#), enquanto os experimentos virtuais foram realizados na plataforma Google Meet. Para os participantes que não estavam familiarizados com o *Rehabilitate Game+*, foi apresentada a página inicial da plataforma, que apresenta informações sobre o projeto, incluindo seções sobre jogos

sérios, a equipe e publicações relacionadas ao projeto. Em seguida, foi apresentado o protocolo do experimento, que descreve detalhadamente todas as etapas e procedimentos realizados durante o experimento. Isso garantiu que os participantes pudessem entender o experimento e, caso desejassem, pudessem desistir.

Após apresentar o protocolo aos participantes, o objetivo era que eles replicassem as etapas conforme descrito. As etapas incluíam acessar a plataforma, criar um novo paciente, em seguida criar um novo tratamento em que seriam escolhidas duas limitações (pronação e supinação do radioulnar, i.e., antebraço, e flexão e extensão dos dedos), configurar ambas as sessões e, em seguida, testar os jogos. A execução do protocolo durou aproximadamente 30 minutos. Após a realização dos testes, os participantes foram solicitados a responder a um formulário do *Google Forms*.

4.10.4 Coleta de Dados

Os participantes responderam a um questionário do *Google Forms*, contendo perguntas sobre sua idade, formação acadêmica, ano de conclusão, período em que estavam (caso fossem estagiários), experiência na área de formação, se já trataram pacientes com comprometimentos nos membros superiores, se já usaram ferramentas computacionais similares à ferramenta avaliada e se usariam a ferramenta em questão. Em seguida, os participantes responderam dois questionários com respostas em escala *Likert*: o **SUS** (1 a 5) e o **UEQ** (1 a 7).

O **SUS** (Apêndice A) foi desenvolvido por John Brooke em 1986 com o propósito de ser uma ferramenta de avaliação de usabilidade amplamente utilizada na indústria e em pesquisas acadêmicas (**BROOKE, 1996**). Ele permite medir a facilidade de uso de diferentes tipos de produtos e serviços, incluindo websites, hardware, aplicativos, sistemas clínicos e outros. O instrumento é composto por 10 itens, cada um representando uma afirmação sobre a facilidade de uso do sistema ou produto. O usuário deve responder a cada afirmação em uma escala *Likert* de 1 a 5, em que 1 significa “discordo totalmente” e 5 significa “concordo totalmente”.

O **UEQ** (Apêndice B), o qual é composto por 26 itens, analisa seis fatores (**LAUGWITZ; HELD; SCHREPP, 2008; SCHREPP; HINDERKS; THOMASCHEWSKI, 2014; HINDERKS et al., 2019**): atratividade (impressão geral dos jogos propostos), perspicácia (como é fácil se familiarizar com os jogos propostos), eficiência (resolver tarefas sem esforço desnecessário), confiabilidade (sentir-se no controle), estimulação (quão emocionante e motivador são os jogos propostos) e novidade (quão inovador e criativo são os jogos). O questionário é constituído por pares de opostos relativos às propriedades que o produto possui. As graduações entre os opostos são representadas por círculos. Ao marcar um dos círculos, o usuário expressa sua opinião sobre um conceito. Foi solicitado que o usuário marcasse sua resposta de forma espontânea, orientado a não pensar em demasia

na resposta. Também foi solicitado que o usuário escolhesse sempre uma resposta, mesmo que não tivesse certeza sobre um par de termos ou que os termos não se enquadrassem com o produto, pois não haviam respostas consideradas “certas” ou “erradas”.

4.10.5 Análise dos Dados

Os dados de caracterização dos participantes foram anotados para realizar análise estatística descritiva. No questionário **SUS**, os dados foram tabulados para se calcular o *score* por participante, bem como média geral e desvio padrão. O cálculo do *score* do **SUS** funciona da seguinte forma: para as perguntas de números ímpares (1, 3, 5, 7 e 9), subtrai-se 1 da pontuação. Exemplificando, se a resposta for 4, é subtraído 1, ficando 3. Caso as perguntas sejam pares (2, 4, 6, 8 e 10), subtrai-se 5 da resposta do participante (5-x). Como no exemplo, caso a resposta seja 2, teremos 5 menos 2, ficando 3. Após os ajustes das pontuações por questão, todas são somadas e o resultado é multiplicado por 2,5 para obter a pontuação final, que pode variar de 0 a 100.

Além disso, no **UEQ**, comparamos os resultados da plataforma e jogos com os resultados de outros produtos estabelecidos usando um conjunto de dados de referência contendo produtos bastante diferentes. O **UEQ** compara o nível de experiência dos participantes e as médias das escalas medidas com um conjunto de dados de referência de 468 estudos relacionados a diferentes produtos (com um total de 21.175 participantes em todas as avaliações). Para verificar a consistência interna do estudo para cada escala do questionário, foi avaliado os valores obtidos para o coeficiente Alpha de Cronbach. O coeficiente Alpha de Cronbach é uma medida de consistência utilizada para avaliar a confiabilidade de uma escala de medição (BLAND; ALTMAN, 1997). O valor do coeficiente pode variar entre 0 e 1, sendo que um valor acima de 0,7 é geralmente considerado suficientemente consistente. Para análise dos dados, foi utilizada uma planilha eletrônica, uma ferramenta disponibilizada no site do **UEQ** (Andreas Hinderks, Martin Schrepp, Jör Thomaschewski, 2023).

4.11 Avaliação de Reconhecimento de Movimentos

4.11.1 Objetivo do Experimento

O objetivo deste experimento foi avaliar possíveis desempenho da captura dos movimentos realizados no jogo *Rehabilitate Game+*, mais especificamente no jogo *SpaceShip*, que contém todos os movimentos de pronação e supinação do antebraço, e flexão e extensão dos dedos da mão. Para isso, foi desenvolvida uma versão adaptada do jogo, sem contagem de pontos ou obstáculos no cenário, apenas com a nave do jogo. Através desse experimento, buscamos identificar a taxa de acerto do jogo na captura dos movimentos.

4.11.2 Recrutamento

O recrutamento dos participantes foi aberto para qualquer pessoa maior de idade e saudável que tivesse disponibilidade para participar do estudo presencialmente. Além disso, a técnica de *snowballing* foi utilizada para expandir o alcance da pesquisa. Além disso, após a conclusão do estudo de usabilidade e experiência do usuário, os participantes foram também convidados a realizar esse experimento relacionado ao reconhecimento de movimentos. Para ampliar ainda mais a participação, um convite foi desenvolvido para ser compartilhado nos grupos da [UFDP](#) no WhatsApp e em redes sociais, como o Instagram, a fim de recrutar novos participantes.

4.11.3 Procedimentos

O procedimento foi iniciado com uma explicação sobre o experimento, incluindo o motivo pelo qual estava sendo realizado. Para os participantes que não estavam familiarizados com os movimentos avaliados, o pesquisador demonstrou como eles eram executados, explicando o que cada movimento gerava no jogo. Além disso, os participantes puderam fazer testes para verificar se seus movimentos estavam sendo capturados adequadamente e experimentar o jogo. Esse bloco de aprendizagem durou até que o participante se sentisse confiante e à vontade para executar a avaliação.

Em seguida, foi realizada o experimento de reconhecimento de movimentos, que incluiu a versão com orientações para guiar o participante sobre quais movimentos deveriam ser realizados em cada momento. O jogo solicitava que o participante realizasse o movimento de pronação por 10 vezes, retornando sempre ao ponto neutro. O ponto neutro é quando o dedo mínimo está lateralmente para a câmera e o polegar está apontando para o rosto. Esse ponto é importante para garantir que a nave fique imóvel durante o jogo. Em seguida, o movimento de supinação foi realizado, também repetido 10 vezes e, por fim, os movimentos de flexão e extensão dos dedos, novamente com 10 repetições. Entre os três movimentos, havia uma pausa para o participante ler as instruções que apareciam na tela. Foi explicado ao participante que deveria realizar os movimentos de forma contínua, mesmo que nem todos os movimentos fossem capturados. A execução de todo o procedimento durou aproximadamente 10 minutos.

4.11.4 Coleta de Dados

Durante o procedimento, o participante realizava os movimentos conforme as instruções dadas na tela e o pesquisador contava a quantidade de movimentos realizados. Para garantir que nenhum dado fosse perdido, todo o experimento com o participante foi gravado em vídeo. Os vídeos foram criados somente para a coleta dos movimentos e, após a coleta, eles foram deletados. A versão utilizada para o experimento permitia

a reprodução em tempo real do vídeo do lado esquerdo superior da tela, mostrando os movimentos capturados pela câmera, o que facilitou a contagem dos movimentos. Após a contagem, os movimentos do participante foram comparados com os movimentos da nave para verificar se houve ação do jogo. Esses dados foram registrados em uma tabela para análise posterior.

4.11.5 Métricas de Desempenho

Os dados foram anotados para cada participante em uma matriz de confusão, como mostrado na Tabela 5, com valores descritos como segue.

- Verdadeiro Positivo (VP): reconhecimento de movimento correta pelo jogo para um movimento executado;
- Verdadeiro Negativo (VN): reconhecimento de movimento correta pelo jogo para um movimento não executado. Os valores de verdadeiro negativo não foram gerados devido não ser possível contabilizar a quantidade de vezes em que o participante não realizou o movimento e o jogo também não o detectou, pois não há ocorrência de evento (i.e., nova amostra) para que pudéssemos validar;
- Falso Positivo (FP): Reconhecimento do movimento onde não houve movimento, mas o jogo identificou erroneamente que houve movimento;
- Falso Negativo (FN): Reconhecimento do movimento correta, mas o jogo não identificou que houve movimento.

Tabela 5 – Matriz de confusão.

		Mov. Executados		Total
		Positivo	Negativo	
Mov. Reconhecidos	Positivo	<i>Verdadeiro Positivo</i>	<i>Falso Positivo</i>	$VP + FP$
	Negativo	<i>Falso Negativo</i>	<i>Verdadeiro Negativo</i>	$FN + VN$
Total		$VP + FN$	$FP + VN$	

Nós então analisamos as seguintes bem conhecidas métricas de desempenho (SO-KOLOVA; LAPALME, 2009): precisão (Equação 4.1), *recall* (Equação 4.2), e *F1-score* (Equação 4.3).

$$Precisão = \frac{VP}{VP + FP} \quad (4.1)$$

$$Recall = \frac{VP}{VP + FN} \quad (4.2)$$

$$F1 - score = \frac{2 * (Precisão * Recall)}{Precisão + Recall} \quad (4.3)$$

5 Resultados e Discussão

Neste capítulo, são apresentados os resultados do processo de co-design, quando foram levantados os requisitos sugeridos pelos participantes. Além disso, são demonstradas as evoluções do *Rehabilitate Game+* após o co-design. Também são apresentados os resultados da avaliação de usabilidade e experiência do usuário, bem como os resultados da avaliação de reconhecimento de movimentos, juntamente com suas respectivas discussões.

5.1 Co-design

5.1.1 Participantes

Os participantes do estudo de co-design foram divididos em dois grupos, sendo 16 fisioterapeutas e 5 psicólogos. Os fisioterapeutas tinham idades entre 25 e 59 anos, sendo 12 mulheres, formados na graduação de fisioterapia entre os anos de 1997 e 2019, e com tempo de experiência na área de 2 a 25 anos. Dos 16, 14 responderam que já trataram pacientes com comprometimento nos movimentos de pronação e supinação, e 15 responderam que já trataram pacientes com comprometimento nos movimentos de flexão e extensão dos dedos. Apenas 2 fisioterapeutas informaram que já utilizaram tecnologias computacionais para auxiliar na reabilitação motora de seus pacientes, e todos eles afirmaram que usariam os jogos sérios desenvolvidos neste trabalho de mestrado, quando devidamente implementados e avaliados. Os psicólogos tinham idade entre 31 e 43 anos, sendo 3 mulheres, formados na graduação de psicologia entre os anos de 2004 e 2014, e com tempo de experiência de 6 a 18 anos.

5.1.2 Requisitos Identificados

Durante os encontros de co-design, foram coletados dos participantes os requisitos sugeridos por eles, que foram divididos em cinco grupos: elementos do jogo (EJ), posição do paciente (PP), movimentos do paciente (MP) e sistema (S), conforme descrito nos itens abaixo. As tabelas são formadas por três colunas, contendo: ID, onde é colocada a sigla de qual grupo o requisito pertence junto de uma numeração, o requisito e a justificativa, o qual é uma breve descrição daquele requisito, onde pode ser visto nas Tabelas 6 e 7.

- Elementos de Jogo (EJ): esses requisitos estão relacionados a elementos/componentes visuais, que compõem a interface visual do jogo: animação, efeitos visuais, interface do usuário, cor, entre outros;

- Posição do Paciente (PP): estão relacionados a posição ideal do paciente, que mantém uma postura confortável e correta realização dos movimentos de reabilitação;
- Movimentos do Paciente (MP): estão relacionados aos movimentos/estimulosos que o paciente realiza durante o jogo;
- Sistema (S): requisitos relacionados à plataforma de configuração dos jogos pelos profissionais de saúde.

ID	Requisito	Justificativa
EJ1	Planos de fundo para crianças	Planos de fundo coloridos ou temáticos, em que é possível o profissional configurar, para chamar a atenção de jogadores crianças.
EJ2	Aranha não foi bem aceita no jogo <i>Bee</i>	Os participantes relataram um pouco de desconforto ou fobia por conta da aranha.
EJ3	Adicionar mais de uma nave	Com uma variedade de naves que o profissional possa definir ou o próprio jogo a altere como mecânica. Evita que o jogo fique monótono e o paciente desmotive.
EJ4	A nave ao ser atingida “morre” e ressurgir em outra posição.	Para dar ideia de que está acontecendo algo no jogo, a nave é atingida e está recebendo danos.
EJ5	Adicionar novos elementos no jogo	Adicionar novas sprites, alguma forma de evolução do jogador. Animações para colisões que ocorrem no jogo. Os elementos dos meteoros podem ser substituídos por outros, como discos voadores ou o surgimento de buracos de minhocas que levem para outro cenário.
EJ6	Adicionar uma introdução antes de começar o jogo.	Mostrar a nave entrando no cenário, posicionando no local padrão do cenário, a intenção é que deixe o jogo mais interativo.
EJ7	Efeito parallax 2d.	Mais realismo para o jogo. É possível adicionar estrelas que movimentem pelo cenário e planetas ao fundo.
EJ8	Alterar barra de status do jogo.	Colocar a barra do jogo na parte superior fica melhor para visualizar.
EJ9	Analisar os elementos do jogo <i>Bee</i>	Descobrir o porquê da escolha desses elementos. Segundo um dos participantes, isso pode despertar algum sentimento no paciente.
EJ10	Definir velocidade para os meteoros.	Os meteoros dessem muito rápido, dependendo do paciente, ele pode não ter uma ação rápida para desviar.
EJ11	Adicionar interações com os elementos do jogo.	Para aumentar o interesse e o esforço do paciente, foi sugerido que adicionasse interações nos elementos no jogo. Por exemplo, meteoros maiores seriam mais difíceis de destruir, porém, a recompensa seria maior.
EJ12	No jogo <i>Bee</i> , a quantidade de flores aparece com menor frequência que as aranhas.	O participante apontou que a dificuldade é bem maior para o paciente, então seria interessante criar níveis para as quantidades de flores e inimigos.

Tabela 6 – Tabela de requisitos coletados no período do co-design

ID	Requisito	Justificativa
PP1	Apoiar o cotovelo do paciente em uma almofada de <i>donut</i> .	O paciente pode ficar em uma postura mais confortável e evita que ele compense o movimento com o ombro.
PP2	Instruções para como se deve usar a almofada <i>donut</i> .	Com instruções ou demonstrações, o paciente evita erros em relação à postura.
MP1	Adicionar sensibilidade de flexão para a mão.	Com níveis em que o profissional definirá para o paciente, acredita-se que o paciente não forçará um movimento que ele ainda não consegue realizar.
MP2	Escolher mais de uma opção de dedos para ser detectado.	A possibilidade do profissional escolher qual dedo está sendo detectado, torna o jogo mais específico e aumenta a quantidade de exercícios e tipos de movimentos.
MP3	Passar níveis de sensibilidade para a pronação e supinação.	Definir níveis para que o paciente não force movimentos que ele não consegue realizar.
S1	Adicionar uma validação para o profissional.	Com essa validação, somente profissionais poderão fazer o cadastro.
S2	<i>Dashboard</i> com série temporal de evolução do paciente.	O profissional conseguirá acompanhar vários pacientes por meio de gráficos de evolução.
S3	Instruções e demonstrações de como realizar os exercícios.	O paciente precisa estar bem preparado para realizar as sessões para não ocorrer de realizar os exercícios de maneira errônea.

Tabela 7 – Tabela de requisitos coletados no período do co-design (cont.).

5.1.3 Discussão

Após a coleta dos requisitos, eles passaram por um processo de refinamento, em que requisitos semelhantes, que tinham a mesma ideia ou objetivo, foram fundidos, resultando em uma lista mais concisa. Houveram várias reuniões no laboratório NiTTLab para discutir quais requisitos seriam implementados e quais eram viáveis. No final, somente os requisitos que poderiam ser implementados foram selecionados, conforme já apresentados nas Tabelas 6 e 7. Dentre eles, apenas o requisito S2 não pôde ser concluído, devido a limitações de tempo. O processo de co-design foi de grande importância para o desenvolvimento do *Rehabilitate Game+*, ao permitir obter perspectivas de profissionais de fisioterapia e psicologia, atendendo às demandas desses profissionais e, conseqüentemente, dos pacientes.

5.2 Versão do Jogo Evoluída Após o Co-design

Após o período de co-design, coleta e refinamento dos requisitos, foram realizadas atualizações significativas tanto na plataforma quanto nos jogos sérios. Foram adicionados novos recursos à plataforma e feitos ajustes nas telas existentes, incluindo tratamento, criação e configuração das sessões. Os jogos sérios também passaram por atualizações, especialmente na parte gráfica, com a adição de novos elementos e outras formas de gamificação.

Com as atualizações, foi possível remover a restrição de escolher apenas um tipo de tratamento para associar com um jogo sério. Anteriormente, havia um campo de opções

limitadas com jogos existentes (i.e., Ombro e Cotovelo, Radioulnar e Flexão e Extensão dos Dedos), que estava vinculado a um único tipo de tratamento (Figura 16).

Figura 16 – Tela com nova configuração de tratamentos.

The screenshot displays the 'rehabilite GAME' interface for configuring treatments. The 'Tratamento' tab is active, and the 'Limitação' field is highlighted with a red box, showing selected options: 'Radioulnar' and 'Flexão e Extensão dos Dedos'. The patient name is 'Heitor'. The interface includes a sidebar with navigation options and a main content area with tabs for 'Anamnese', 'Palpação', 'Avaliação Motora', 'Exames Complementares', 'Observações Gerais', and 'Tratamento'. The 'Tratamento' tab is selected and highlighted with a red box. Below the tabs, there are three columns: 'Conclusão', 'Objetivos', and 'Conduta'. The 'Limitação' field is highlighted with a red box and contains two selected options: 'Radioulnar' and 'Flexão e Extensão dos Dedos'. Other fields include 'Número de Sessões' and 'Ambiente'. A 'Salvar' button is at the bottom right. A note at the bottom right states '(*) campos obrigatórios'.

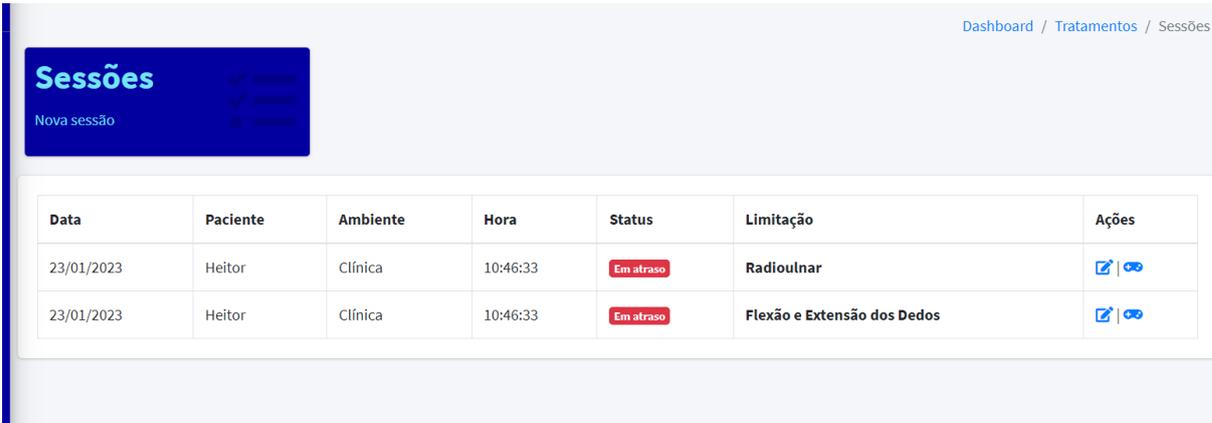
Fonte: do autor.

Com a nova estrutura da plataforma, o campo de limitação foi atualizado para incluir opções que refletem as limitações específicas do paciente, permitindo a escolha de múltiplos tipos de jogos para um único tratamento. Isso significa que os profissionais de saúde podem selecionar diferentes jogos com base nas necessidades individuais de cada paciente. As sessões são criadas a partir das escolhas das limitações multiplicadas pela quantidade de sessões definida pelo profissional. Por exemplo, se o profissional selecionar as limitações de Pronação e Supinação do Radioulnar (i.e., antebraço) e Flexão e Extensão dos Dedos, e adicionar o valor “2” no campo referente ao número de sessões, serão geradas quatro sessões, sendo duas para cada limitação. Com esse recurso, o profissional pode pré-definir a quantidade de sessões para o paciente de forma mais eficiente (Figura 17).

Caso ocorra a necessidade de adicionar mais sessões, o profissional poderá fazer isso clicando em nova sessão e escolhendo o tipo de limitação definido no momento de criar o tratamento, como demonstrado na Figura 18.

Na nova versão das configurações do jogo *Bee*, foram adicionados recursos, tais como: pronação e supinação, divididos em três níveis de sensibilidade (i.e., nível 01, nível 02, nível 03), que determinam a facilidade ou dificuldade que o jogo identifica o movimento de pronação/supinação, realizado pelo paciente. Além disso, foram adicionadas opções para a frequência do surgimento de aranhas e flores, que podem ser classificadas em três níveis (i.e., pouco, moderado, muito), bem como opções de velocidade, que também podem ser classificadas em três níveis (i.e., lento, moderado, rápido), conforme ilustrado na Figura 19. Essas opções permitem a criação de diversas variações do jogo, que podem ser ajustadas

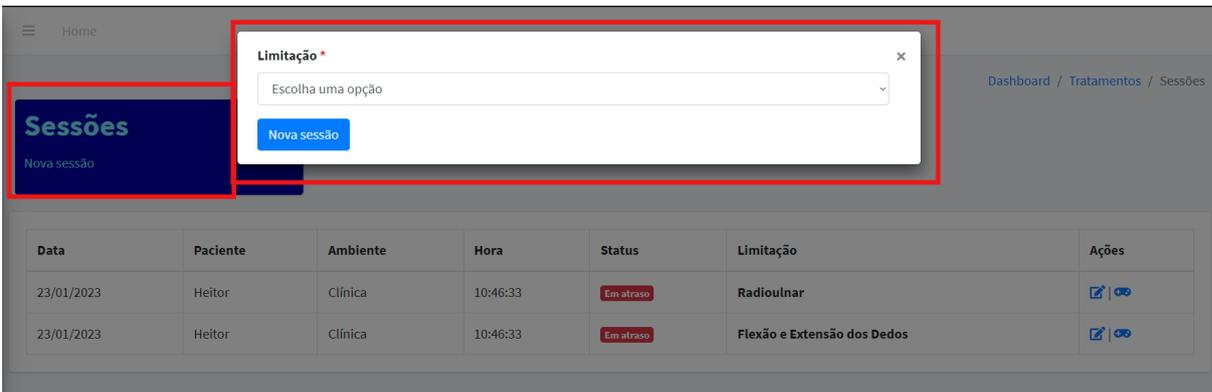
Figura 17 – Lista de sessões do tratamento.



Data	Paciente	Ambiente	Hora	Status	Limitação	Ações
23/01/2023	Heitor	Clínica	10:46:33	Em atraso	Radioulnar	
23/01/2023	Heitor	Clínica	10:46:33	Em atraso	Flexão e Extensão dos Dedos	

Fonte: do autor.

Figura 18 – Adicionando um novo tratamento.



Fonte: do autor.

para atender às necessidades específicas do paciente, possibilitando assim um progresso na reabilitação dos movimentos comprometidos.

Após configurar as definições do jogo *Bee* conforme as necessidades do paciente, as flores e aranhas são geradas aleatoriamente no cenário. Embora não seja possível controlar a posição desses elementos, é possível ajustar a visibilidade, frequência e velocidade para fornecer um nível adequado de desafio para o paciente. O cenário do jogo também foi atualizado para dar *feedback* visual em tempo real para o jogador. Um vídeo na esquerda superior permite que o jogador veja seus movimentos em tempo real, ajudando-os a ajustar sua postura e aperfeiçoar sua técnica. A barra de *status* na parte superior central do cenário fornece informações importantes, como o tempo da sessão e o número de flores e aranhas capturadas, permitindo ao jogador monitorar seu progresso ao longo do tempo (Figura 20).

A tela de configurações do jogo *SpaceShip* teve algumas atualizações, como a alteração da fase (i.e., I – Somente astronautas, II – Somente meteoros, III – Ambos), e a

Figura 19 – Tela de configuração do jogo *Bee*.

Sessões Dashboard / Pacientes / Tratamentos / Sessões / Editar

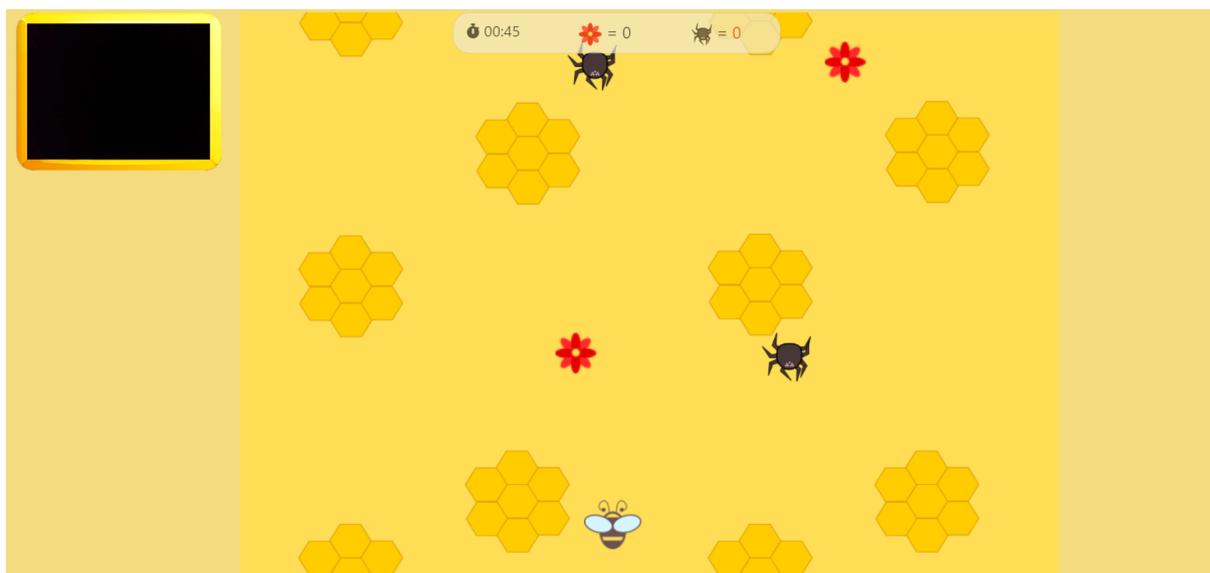
Cadastrar Sessão

Paciente *	Data *	Horário *	
Participante 01	23/01/2023	10:34:50	
Ambiente *	Duração (min) * ?	Membro *	
Clínica	1	Esquerdo	
Pronação e supinação * ?	Plano de fundo *	Fase *	
Nível 01	Background 01	1 - somente flores	
Frequência da aranha * ?	Velocidade da aranha * ?	Frequência da flor *	Velocidade da flor *
Muitos	Rápido	Muitos	Rápido

(*) campos obrigatórios

Atualizar

Fonte: do autor.

Figura 20 – Tela do jogo *Bee*.

Fonte: do autor.

adição de novos elementos gráficos como astronautas e uma variação de meteoros. O jogo *SpaceShip* possui configurações similares ao jogo *Bee*, porém possui alguns campos a mais, tais como: amplitude de movimento da mão (i.e., nível 01, nível 02, nível 03) responsável pela detecção da amplitude de movimento dos dedos da mão do paciente, nave (i.e., nave 01, nave 02, nave 03), e é possível selecionar qual dedo deve ser detectado durante o jogo, o que é útil para direcionar a reabilitação para áreas específicas da mão, como visto na Figura 21.

Figura 21 – Tela do jogo *Bee*.

Sessões Dashboard / Pacientes / Tratamentos / Sessões / Editar

Cadastrar Sessão

Paciente *	Data *	Horário *	
Heitor	23/01/2023	10:34:50	
Ambiente *	Duração (min) * ?	Membro *	
Clínica	1	Esquerdo	
Amplitude de movimento da mão * ?	Pronação e supinação * ?	Nave *	
Nível 01	Nível 01	Nave 01	
Plano de fundo *	Fase *	Dedo *	
Background 01	II - Somente meteoros	Indicador	
Frequência do meteoro * ?	Velocidade do meteoro * ?	Frequência do Astronauta * ?	Velocidade do Astronauta * ?
Muitos	Rápido	Muitos	Rápido

(*) campos obrigatórios

Atualizar

Fonte: do autor.

O jogo *SpaceShip* recebeu algumas atualizações significativas, incluindo a adição de um feedback virtual em tempo real, que permite ao jogador visualizar seus movimentos em tempo real por meio de um vídeo na esquerda superior da tela. Além disso, uma barra de *status* foi adicionada na parte superior central do cenário, fornecendo informações importantes como o tempo da sessão, o número de astronautas resgatados, o número de meteoros atingidos e o número de danos sofridos pela nave após colisão com meteoros, como visto na Figura 22.

As naves passaram a ter um sistema de evolução, ativado a partir da destruição dos meteoros. Ao atingir uma certa quantidade de disparos bem-sucedidos, a nave avança para uma nova fase de evolução. No entanto, se a nave for atingida por um meteoro, ela volta para uma evolução anterior, até chegar ao estado inicial. Esse sistema de evolução torna o jogo mais desafiador e dinâmico, pois o jogador precisa se esforçar para manter a nave em evolução, evitando ser atingido pelos meteoros Figura 23.

5.2.1 Discussão

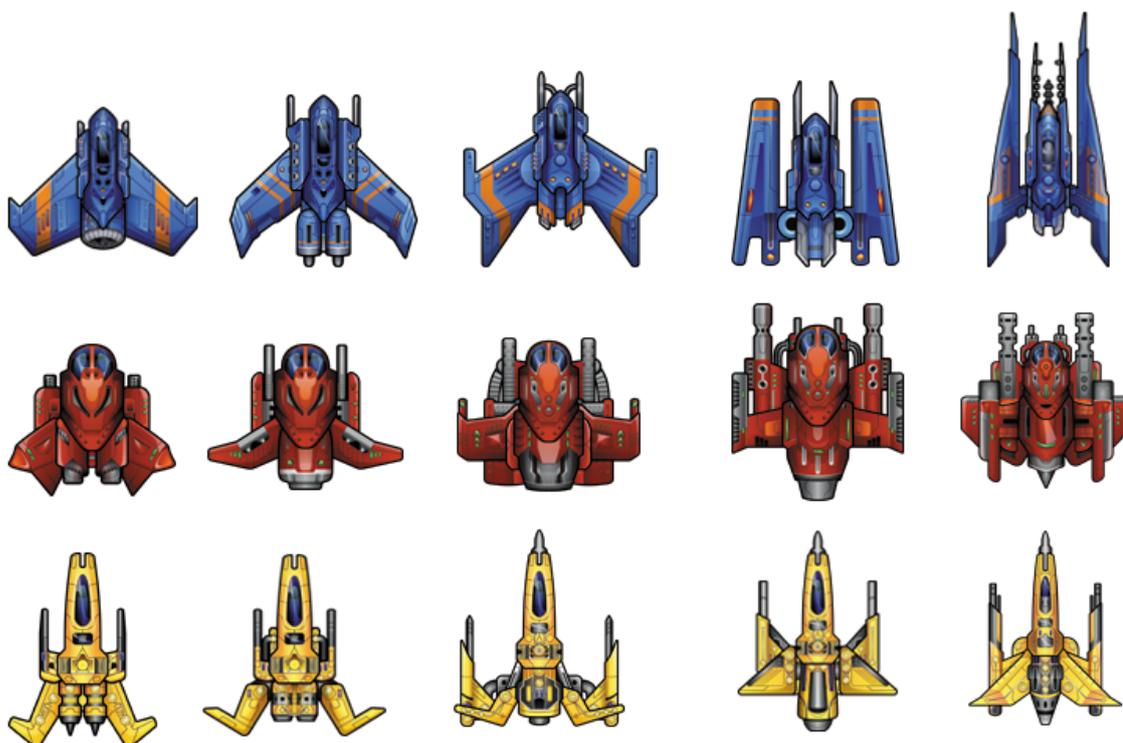
O período de implementação dos requisitos foi bastante desafiador, exigindo muitas horas de dedicação, testes e discussões no laboratório NiTLab para chegar ao resultado atual do *Rehabilitate Game+*. O processo de discussão no laboratório foi fundamental para decidir quais requisitos seriam implementados e quais eram viáveis de serem executados no prazo estipulado. Com o resultado desse processo, foi possível chegar a uma versão mais completa e aprimorada do *Rehabilitate Game+*. Acredita-se que essa evolução foi

Figura 22 – Tela do jogo *Spaceship*.



Fonte: do autor.

Figura 23 – Evoluções das naves do jogo *Spaceship*.



Fonte: do autor.

muito eficiente para atender às expectativas dos profissionais de fisioterapia envolvidos no co-design e para melhorar a experiência dos pacientes. Além disso, a evolução da plataforma permite agora a inclusão de novos jogos sérios, como para reabilitação facial, membros

inferiores e outros tipos de reabilitação, ampliando as possibilidades de uso da plataforma. Acreditamos que essa evolução contínua da plataforma de jogos trará benefícios para a reabilitação de pacientes em diversas áreas e contextos.

5.3 Experimento de Usabilidade e Experiência do Usuário

5.3.1 Participantes

Após as melhorias feitas na plataforma e nos jogos sérios, realizou-se o experimento de usabilidade e experiência do usuário, onde o estudo contou com a participação de 21 indivíduos, incluindo fisioterapeutas e estudantes do curso de fisioterapia da [UFDP](#) que já haviam concluído ou ainda estavam em período de estágio. Eles tinham idade entre 23 e 48 anos, com Média (M) de $\approx 28,95$ e Desvio Padrão (DP) de $\approx 5,85$. Os participantes formados ($n=10$) tinham tempo de experiência na prática clínica entre 4 e 25 anos. Os participantes estagiários estavam estudando entre o 10º e 14º período/semestre de curso. De todos, 76,2% afirmaram que já haviam tratado pacientes com comprometimento nos [MMSS](#). Também foi perguntado se os participantes já haviam utilizado tecnologias computacionais para auxiliar na reabilitação motora de pacientes, e 95,2% responderam que não. Todos os participantes confirmaram que usariam os jogos sérios propostos em suas práticas clínicas, o que consideramos uma aceitação muito alta.

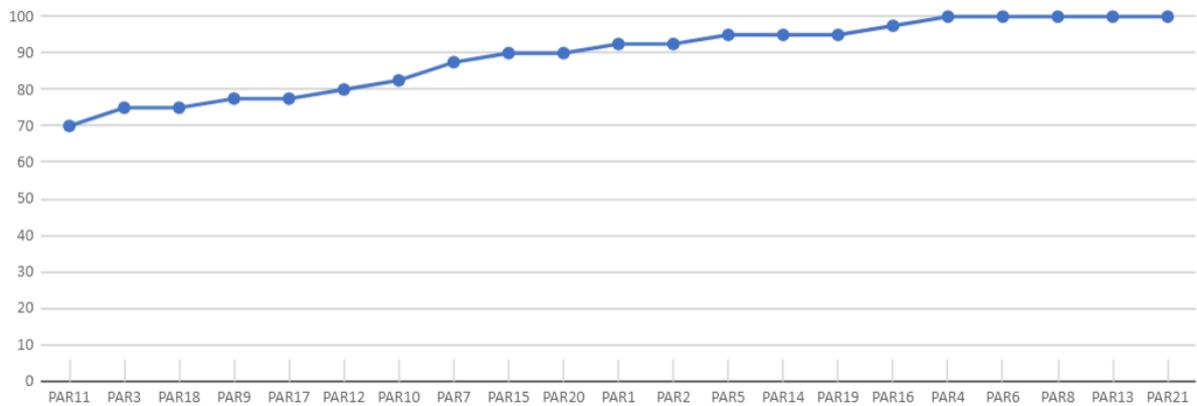
5.3.2 *System Usability Scale*

A pontuação final da escala varia de 0 a 100, sendo que 68 é a média aceitável, incluindo em aplicações digitais de saúde ([HYZY et al., 2022](#)). Uma pontuação abaixo desse limiar indica que o produto pode apresentar problemas de usabilidade. Considerando a média final de 92,5 (DP = $\approx 9,65$), isso indica que a usabilidade do *Rehabilitate Game+* foi avaliada como excelente, já que a pontuação ultrapassou os 90 pontos na escala. Até mesmo as menores pontuações, que foram 70, como apresentadas no gráfico da Figura 24), ainda são indicativas acima da média. Isso significa que os usuários que participaram da avaliação acharam a plataforma é fácil de usar, eficiente e atende às suas necessidades.

5.3.3 *User Experience Questionnaire*

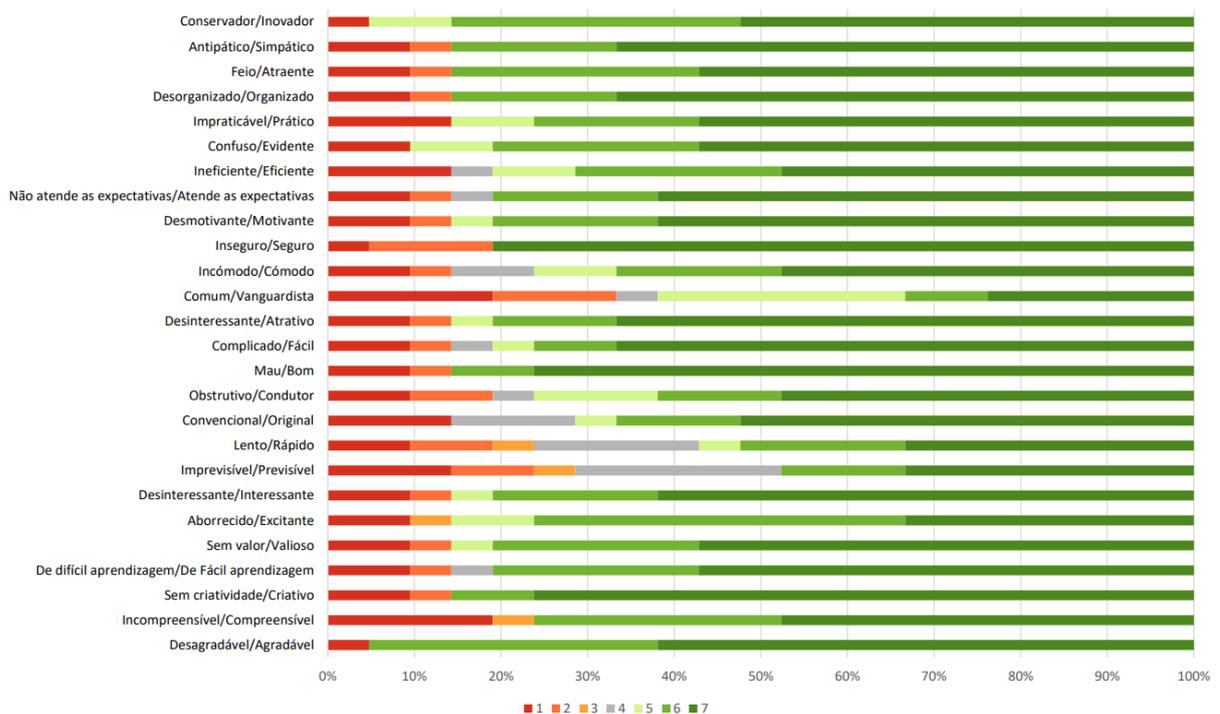
Foi realizada uma análise da distribuição dos 26 itens do [UEQ](#), considerando a pontuação nas escalas *Likert*, conforme apresentado no gráfico da Figura 25. Observou-se uma distribuição com avaliações predominantemente positivas e neutras por parte dos participantes. No entanto, foram identificados alguns poucos valores negativos em relação às escalas de transparência e inovação.

Figura 24 – Gráfico com os resultados dos participantes da escala SUS em ordem crescente de pontuação.



Fonte: do autor.

Figura 25 – Gráfico de distribuição dos 26 itens do UEQ para os 21 participantes do estudo.



Fonte: do autor.

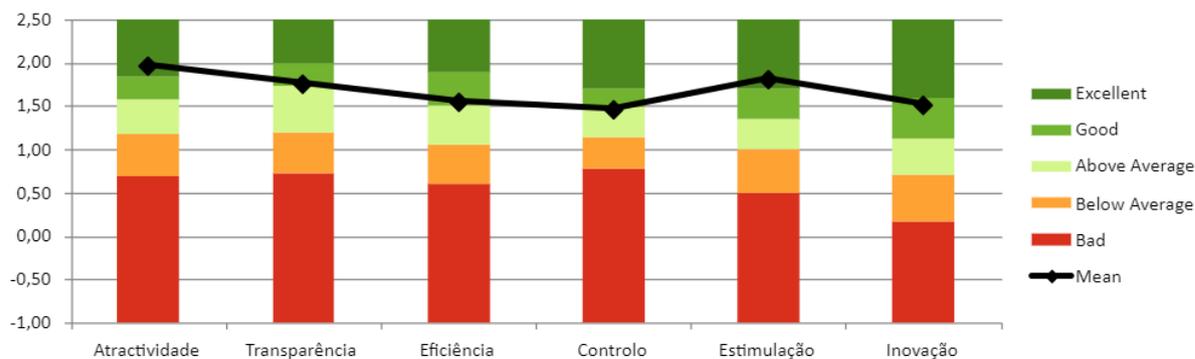
O *benchmark* fornecido com o UEQ é uma referência para a interpretação dos resultados obtidos na avaliação da experiência do usuário. Baseado em estudos anteriores que utilizaram o UEQ, é possível comparar os resultados de um produto de software com outros. A intenção é identificar se a experiência do usuário é considerada boa ou ruim em relação aos padrões estabelecidos. O gráfico de *benchmark* demonstra as médias das dimensões do UEQ para diferentes tipos de produtos ou serviços. Com isso, se os

resultados estiverem acima da média do *benchmark*, podemos considerar que a experiência do usuário é positiva em relação aos produtos ou serviços avaliados anteriormente. A escala de classificação está dividida nas seguintes categorias: excelente, bom, acima da média, abaixo da média e ruim. Além disso, o *benchmark* fornece informações sobre a posição relativa do sistema avaliado em relação à média de outros sistemas ou produtos, indicando se é:

1. Excelente: na faixa dos 10% melhores resultados entre os analisados;
2. Bom: o *benchmark* possui 10% de resultados melhores, e 75% de resultados piores;
3. Acima da média: o *benchmark* possui 25% de resultados melhores, e 50% de resultados piores;
4. Abaixo da média: o *benchmark* possui 50% de resultados melhores, e 25% de resultados piores;
5. Ruim: na faixa dos 25% piores resultados.

Com base nos resultados apresentados no gráfico da Figura 26, é possível observar que as escalas de atratividade e estimulação obtiveram médias de 1,98 e 1,82, respectivamente, indicando um desempenho excelente. Esses valores situam-se entre os 10% melhores resultados já obtidos em estudos com o UEQ. É importante ressaltar que a escala de atratividade mede o grau de atração e interesse que o usuário tem em relação ao sistema ou produto, enquanto a escala de estimulação avalia o nível de engajamento e estímulo que o usuário percebe ao utilizar o sistema.

Figura 26 – Comparação dos resultados do *Rehabilitate Game+* e o *benchmark* do UEQ para as seis escalas: atratividade, transparência, eficiência, controlo, estimulação e inovação.



Fonte: do autor.

Nas escalas transparência, eficiência e inovação, as respectivas médias 1,76, 1,56 e 1,52, indicam um resultado bom, em que o *benchmark* possui somente 10% de resultados

melhores, e 75% dos resultados são piores. A escala transparência mede o grau em que o usuário entende o funcionamento do sistema e a sua lógica de uso. A eficiência estima o grau em que o usuário consegue atingir seus objetivos de forma rápida e com o mínimo de esforço. Já a inovação avalia o grau em que o usuário percebe o sistema ou produto como inovador e diferente do que já existe. Por fim, na escala controle foi obtido a média de 1,46, indicando um resultado acima da média. Nesse ponto, o *benchmark* do UEQ possui 25% de resultados melhores, enquanto 50% de resultados piores. Essa escala é responsável por estimar o grau em que o usuário percebe, com controle sobre o sistema, e realiza o que deseja sem restrições.

Neste estudo, foram obtidos os seguintes valores do Alpha de Cronbach para as escalas do UEQ: atratividade (0,97), transparência (0,94), eficiência (0,95), controle (0,87), estimulação (0,99), e inovação (0,96). Todos os valores indicam que as escalas apresentaram alta consistência. Possíveis inconsistências podem ter ocorrido devido a problemas de compreensão das perguntas por parte dos participantes, como exemplificado pelo fato de um participante ter marcado que a plataforma era “de fácil aprendizagem” e, simultaneamente, ter avaliado a compreensibilidade como “incompreensível”. Conforme as regras do próprio UEQ, quando existem três ou mais inconsistências em uma avaliação, o ideal é remover o participante da análise dos dados. No entanto, neste estudo, apenas quatro participantes apresentaram uma ou duas inconsistências em algumas escalas, portanto, eles não foram removidos da análise.

5.3.4 Discussão

Com base na pontuação do SUS, podemos afirmar que a usabilidade da plataforma e jogos teve um bom desempenho, o que indica que a plataforma é fácil de usar e eficiente na execução. Isso demonstra que o *Rehabilitate Game+* foi bem recebido pelos participantes em termos de usabilidade. No entanto, com base nos resultados do UEQ, com a maioria acima da média do *benchmark* mas com alguns abaixo, há ainda oportunidades para melhorias em alguns aspectos, principalmente no aspecto de controle. Isso indica que os usuários tiveram uma experiência positiva com a plataforma, mas ainda há espaço para aprimoramentos. Esses resultados serão considerados para futuras versões do *Rehabilitate Game+*, de modo a melhorar a experiência do usuário.

5.4 Avaliação de Reconhecimento de Movimentos

5.4.1 Participantes e Análise dos Dados

O experimento de avaliação de reconhecimento de movimentos contou com 36 participantes saudáveis maiores de idade, gerando, portanto, 36 vídeos analisados. Os dados foram tabulados para montar as matrizes de confusão, as quais foram analisadas

para avaliar a capacidade do jogo para detectar os movimentos de pronação e supinação do antebraço, e flexão e extensão dos dedos. Foram geradas três tabelas para cada movimento, contendo os resultados de todos os participantes, as quais apresentamos nos Anexos A, B e C. A partir dessas tabelas, foram calculadas três métricas para cada movimento: precisão, *recall* e F1-score. Esses cálculos foram realizados para cada participante e os resultados foram então combinados para obter os valores de média das métricas para cada movimento.

5.4.2 Movimento de Pronação do Antebraço

Na matriz de confusão para os movimentos de pronação (Tabela 8), observou-se um alto número de verdadeiros positivos (347), indicando que o jogo identificou corretamente a ocorrência do movimento, e um baixo número de falsos negativos (13), indicando que houve poucos casos em que o jogo não detectou o movimento, mesmo quando ele ocorreu.

	Reconhecido Positivo	Reconhecido Negativo
Executado Positivo	347 (VP)	0 (FP)
Executado Negativo	13 (FN)	- (VN)

Tabela 8 – Matriz de confusão dos movimentos de pronação do antebraço.

Como visto na Figura 27, a precisão média foi de 1, o que indica que o jogo classificou corretamente 100% dos movimentos como positivos. O *recall* médio foi de 0,96. O *F1-score* médio foi de 0,96, o que indica que o jogo possui um bom equilíbrio entre precisão e *recall*.

5.4.3 Movimento de Supinação do Antebraço

Para os movimentos de supinação (Tabela 9), a matriz de confusão indicou 352 verdadeiros positivos e 8 falsos negativos, sugerindo um bom desempenho do jogo.

	Reconhecido Positivo	Reconhecido Negativo
Executado Positivo	352 (VP)	0 (FP)
Executado Negativo	8 (FN)	- (VN)

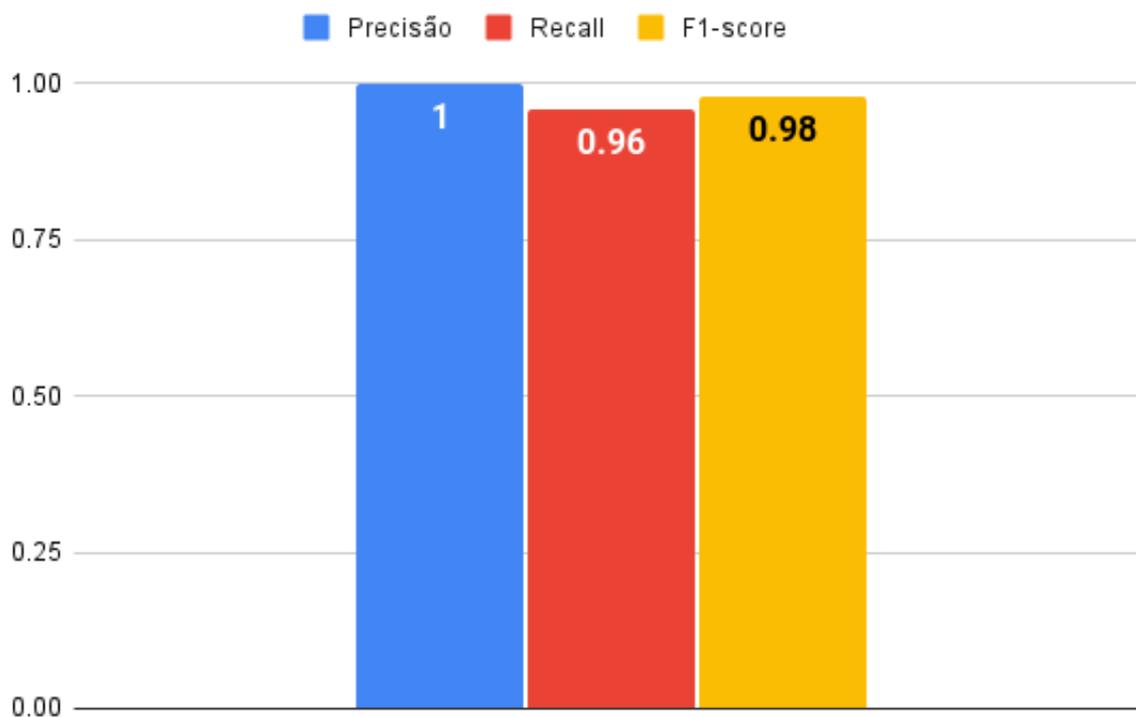
Tabela 9 – Matriz de confusão dos movimentos de supinação do antebraço.

Como apresentado na Figura 28, a precisão média foi de 1, o *recall* médio foi de 0,98, e *F1-score* médio foi de 0,99.

5.4.4 Movimento de Flexão e Extensão dos Dedos

Já para os movimentos de flexão e extensão dos dedos (Tabela 10), todos os casos foram classificados como verdadeiros positivos (360), indicando que o jogo apresentou uma alta taxa de acerto para esse tipo de movimento.

Figura 27 – Resultados de desempenho na detecção dos movimentos de pronação do antebraço.



Fonte: do autor.

	Reconhecido Positivo	Reconhecido Negativo
Executado Positivo	360 (VP)	0 (FP)
Executado Negativo	0 (FN)	- (VN)

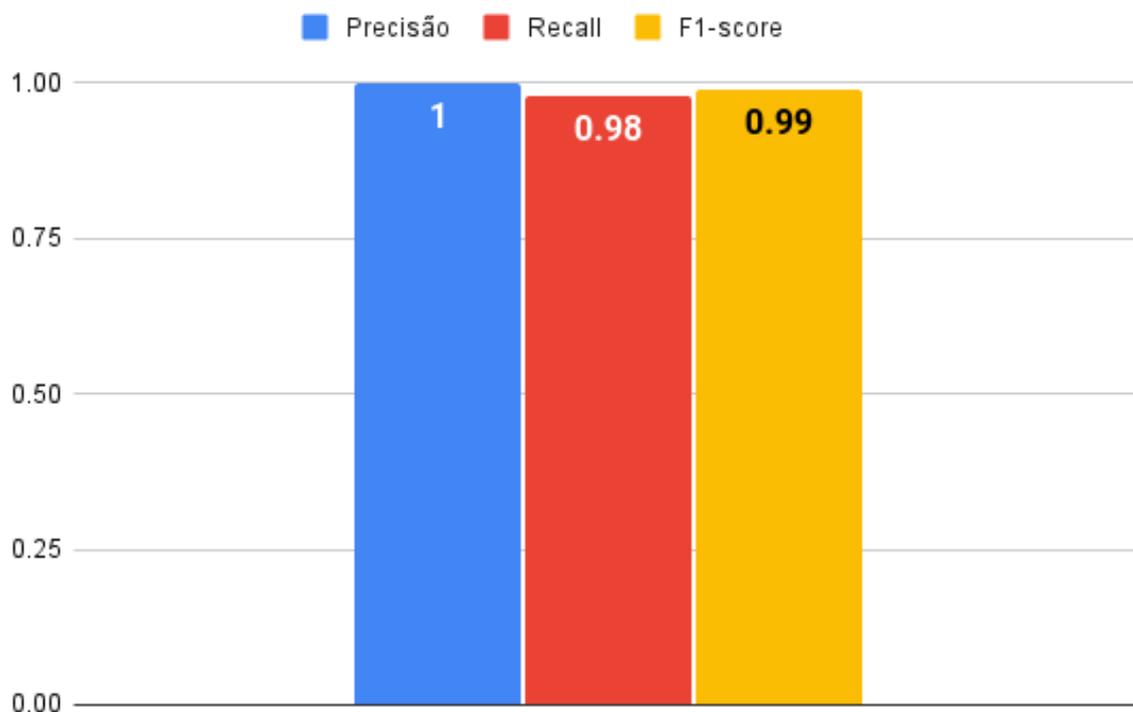
Tabela 10 – Matriz de confusão dos movimentos de flexão e extensão dos dedos da mão.

Por fim, como ilustrado na Figura 29, todas as médias das métricas foram iguais a 1, o que significa que o jogo conseguiu identificar todos os movimentos dos 36 participantes corretamente. Esses resultados indicam que o jogo teve um excelente desempenho na classificação dos movimentos em todos os casos avaliados.

5.4.5 Discussão

Os resultados indicaram que o jogo apresentou um reconhecimento de movimento satisfatório para pronação e supinação do antebraço, e flexão e extensão dos dedos. As métricas de precisão, *recall* e *F1-score* para cada movimento foram altas, o que indica que o jogo conseguiu acertar a maioria dos movimentos realizados pelos participantes. Durante os experimentos, foram observados alguns motivos pelos quais o jogo não conseguiu reconhecer alguns movimentos, principalmente para os movimentos de pronação e supinação. Foi constatado que a distância do participante em relação à câmera foi um fator que dificultou

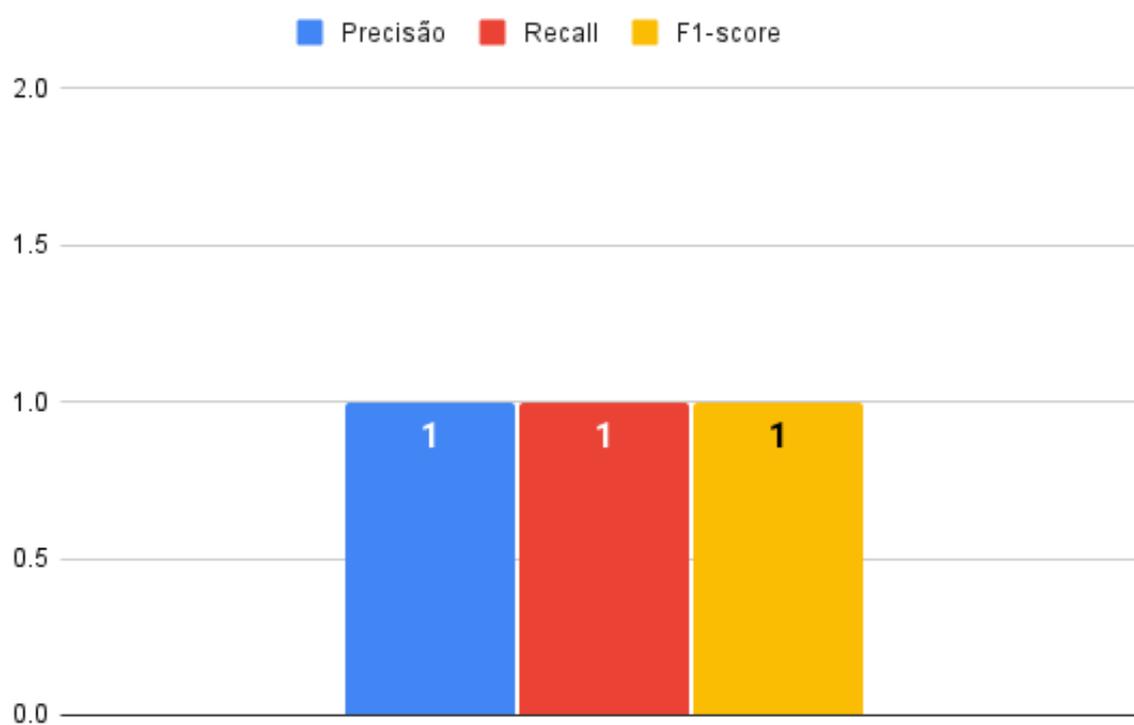
Figura 28 – Resultados de desempenho na detecção dos movimentos de supinação do antebraço.



Fonte: do autor.

o reconhecimento, pois, em alguns casos, os participantes ficavam muito perto ou muito longe da câmera. Outro fator que afetou o reconhecimento foi a adução dos dedos, que é quando os dedos ficam juntos entre si. Para uma melhor detecção, o movimento oposto, que é a abdução dos dedos, deveria ser utilizado. A partir deste experimento, foi possível identificar a razão da ocorrência desses erros. Dessa forma, eles poderão ser evitados em estudos clínicos futuros, permitindo também melhorar a experiência dos usuários nos jogos.

Figura 29 – Resultados de desempenho na detecção dos movimentos de flexão e extensão dos dedos da mão.



Fonte: do autor.

6 Considerações Finais

Esta pesquisa de mestrado propõe a extensão do *Rehabilitate Game* com a adaptação da plataforma e a adição de dois jogos sérios baseados em gestos para a reabilitação dos movimentos da mão e do antebraço. Para isso, os jogos recorrem a uma solução de VC baseada em AM para a captura dos gestos do paciente através de uma câmera web incorporada a uma plataforma web. O *Rehabilitate Game+* é jogado pelo paciente conforme as configurações definidas pelos profissionais de saúde, as quais deverão ser definidas no tratamento personalizado para cada paciente. Para manter o paciente engajado no ambiente lúdico e, ao mesmo tempo, no processo de reabilitação, foram usadas técnicas de gamificação, com interações entre o paciente e os elementos do jogo, proporcionando recompensas para os pacientes durante o período de jogo.

6.1 Contribuições Científicas e Tecnológicas

Este trabalho traz como resultado dois jogos sérios integrados a uma plataforma web, possibilitando que o profissional configure o jogo mediante a necessidade do paciente. Ambos os jogos fazem a captura dos movimentos dos pacientes por meio de VC a partir de uma câmera web integrada ao *notebook*. O primeiro jogo foi criado para auxiliar na reabilitação dos movimentos de pronação e supinação do antebraço, e o segundo jogo, além de reabilitar os movimentos do antebraço, também trabalha os movimentos de flexão e extensão dos dedos da mão.

Uma importante contribuição científica deste estudo foi a redefinição e evolução dos jogos por meio de um processo de co-design, em que foram acatados os requisitos sugeridos pelos participantes. Após essas melhorias, o *Rehabilitate Game+* passou por um período de experimentos e apresentou resultados promissores na avaliação de usabilidade e experiência do usuário. Esses resultados demonstram a relevância do estudo e sua contribuição significativa para o desenvolvimento de jogos voltados à reabilitação, que atendam às necessidades e preferências dos usuários.

Para o melhor do nosso conhecimento, não foram encontradas na literatura propostas de jogos sérios para a reabilitação dos movimentos de pronação e supinação do antebraço e flexão e extensão dos dedos da mão, utilizando gestos capturados por VC. Dessa forma, esse estudo traz a novidade de propor o *Rehabilitate Game+*. Além disso, esse estudo será base para trabalhos futuros utilizando o framework *MediaPipe* e seu modelo *Hands*. Ele permitirá o desenvolvimento de outros jogos sérios que poderão ser adicionados à plataforma.

6.2 Limitações

Esse trabalho de mestrado teve algumas limitações, as quais são reconhecidas abaixo.

- Uma das limitações deste estudo foi o número limitado de participantes que contribuíram para a pesquisa. Nas três etapas que houve a participação de seres humanos (i.e., co-design, avaliação de usabilidade e experiência do usuário, e avaliação de reconhecimento de movimentos), poderíamos ter passado um período maior recrutando participantes. No entanto, por limitações do tempo de mestrado, tivemos que encerrar os procedimentos;
- A implementação dos requisitos identificados durante o processo de co-design foi afetada não somente pela questão do tempo, mas também pela necessidade de muitas semanas de discussões sobre eles com o grupo de pesquisa, o que acabou criando um consumo de tempo, e então uma limitação para o estudo.

6.3 Trabalhos Futuros

A partir deste estudo, consideramos as seguintes possibilidades de trabalhos futuros:

- Implementação de *feedback* na plataforma, para a criação de *dashboards* personalizáveis para os profissionais, com a utilização de métricas de jogo. Essas *dashboards* de métricas permitiriam o profissional acompanhar o progresso dos pacientes ao longo do tratamento. Em uma aplicação clínica ou em futuros estudos experimentais, esse recurso poderá ser de grande importância para o monitoramento do tratamento e para a tomada de decisões clínicas;
- Além do feedback de vídeo em tempo real já presente no jogo, realizar a implementação de novos recursos de *feedback* nos jogos. Isso poderia ser realizado através da adição de mensagens de texto como alerta para o paciente, visando diminuir possíveis erros durante a realização dos exercícios, como a mão saindo da área da câmera ou estando muito perto, ou longe;
- Realizar a criação de uma fase de calibração que permita que o paciente verifique como deve se posicionar na frente do jogo. Essa fase seria importante para garantir que o jogo se adapte a qualquer jogador, independentemente de sua altura, e orientaria o paciente sobre a distância ideal que ele deve manter em relação à câmera.

6.4 Publicações

Durante o período de pesquisa deste mestrado, foi possível contribuir para a realização das seguintes publicações de trabalhos científicos.

1. Nascimento, R., **Fontenele, J. E.**, Baluz, R., Moreira, R., Teixeira, S., & Teles, A. S. (2020). Soluções de Aprendizado de Máquina para Estimar em Tempo Real a Pose Humana em Aplicações de Saúde. Sociedade Brasileira de Computação.
2. Baluz, R. A. R. S., **Fontenele, J. E. da S.**, Teles, A. S., Nascimento, R. F. do, Santos, R. P. M. dos, Bastos, V. H. do V., & Teixeira, S. S. (2020). A gesture-based serious game for upper limb motor rehabilitation. *Research, Society and Development*, 9(11), e2569119896. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.9896>
3. Castro, A. de M. R. de S., Teles, A. S., Lima, L. D. B., **Fontenele, J. E. da S.**, Bastos, V. H. do V., & Teixeira, S. S. (2022). A deep learning-based tool for the diagnostic decision support of peripheral vestibular disorders. *Research, Society and Development*, 11(4), e56111427753. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i4.27753>
4. Diniz, E. J. S., **Fontenele, J. E.**, de Oliveira, A. C., Bastos, V. H., Teixeira, S., Rabêlo, R. L., Calçada, D. B., dos Santos, R. M., de Oliveira, A. K., & Teles, A. S. (2022). Boamente: A Natural Language Processing-Based Digital Phenotyping Tool for Smart Monitoring of Suicidal Ideation. *Healthcare*, 10(4), 698. <https://doi.org/10.3390/healthcare10040698>
5. Baluz, R., Teles, A., **Fontenele, J. E.**, Moreira, R., Fialho, R., Azevedo, P., Sousa, D., Santos, F., Bastos, V. H., & Teixeira, S. (2022). Motor Rehabilitation of Upper Limbs Using a Gesture-Based Serious Game: Evaluation of Usability and User Experience. *Games for Health Journal*, 11(3), 177–185. <https://doi.org/10.1089/g4h.2022.0005>
6. Daniel Sousa, **José Everton Fontenele**, Silmar Teixeira, e Ariel Teles - Towards a Mime Recognition-Based Serious Game for Facial Rehabilitation. *IEEE JOURNAL OF BIOMEDICAL AND HEALTH INFORMATICS*. IEEE. (Em produção)
7. Artigo baseado nesta dissertação de mestrado: **José Everton Fontenele**, Daniel Sousa, Silmar Teixeira, e Ariel Teles - *Rehabilite Game+*: Gesture-based Serious Games for Hand and Forearm Movement Rehabilitation. *International Journal of Medical Informatics*. Elsevier. (Em produção)

Referências

- ABD-ALRAZAQ, A. *et al.* Artificial intelligence–driven serious games in health care: Scoping review. *JMIR serious games*, JMIR Publications Inc., Toronto, Canada, v. 10, n. 4, p. e39840, 2022. Citado na página 35.
- ABI-RAFEH, J. *et al.* Conservative Management of de Quervain Stenosing Tenosynovitis: Review and Presentation of Treatment Algorithm. *Plastic & Reconstructive Surgery*, v. 146, n. 1, p. 105–126, jul 2020. ISSN 0032-1052. Disponível em: <<https://journals.lww.com/10.1097/PRS.0000000000006901>>. Citado na página 32.
- ADCOCK, M. *et al.* A usability study of a multicomponent video game-based training for older adults. *European Review of Aging and Physical Activity*, v. 17, n. 1, p. 3, dec 2020. ISSN 1813-7253. Disponível em: <<https://eurapa.biomedcentral.com/articles/10.1186/s11556-019-0233-2>>. Citado na página 35.
- AGUILAR-LAZCANO, C. A. *et al.* Interaction modalities used on serious games for upper limb rehabilitation: a systematic review. *Games for health journal*, Mary Ann Liebert, Inc., publishers 140 Huguenot Street, 3rd Floor New ... , v. 8, n. 5, p. 313–325, 2019. Citado na página 40.
- AGUILERA-RUBIO, Á. *et al.* Use of the Leap Motion Controller® System in the Rehabilitation of the Upper Limb in Stroke. A Systematic Review. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, v. 31, n. 1, p. 106174, jan 2022. ISSN 10523057. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1052305721005796>>. Citado 2 vezes nas páginas 34 e 40.
- AHMED, I.; YELDAN, I.; MUSTAFAOGLU, R. The Adjunct of Electric Neurostimulation to Rehabilitation Approaches in Upper Limb Stroke Rehabilitation: A Systematic Review With Network Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Neuromodulation: Technology at the Neural Interface*, feb 2022. ISSN 10947159. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1094715922000253>>. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 32.
- ALANKUS, G. *et al.* Towards customizable games for stroke rehabilitation. In: *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 2113–2122. Citado 2 vezes nas páginas 42 e 44.
- ALECRIM, E. S. de *et al.* Diagnóstico tardio de hanseníase em criança: relato de caso. 2018. Citado na página 33.
- ALVES, T.; GONÇALVES, R. S.; CARBONE, G. Serious games strategies with cable-driven robots for bimanual rehabilitation: A randomized controlled trial with post-stroke patients. *Frontiers in Robotics and AI*, Frontiers Media SA, v. 9, p. 739088, 2022. Citado na página 17.
- AMBROS-ANTEMATE, J. F. *et al.* Software Engineering Frameworks Used for Serious Games Development in Physical Rehabilitation: Systematic Review. *JMIR Serious Games*, v. 9, n. 4, p. e25831, nov 2021. ISSN 2291-9279. Disponível em: <<https://games.jmir.org/2021/4/e25831>>. Citado na página 34.

Andreas Hinderks, Martin Schrepp, Jör Thomaschewski. *User Experience Questionnaire*. 2023. Disponível em: <<https://www.ueq-online.org>>. Acesso em: 10 de janeiro 2023. Citado na página 62.

BALUZ, R. *et al.* Motor rehabilitation of upper limbs using a gesture-based serious game: Evaluation of usability and user experience. *Games for Health Journal*, Mary Ann Liebert, Inc., publishers 140 Huguenot Street, 3rd Floor New ... , 2022. Citado 3 vezes nas páginas 42, 47 e 48.

BILODEAU, K. *et al.* Acceptability and feasibility of a return-to-work intervention for posttreatment breast cancer survivors: Protocol for a co-design and development study. *JMIR Res Protoc*, v. 11, n. 4, p. e37009, Apr 2022. Citado na página 55.

BIRD, M. *et al.* A generative co-design framework for healthcare innovation: development and application of an end-user engagement framework. *Research Involvement and Engagement*, Springer Nature, v. 7, 2021. Citado na página 54.

BLACKWELL, R. W. née *et al.* Using experience-based co-design with older patients, their families and staff to improve palliative care experiences in the emergency department: A reflective critique on the process and outcomes. *International Journal of Nursing Studies*, v. 68, p. 83–94, 2017. ISSN 0020-7489. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020748917300093>>. Citado na página 56.

BLAND, J. M.; ALTMAN, D. G. Statistics notes: Cronbach's alpha. *BMJ*, BMJ Publishing Group Ltd, v. 314, n. 7080, p. 572, 1997. ISSN 0959-8138. Citado na página 62.

BOVAIRD, T.; LOEFFLER, E. From engagement to co-production: How users and communities contribute to public services. In: *New Public Governance, the Third Sector, and Co-Production*. [S.l.]: Routledge, 2013. p. 53–78. Citado na página 56.

BROOKE, J. SUS: A 'quick' and 'dirty' usability scale. In: JORDAN, P. W. *et al.* (Ed.). *Usability Evaluation in Industry*. [S.l.]: Taylor and Francis, 1996. p. 189–194. Citado na página 61.

BURKE, J. W. *et al.* Serious games for upper limb rehabilitation following stroke. In: IEEE. *2009 Conference in Games and Virtual Worlds for Serious Applications*. [S.l.], 2009. p. 103–110. Citado na página 42.

BURKE, J. W. *et al.* Optimising engagement for stroke rehabilitation using serious games. *The Visual Computer*, v. 25, n. 12, p. 1085–1099, dec 2009. ISSN 0178-2789. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00371-009-0387-4>>. Citado 2 vezes nas páginas 42 e 43.

BURTON, A. M. *et al.* The use of motion tracking technologies in serious games to enhance rehabilitation in stroke patients. *International Journal of Game-Based Learning (IJGBL)*, IGI Global, v. 1, n. 4, p. 60–73, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 42 e 46.

CAETANO, E. B. *et al.* Estudo anatômico dos ramos motores do nervo radial no antebraço. *Revista Brasileira de Ortopedia*, SciELO Brasil, v. 55, p. 764–770, 2021. Citado na página 25.

- CAIJUN, W.; XI, J.; ZHENZHOU, Z. Analysis of Systematic Reform of Future Teaching in the Age of Artificial Intelligence. In: *2021 2nd International Conference on Artificial Intelligence and Education (ICAIE)*. IEEE, 2021. p. 704–707. ISBN 978-1-6654-2492-9. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9534529/>>. Citado na página 35.
- CAPÓ, A. Jaume-i *et al.* Interactive rehabilitation system for improvement of balance therapies in people with cerebral palsy. *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering*, IEEE, v. 22, n. 2, p. 419–427, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 42 e 46.
- CARREGOSA, E. B. *et al.* Mapeamento das incapacidades cinésio-funcionais de acordo com a CIF em pessoas diagnosticadas com hanseníase. *Fisioterapia Brasil*, v. 21, n. 5, p. 473–482, nov 2020. ISSN 2526-9747. Disponível em: <<https://convergenceseditorial.com.br/index.php/fisioterapiabrasil/article/view/2868>>. Citado na página 33.
- CHAN, G. *et al.* Motivational strategies and approaches for single and multi-player exergames: a social perspective. *PeerJ Computer Science*, v. 5, p. e230, nov 2019. ISSN 2376-5992. Disponível em: <<https://peerj.com/articles/cs-230>>. Citado na página 19.
- CHEN, Y. *et al.* Home-based technologies for stroke rehabilitation: A systematic review. *International journal of medical informatics*, Elsevier, v. 123, p. 11–22, 2019. Citado na página 17.
- CLEMENSEN, J. *et al.* Participatory design methods in telemedicine research. *Journal of telemedicine and telecare*, Sage Publications Sage UK: London, England, v. 23, n. 9, p. 780–785, 2017. Citado na página 56.
- CUCCURULLO, S. J. *et al.* Stroke Recovery Program with Modified Cardiac Rehabilitation Improves Mortality, Functional & Cardiovascular Performance. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, v. 31, n. 5, p. 106322, may 2022. ISSN 10523057. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1052305722000192>>. Citado na página 18.
- da Rosa1 Izabella, C. A. S. *et al.* ALTERAÇÕES NEUROLÓGICAS EM INDIVÍDUOS PORTADORES DE HANSENÍASE: REVISÃO INTEGRATIVA. *Revista Eletrônica Estácio Saúde*, v. 10, n. 02, 2021. Citado na página 33.
- DAVIES, N. *et al.* A co-design process developing heuristics for practitioners providing end of life care for people with dementia. *BMC palliative care*, BioMed Central, v. 15, n. 1, p. 1–11, 2016. Citado na página 56.
- DEKKER, M. R.; WILLIAMS, A. D. The use of user-centered participatory design in serious games for anxiety and depression. *Games for health journal*, Mary Ann Liebert, Inc. 140 Huguenot Street, 3rd Floor New Rochelle, NY 10801 USA, v. 6, n. 6, p. 327–333, 2017. Citado na página 56.
- DETERDING, S. *et al.* From game design elements to gamefulness: defining "gamification". In: *Proceedings of the 15th international academic MindTrek conference: Envisioning future media environments*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 9–15. Citado na página 35.

- DOUMAS, I. *et al.* Serious games for upper limb rehabilitation after stroke: a meta-analysis. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, Springer, v. 18, n. 1, p. 1–16, 2021. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 41.
- DUNCAN, J. *et al.* Lateral epicondylitis: the condition and current management strategies. *British Journal of Hospital Medicine*, v. 80, n. 11, p. 647–651, nov 2019. ISSN 1750-8460. Disponível em: <<http://www.magonlineibrary.com/doi/10.12968/hmed.2019.80.11.647>>. Citado na página 33.
- EVETT, L. *et al.* Dual camera motion capture for serious games in stroke rehabilitation. In: IEEE. *2011 IEEE 1st International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*. [S.l.], 2011. p. 1–4. Citado 2 vezes nas páginas 42 e 46.
- FU, X. The Application of Artificial Intelligence Technology in College Physical Education. In: *2020 International Conference on Big Data, Artificial Intelligence and Internet of Things Engineering (ICBAIE)*. IEEE, 2020. p. 263–266. ISBN 978-1-7281-6499-1. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9196418/>>. Citado na página 36.
- GERONIMO, D. *et al.* Traffic Sign Recognition for Computer Vision Project-Based Learning. *IEEE Transactions on Education*, v. 56, n. 3, p. 364–371, aug 2013. ISSN 0018-9359. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6425440/>>. Citado na página 36.
- GOEL, R.; ABZUG, J. M. De Quervain’s Tenosynovitis: A Review of the Rehabilitative Options. *HAND*, v. 10, n. 1, p. 1–5, mar 2015. ISSN 1558-9447. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/10.1007/s11552-014-9649-3>>. Citado na página 32.
- GORŠIČ, M.; CIKAJLO, I.; NOVAK, D. Competitive and cooperative arm rehabilitation games played by a patient and unimpaired person: effects on motivation and exercise intensity. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, v. 14, n. 1, p. 23, dec 2017. ISSN 1743-0003. Disponível em: <<https://jneuroengrehab.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12984-017-0231-4>>. Citado na página 34.
- GUTKOWSKA, O. *et al.* Brachial plexus injury after shoulder dislocation: a literature review. *Neurosurgical Review*, v. 43, n. 2, p. 407–423, apr 2020. ISSN 0344-5607. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s10143-018-1001-x>>. Citado na página 32.
- HALL, S. *Biomecânica Básica*. GUANABARA KOOGAN, 2020. ISBN 9788527736503. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=I6v5zQEACAAJ>>. Citado na página 26.
- HAMILL, J. Bases biomecânicas do movimento humano. Editora Manole, 1999. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 31.
- HAMILL, J.; KNUTZEN, K.; DERRICK, T. *Bases Biomecânicas Do Movimento Humano*. MANOLE, 2016. ISBN 9788520446706. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=wcsLvgAACAAJ>>. Citado na página 26.
- HATEM, S. M. *et al.* Rehabilitation of Motor Function after Stroke: A Multiple Systematic Review Focused on Techniques to Stimulate Upper Extremity Recovery. *Frontiers in Human Neuroscience*, v. 10, sep 2016. ISSN 1662-5161. Disponível em: <<http://journal.frontiersin.org/Article/10.3389/fnhum.2016.00442/abstract>>. Citado na página 32.

- HETAIMISH, B. *et al.* Prevalence of De-Quervain's Tenosynovitis Among Medical Professionals. *Middle East Journal of Family Medicine*, v. 7, n. 10, p. 125, 2020. Citado na página 32.
- HINDERKS, A. *et al.* Developing a ux kpi based on the user experience questionnaire. *Computer Standards & Interfaces*, v. 65, p. 38–44, 2019. ISSN 0920-5489. Citado na página 61.
- HUNG, Y.-X. *et al.* What Do Stroke Patients Look for in Game-Based Rehabilitation: A Survey Study. *Medicine*, v. 95, n. 11, p. e3032, mar 2016. ISSN 1536-5964. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26986120><http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC4839901>>. Citado 2 vezes nas páginas 34 e 35.
- HYZY, M. *et al.* System usability scale benchmarking for digital health apps: Meta-analysis. *JMIR Mhealth Uhealth*, v. 10, n. 8, p. e37290, 2022. ISSN 2291-5222. Citado na página 74.
- INGRAM, L. A. *et al.* Quantifying upper-limb motor impairment in people with multiple sclerosis: A physiological profiling approach. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, v. 65, n. 5, p. 101625, sep 2022. ISSN 18770657. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877065721001421>>. Citado na página 15.
- INGRAM, L. A. *et al.* The upper limb Physiological Profile Assessment: Description, reliability, normative values and criterion validity. *PLOS ONE*, v. 14, n. 6, p. e0218553, jun 2019. ISSN 1932-6203. Disponível em: <<https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0218553>>. Citado na página 15.
- JAYATILAKE, D. *et al.* Robot assisted physiotherapy to support rehabilitation of facial paralysis. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, IEEE, v. 22, n. 3, p. 644–653, 2013. Citado na página 36.
- JOHNS, N.; SHRIDHAR, V. Lateral epicondylitis: Current concepts. *Australian Journal of General Practice*, v. 49, n. 11, p. 707–709, 2020. Citado na página 33.
- KAMKAR, S. *et al.* Multiple-target tracking in human and machine vision. *PLOS Computational Biology*, v. 16, n. 4, p. e1007698, apr 2020. ISSN 1553-7358. Disponível em: <<https://dx.plos.org/10.1371/journal.pcbi.1007698>>. Citado na página 36.
- KAMNARDSIRI, T. *et al.* An Interactive Physical-Cognitive Game-Based Training System Using Kinect for Older Adults: Development and Usability Study. *JMIR Serious Games*, v. 9, n. 4, p. e27848, oct 2021. ISSN 2291-9279. Disponível em: <<https://games.jmir.org/2021/4/e27848>>. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 35.
- KOUTSIANA, E. *et al.* Serious gaming technology in upper extremity rehabilitation: scoping review. *JMIR Serious Games*, JMIR Publications Inc., Toronto, Canada, v. 8, n. 4, p. e19071, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 41.
- KRATH, J.; SCHÜRMAN, L.; KORFLESCH, H. F. von. Revealing the theoretical basis of gamification: A systematic review and analysis of theory in research on gamification, serious games and game-based learning. *Computers in Human Behavior*, v. 125, p. 106963, dec 2021. ISSN 07475632. Disponível em:

<<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0747563221002867>>. Citado na página 35.

LASTAYO, P. C.; LEE, M. J. The Forearm Complex: Anatomy, Biomechanics and Clinical Considerations. *Journal of Hand Therapy*, v. 19, n. 2, p. 137–145, apr 2006. ISSN 08941130. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0894113006000421>>. Citado na página 16.

LASTÓRIA, J. C.; ABREU, M. A. M. M. d. Leprosy: review of the epidemiological, clinical, and etiopathogenic aspects-part 1. *Anais brasileiros de dermatologia*, SciELO Brasil, v. 89, p. 205–218, 2014. Citado na página 33.

LAUGWITZ, B.; HELD, T.; SCHREPP, M. Construction and evaluation of a user experience questionnaire. In: HOLZINGER, A. (Ed.). *HCI and Usability for Education and Work*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008. p. 63–76. Citado na página 61.

LENOIR, H.; MARES, O.; CARLIER, Y. Management of lateral epicondylitis. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, v. 105, n. 8, p. S241–S246, dec 2019. ISSN 18770568. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877056819302609>>. Citado na página 33.

LI, G.-Y. *et al.* Traumatic brachial plexus injury: a study of 510 surgical cases from multicenter services in Guangxi, China. *Acta Neurochirurgica*, v. 161, n. 5, p. 899–906, may 2019. ISSN 0001-6268. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00701-019-03871-y>>. Citado na página 32.

LIN, J.; KELLEHER, C. L.; ENGSBERG, J. R. Developing home-based virtual reality therapy interventions. *GAMES FOR HEALTH: Research, Development, and Clinical Applications*, Mary Ann Liebert, Inc. 140 Huguenot Street, 3rd Floor New Rochelle, NY 10801 USA, v. 2, n. 1, p. 34–38, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 42 e 46.

Liu Xian. Artificial intelligence and modern sports education technology. In: *2010 International Conference on Artificial Intelligence and Education (ICAIE)*. IEEE, 2010. p. 772–776. ISBN 978-1-4244-6935-2. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/5641441/>>. Citado na página 35.

LUBBE, L. van der *et al.* Empowering vulnerable target groups with serious games and gamification. *Entertainment Computing*, v. 38, p. 100402, may 2021. ISSN 18759521. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1875952120301105>>. Citado na página 35.

LUGARESI, C. *et al.* MediaPipe: A Framework for Building Perception Pipelines. jun 2019. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/1906.08172>>. Citado na página 37.

LUGO-AGUDELO, L. *et al.* Adaptations for rehabilitation services during the COVID-19 pandemic proposed by scientific organizations and rehabilitation professionals. *Journal of Rehabilitation Medicine*, v. 53, n. 9, p. jrm00228, 2021. ISSN 1651-2081. Disponível em: <<https://www.medicaljournals.se/jrm/content/abstract/10.2340/16501977-2865>>. Citado na página 19.

- MA, K.-L.; WANG, H.-Q. Management of Lateral Epicondylitis: A Narrative Literature Review. *Pain Research and Management*, v. 2020, p. 1–9, may 2020. ISSN 1203-6765. Disponível em: <<https://www.hindawi.com/journals/prm/2020/6965381/>>. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 33.
- MARTINI, F. H.; TIMMONS, M. J.; TALLITSCH, R. B. *Anatomia Humana-: Coleção Martini*. [S.l.]: Artmed Editora, 2009. Citado 3 vezes nas páginas 26, 27 e 28.
- MAW, J.; WONG, K. Y.; GILLESPIE, P. Hand anatomy. *British Journal of Hospital Medicine*, MA Healthcare London, v. 77, n. 3, p. C34–C40, 2016. Citado na página 26.
- MEIJEREN-PONT, W. van *et al.* Patient Activation During the First 6 Months After the Start of Stroke Rehabilitation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, mar 2022. ISSN 00039993. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S000399932200274X>>. Citado na página 18.
- MICHIELSEN, M. *et al.* Use of three-dimensional technology for complications of upper limb fracture treatment. *EFORT Open Reviews*, v. 4, n. 6, p. 302–312, jun 2019. ISSN 2396-7544. Disponível em: <<https://eor.bioscientifica.com/view/journals/eor/4/6/2058-5241.4.180074.xml>>. Citado na página 15.
- MITCHELL, R. L. D.; WM, A. W. V. A. *Gray Anatomia B sica1: Gray Anatomia B sica*. [S.l.]: Elsevier Health Sciences. Citado na página 31.
- MOORE, A. F. D. *Anatomia Orientada Para A Clínica*. GUANABARA, 2018. ISBN 9788527733816. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=OFD1vwEACAAJ>>. Citado na página 25.
- MOORE, K. L.; DALLEY, A. F.; AGUR, A. M. R. *Clinically Oriented Anatomy*. Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins, 2010. (Clinically Oriented Anatomy). ISBN 9780781775250. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=7wsIOgAACAAJ>>. Citado 5 vezes nas páginas 21, 22, 23, 24 e 25.
- NETTER, F. H. *Atlas of Human Anatomy E-Book: Digital eBook*. Elsevier Health Sciences, 2017. (Netter Basic Science). ISBN 9780323547048. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=6bZEDwAAQBAJ>>. Citado na página 22.
- NEUMANN, D. A. *Cinesiologia do aparelho musculoesquelético: fundamentos para reabilitação*. Guanabara Koogan, 2010. ISBN 9788535239669. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=DmRfZg5chjoC>>. Citado 8 vezes nas páginas 16, 21, 26, 27, 28, 29, 30 e 31.
- PANCHAL-KILDARE, S.; MALONE, K. Skeletal anatomy of the hand. *Hand clinics*, Elsevier, v. 29, n. 4, p. 459–471, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 27.
- PONDAAG, W.; MALESSY, M. J. A. Evidence that nerve surgery improves functional outcome for obstetric brachial plexus injury. *Journal of Hand Surgery (European Volume)*, v. 46, n. 3, p. 229–236, mar 2021. ISSN 1753-1934. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1753193420934676>>. Citado na página 32.
- Pradeep Nair, S.; Nanda Kumar, G. A clinical and histopathological study of histoid leprosy. *International Journal of Dermatology*, v. 52, n. 5, p. 580–586, may 2013. ISSN 00119059. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-4632.2012.05753.x>>. Citado na página 33.

- PRANGE, G. *et al.* A low-tech virtual reality application for training of upper extremity motor function in neurorehabilitation. In: IEEE. *2008 Virtual Rehabilitation*. [S.l.], 2008. p. 8–12. Citado na página 42.
- PROENÇA, J. P.; QUARESMA, C.; VIEIRA, P. Serious games for upper limb rehabilitation: a systematic review. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, Taylor & Francis, v. 13, n. 1, p. 95–100, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 41.
- PULMAN, J.; BUCKLEY, E. Assessing the efficacy of different upper limb hemiparesis interventions on improving health-related quality of life in stroke patients: a systematic review. *Topics in stroke rehabilitation*, Taylor & Francis, v. 20, n. 2, p. 171–188, 2013. Citado na página 16.
- QIU, Q. *et al.* Development of the Home based Virtual Rehabilitation System (HoVRS) to remotely deliver an intense and customized upper extremity training. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, v. 17, n. 1, p. 155, dec 2020. ISSN 1743-0003. Disponível em: <<https://jneuroengrehab.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12984-020-00789-w>>. Citado na página 34.
- RICH, J. A.; NEWELL, A.; WILLIAMS, T. Traumatic brachial plexus injury rehabilitation using neuromuscular electrical muscle stimulation in a polytrauma patient. *BMJ Case Reports*, v. 12, n. 12, p. e232107, dec 2019. ISSN 1757-790X. Disponível em: <<https://casereports.bmj.com/lookup/doi/10.1136/bcr-2019-232107>>. Citado na página 32.
- SANTANA, E. M. F. de *et al.* Disabilities in leprosy: construction and validation of instrument on knowledge and attitude of professionals. *Revista Brasileira de Enfermagem*, v. 74, n. 5, 2021. ISSN 1984-0446. Citado na página 33.
- SANT'ANNA, F. M.; RANGEL, V. M.; MOTA, D. D. S. Tratamento da Tenossinovite de Quervain por Acupuntura – Relato de Caso. *VITTALLE - Revista de Ciências da Saúde*, v. 30, n. 1, p. 130–136, jul 2018. ISSN 2177-7853. Disponível em: <<https://periodicos.furg.br/vittalle/article/view/7460>>. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 32.
- SCHREPP, M.; HINDERKS, A.; THOMASCHEWSKI, J. Applying the user experience questionnaire (ueq) in different evaluation scenarios. In: MARCUS, A. (Ed.). *Design, User Experience, and Usability. Theories, Methods, and Tools for Designing the User Experience*. Cham: Springer International Publishing, 2014. p. 383–392. Citado na página 61.
- SOKOLOVA, M.; LAPALME, G. A systematic analysis of performance measures for classification tasks. *Information Processing & Management*, Elsevier, v. 45, n. 4, p. 427–437, 2009. Citado na página 64.
- SPIEL, T. A. *et al.* Are serious games too serious? Diffusion of wearable technologies and the creation of a diffusion of serious games model. *International Journal of Information Management*, v. 58, p. 102202, jun 2021. ISSN 02684012. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268401219315555>>. Citado na página 33.
- STANDRING, S. *Gray's Anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice*. Elsevier Limited, 2016. (Gray's Anatomy Series). ISBN 9780702052309. Disponível em:

<<https://books.google.com.br/books?id=LjP9rQEACAAJ>>. Citado 4 vezes nas páginas 22, 23, 24 e 25.

STUDENSKI, S. *et al.* Daily functioning and quality of life in a randomized controlled trial of therapeutic exercise for subacute stroke survivors. *Stroke*, Am Heart Assoc, v. 36, n. 8, p. 1764–1770, 2005. Citado na página 16.

TAMURA, H. *et al.* de Quervain’s tenosynovitis. *BMJ Case Reports*, v. 13, n. 12, p. e240129, dec 2020. ISSN 1757-790X. Disponível em: <<https://casereports.bmj.com/lookup/doi/10.1136/bcr-2020-240129>>. Citado na página 32.

TAN, J. W.; ZARY, N. Diagnostic Markers of User Experience, Play, and Learning for Digital Serious Games: A Conceptual Framework Study. *JMIR Serious Games*, v. 7, n. 3, p. e14620, jul 2019. ISSN 2291-9279. Disponível em: <<http://games.jmir.org/2019/3/e14620/>>. Citado na página 33.

THATTE, M. R.; NAYAK, N. S.; HIREMATH, A. S. Management of Birth Brachial Plexus Injury Including Use of Distal Nerve Transfers. *The Journal of Hand Surgery (Asian-Pacific Volume)*, v. 25, n. 03, p. 267–275, sep 2020. ISSN 2424-8355. Disponível em: <<https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S2424835520400020>>. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 32.

WARD, M. *et al.* The co-design, implementation and evaluation of a serious board game ‘playdecide patient safety’ to educate junior doctors about patient safety and the importance of reporting safety concerns. *BMC medical education*, BioMed Central, v. 19, n. 1, p. 1–14, 2019. Citado na página 56.

WARD, M. E. *et al.* Using co-design to develop a collective leadership intervention for healthcare teams to improve safety culture. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 15, n. 6, p. 1182, 2018. ISSN 1660-4601. Citado na página 55.

WARSINSKY, S. *et al.* Conceptual Ambiguity Surrounding Gamification and Serious Games in Health Care: Literature Review and Development of Game-Based Intervention Reporting Guidelines (GAMING). *Journal of Medical Internet Research*, v. 23, n. 9, p. e30390, sep 2021. ISSN 1438-8871. Disponível em: <<https://www.jmir.org/2021/9/e30390>>. Citado na página 34.

YOO, I.-g.; YOO, W.-g. Effects of a multidisciplinary supervised exercise program on motor performance and quality of life in community-dwelling chronic stroke survivors in korean. *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*, v. 42, n. 2, p. 436, 2011. Citado na página 16.

YUE, Z.; ZHANG, X.; WANG, J. Hand rehabilitation robotics on poststroke motor recovery. *Behavioural neurology*, Hindawi Limited, 2017. Citado na página 16.

ZHANG, F. *et al.* Mediapipe hands: On-device real-time hand tracking. *arXiv preprint arXiv:2006.10214*, 2020. Citado 3 vezes nas páginas 37, 38 e 39.

Anexos

ANEXO A – Questionário dos Fisioterapeutas

1. Qual a sua idade?
2. Qual o sexo?
3. Qual a sua formação?
4. Em que ano concluiu a graduação?
5. Quanto tempo de experiência tem na área de formação?
6. Já tratou pacientes com comprometimento de membros superiores (MMSS) associados aos movimentos de prono-supinação?
7. Já tratou pacientes com comprometimentos de MMSS associados aos movimentos de extensão e flexão dos dedos da mão?
8. Se já tratou pacientes com comprometimento de MMSS, associou com outros movimentos de MMSS? Se sim, quais?
9. Você já utilizou tecnologia computacional para o auxílio em reabilitação motora em pacientes? Se já tiver usado alguma ferramenta computacional para auxiliar no processo de reabilitação de pacientes, qual o nome dessa ferramenta?
10. Se nunca tiver usada nenhuma ferramenta computacional em reabilitação motora de pacientes, qual foi o motivo?
11. Você usaria os jogos sérios que estão sendo desenvolvidos (apresentados no encontro de codesign) em pacientes?
12. Você gostaria de deixar algum comentário que possa colaborar com o desenvolvimento dos jogos sérios discutidos no encontro?

ANEXO B – Questionário dos Psicólogos

1. Qual a sua idade?
2. Qual o sexo?
3. Em que ano concluiu a graduação?
4. Quanto tempo de experiência tem na área de formação?
5. Qual sua abordagem de estudos e trabalho?

ANEXO C – Questionário de Usabilidade e Experiencia do Usuário

1. Qual a sua idade?
2. Em qual ano concluiu a graduação? Responda "N/A" caso não seja formado.
3. Em qual período está atualmente? Responda "N/A" caso seja formado.
4. Quanto tempo de experiência tem na área de formação? Responda "N/A" caso não seja formado.
5. Já tratou pacientes com comprometimento de membros superiores (MMSS) associados aos movimentos de prono supinação?
6. Você já utilizou tecnologia computacional para o auxílio em reabilitação motora em pacientes?
7. Se já tiver usado alguma ferramenta computacional para auxiliar no processo de reabilitação de pacientes, qual o nome dessa ferramenta?
8. Você usaria os jogos sérios que estão sendo desenvolvidos em pacientes?
9. Você gostaria de deixar algum comentário que possa colaborar com o desenvolvimento dos jogos sérios?

Discordo
totalmenteConcordo
totalmente

		1	2	3	4	5
1	Eu acho que gostaria de usar essa aplicação com frequência					
2	Eu acho o sistema desnecessariamente complexo					
3	Eu achei o sistema fácil de usar					
4	Eu acho que precisaria de ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar o sistema					
5	Eu acho que as várias funções do sistema estão muito bem integradas					
6	Eu acho que o sistema apresenta muitas inconsistências					
7	Eu imagino que as pessoas aprenderão a usar esse sistema rapidamente					
8	Eu achei o sistema complicado de usar					
9	Eu me senti confiante ao usar o sistema					
10	Eu precisei aprender várias coisas novas antes de usar o sistema					

ANEXO D – Movimento de pronação

ID	Precisão	Recall	F1-score
P1	1	1	1
P2	1	0,900	0,947
P3	1	1	1
P4	1	1	1
P5	1	1	1
P6	1	1	1
P7	1	1	1
P8	1	1	1
P9	1	1	1
P10	1	1	1
P11	1	1	1
P12	1	1	1
P13	1	1	1
P14	1	1	1
P15	1	0,700	0,824
P16	1	1	1
P17	1	0,900	0,947
P18	1	0,900	0,947
P19	1	1	1
P20	1	1	1
P21	1	1	1
P22	1	1	1
P23	1	1	1
P24	1	1	1
P25	1	0,900	0,947
P26	1	0,900	0,947
P27	1	1	1
P28	1	1	1
P29	1	0,800	0,889
P30	1	0,800	0,889
P31	1	0,800	0,889
P32	1	1	1
P33	1	0,900	0,947
P34	1	1	1
P35	1	1	1
P36	1	1	1

ANEXO E – Movimento de supinação

ID	Precisão	Recall	F1-score
P1	1	1	1
P2	1	1	1
P3	1	1	1
P4	1	1	1
P5	1	1	1
P6	1	1	1
P7	1	1	1
P8	1	1	1
P9	1	1	1
P10	1	1	1
P11	1	1	1
P12	1	1	1
P13	1	1	1
P14	1	1	1
P15	1	0,600	0,750
P16	1	0,900	0,947
P17	1	1	1
P18	1	1	1
P19	1	1	1
P20	1	1	1
P21	1	1	1
P22	1	1	1
P23	1	1	1
P24	1	1	1
P25	1	1	1
P26	1	1	1
P27	1	0,900	0,947
P28	1	1	1
P29	1	1	1
P30	1	0,800	0,889
P31	1	1	1
P32	1	1	1
P33	1	1	1
P34	1	1	1
P35	1	1	1
P36	1	1	1

ANEXO F – Movimentos de flexão e extensão

ID	Precisão	Recall	F1-score
P1	1	1	1
P2	1	1	1
P3	1	1	1
P4	1	1	1
P5	1	1	1
P6	1	1	1
P7	1	1	1
P8	1	1	1
P9	1	1	1
P10	1	1	1
P11	1	1	1
P12	1	1	1
P13	1	1	1
P14	1	1	1
P15	1	1	1
P16	1	1	1
P17	1	1	1
P18	1	1	1
P19	1	1	1
P20	1	1	1
P21	1	1	1
P22	1	1	1
P23	1	1	1
P24	1	1	1
P25	1	1	1
P26	1	1	1
P27	1	1	1
P28	1	1	1
P29	1	1	1
P30	1	1	1
P31	1	1	1
P32	1	1	1
P33	1	1	1
P34	1	1	1
P35	1	1	1
P36	1	1	1