http://journal.unoeste.br/index.php/ce/index
DOI: 10.5747/ce.2024.v16.e421
ISSN on-line 2178-8332

Colloquium Exactarum

Submetido: 05/02/2024 Revisado: 25/04/2024 Aceito: 07/05/2024

PARKINSONVR: A REALIDADE VIRTUAL COMO AUXILIADORA EM TRATAMENTOS FISIOTERAPÊUTICOS PARA PACIENTES COM DOENÇA DE PARKINSON

PARKINSONVR: Virtual Reality as an Assistant in Physiotherapeutic Treatments for Patients with Parkinson's Disease

Eduardo Henrique Shikama Dias[1]; Aline Duarte Ferreira[2]; Natália Zamberlan Ferreira[3]; Robson Augusto Siscoutto[4]

[1, 2, 3, 4]Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE. [1, 4]Faculdade de informática de Presidente Prudente. [2, 3]Faculdade de Fisioterapia de Presidente Prudente.
e-mail: diasrick@outlook.com , aline@unoeste.br, nataliaferreira@unoeste.br; robson@unoeste.br

RESUMO – A doença de Parkinson (DP) é caracterizada por tremores, bradicinesia, rigidez, perda de reflexo postural, problemas de marcha e perda de neurônios dopaminérgicos da substância negra. Embora não exista cura para a DP, existem diversos e eficientes tratamentos para auxiliar no dia a dia, sendo uma delas, a fisioterapia. A fisioterapia pode ajudar a minimizar a evolução da doença e melhorar a qualidade de vida do paciente. Porém, tratamentos convencionais de fisioterapia muitas vezes são vistos como algo repetitivo e desestimulador para os pacientes, afetando na eficácia do tratamento. Para evitar esse problema, novas práticas de tratamento aliadas à fisioterapia vêm sendo estudadas, como o uso da realidade virtual (RV). Diante disso, este trabalho apresenta um aplicativo computacional de RV para auxiliar nos tratamentos fisioterapêuticos de pacientes com DP fazendo uso de ambientes virtuais 3D interativos e customizados. O aplicativo foi avaliado pelos pesquisadores envolvidos no projeto, por meio de um questionário de usabilidade específico para este tipo de ambiente, obtendo média final de 4,77, desvio padrão de 0,35 e intervalo de confiança de 95% entre seus limites superior e inferior (4,46; 5,08), sendo considerado apto para testes em pacientes reais no futuro.
Palavras-chave: Fisioterapia; Doença de Parkinson; Realidade Virtual; Reabilitação;

ABSTRACT – Parkinson's disease (PD) is characterized by tremors, bradykinesia, weakness, loss of postural reflexes, gait problems, and loss of dopaminergic neurons in the substantia nigra. Although there is no cure for PD, there are several efficient treatments to help with daily life, one of which is physiotherapy. Physiotherapy can help minimize the progression of the disease and improve the patient's quality of life. However, conventional physiotherapy treatments are often seen as repetitive and discouraging for patients, affecting the effectiveness of the treatment. To avoid this problem, new treatment practices combined with physiotherapy have been scientifically developed, such as the use of virtual reality (VR). Therefore, this work presents a VR computational application to assist in the physiotherapeutic treatments of patients with PD using interactive and customized 3D virtual environments. The application was evaluated by the researchers involved in the project, using a usability questionnaire specific to this type of environment, obtaining a final average of 4.77, standard deviation of 0.35 and a 95% confidence interval between its upper limits and lower (4.46; 5.08), being considered suitable for testing on real patients in the future.
Keywords: Physiotherapy; Parkinson Disease; Virtual Reality; Rehabilitation;

1. INTRODUÇÃO

Segundo Rieder (2016), entre as doenças crônicas neurodegenerativas, a de Parkinson (DP) é a segunda doença mais comum depois do Alzheimer, sendo mais comum em homens do que em mulheres, na proporção de 1,5 homens para cada 1 mulher. A DP é caracterizada por tremores, bradicinesia, rigidez, perda de reflexo postural e problemas de marcha, não sendo considerada apenas uma síndrome clínica, mas sim um diagnóstico patológico que associa os sintomas e sinais clínicos aos achados patológicos característicos na autópsia do cérebro, mostrando perda de neurônios dopaminérgicos da substância negra (BATLA, 2018). Como consequência da perda de neurônios, os pacientes com DP poderão ter alterações de diversas funções motoras e não motoras (RIEDER, 2016).

Embora não exista cura para a DP, ela tem diversos e eficientes tratamentos, que podem auxiliar no dia a dia, trazendo mais qualidade de vida ao paciente. Os principais tipos de tratamento são: medicamentoso, cirúrgico e tratamentos complementares como a fisioterapia, terapia ocupacional, fonoaudiologia e psicologia (NIH, 2022; PFIZER, 2022).

Dentro deste contexto, a fisioterapia, vêm se mostrando, segundo Souza *et al* (2020), um elemento cada vez mais eficaz no tratamento das disfunções da DP, por isso, é importante ser iniciada já nas fases iniciais da doença, pois ajuda a minimizar e retardar a sua evolução, melhorando a qualidade de vida e a funcionalidade dos pacientes. Além disso, o tratamento por fisioterapia possui efeitos benéficos uma vez que, se utiliza da prática de exercícios, ajudando a manter ou recuperar funções afetadas ou perdidas com a progressão das manifestações clínicas. Radder *et al*. (2020) afirmam que existem vários tipos de tratamentos convencionais aplicados em sessões de fisioterapia, sendo algumas delas, o treinamento de resistência, treinamento em esteira, dança, artes marciais, exercícios aeróbicos, hidroterapia, equilíbrio e treinamento de marcha, exercícios de dupla tarefa, gameterapia e *Nordic Walking*. No entanto, segundo Balista (2013), esses tipos de tratamentos fisioterapêuticos convencionais são, na sua maioria, de longa duração e repetitivos, logo, são percebidos pelo paciente como algo cansativo e desestimulante, percepção essa que interfere na eficácia terapêutica.

Diante disso, novas tecnologias vêm surgindo como alternativas para ajudar com essas dificuldades e ampliar as possibilidades e a eficácia das técnicas de reabilitação. Dentre essas tecnologias, tem-se a Realidade Virtual (RV). Lohse *et al*. (2014) afirmam que terapias com RV, além de atraente, podem providenciar aos pacientes e terapeutas, feedback adicionais durante a terapia, além de aumentar a motivação e engajamento do paciente, bem como, permitir ajustar, dinamicamente, a dificuldade da terapia para cada paciente.

Kashif *et al*. (2022) desenvolveram um estudo que verificou uma melhora nas atividades motoras, no equilíbrio e nas tarefas cotidianas de 20 pacientes com DP, fazendo uso de jogos prontos do videogame Wii, tais como o Wii Sport e o Wii Balance. Esses resultados foram obtidos a partir dos dados coletados durante o experimento e analisados usando a segunda e terceira parte da Escala Unificada de Avaliação da Doença de Parkinson (UPDRS), Escala de Equilíbrio de Berg (BBS), e *Activities-specific Balance Confidence* (ABC). Feng *et al*. (2019) demonstraram em sua pesquisa, melhoras nas atividades de equilíbrio e de marcha, em 28 pacientes com DP, sendo selecionados 14 pacientes como grupo experimental. Neste estudo, os dados foram analisados usando a Escala de Equilíbrio de Berg (BBS), *Timed Up and Go Test* (TUGT), Terceira Parte da Escala Unificada de Avaliação da Doença de Parkinson (UPDRS), e *Functional Gait Assessment* (FGA).

Apesar dos benefícios já comprovados em alguns estudos, existem alguns empecilhos para a implementação da realidade virtual no tratamento para pacientes com Parkinson, como a falta de aplicações totalmente customizadas e adaptadas, especificamente, para auxiliar pacientes com DP, já que na maioria das vezes são utilizados jogos prontos que não foram projetados com a finalidade de auxiliar no tratamento de pacientes com DP. Diante do exposto, este trabalho apresenta um aplicativo computacional, denominado ParkinsonVR, que faz uso de ambientes e avatares virtuais tridimensionais customizados em realidade virtual, voltados a exercícios controlados de fisioterapia para auxiliar no tratamento de pacientes com DP. Os ambientes e avatares virtuais foram desenvolvidos para serem executados, individualmente, por profissionais da área de fisioterapia e monitores cursistas em fisioterapia, fazendo uso de uma interface simples e intuitiva. Vale ressaltar que por meio deste aplicativo é possível capturar os movimentos, em tempo real, de um usuário visando criar exercícios customizados ou rastrear seus movimentos durante a execução de uma sessão de fisioterapia. No entanto, testes com pacientes reais não foram aplicados nesta fase do projeto e serão realizados em trabalhos futuros.

Dentre as principais contribuições deste projeto pode-se citar:

- Aplicação de RV voltada para o auxílio exercícios controlados em tratamentos fisioterapêuticos para pacientes com DP;
- Ambientes virtuais tridimensionais interativos focados em fácil usabilidade para profissionais da área.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma: na seção 2 são apresentados trabalhos relacionados a esse assunto; Na Seção 3 é apresentada a ferramenta ParkinsonVR, incluindo sua arquitetura geral e funcionalidades essenciais; Na Seção 4 é demonstrado o teste de usabilidade realizado, bem como os resultados obtidos; e finalmente, as considerações finais deste trabalho são discutidas na seção 5.

2. TRABALHOS RELACIONADOS

A metodologia utilizada para o levantamento dos trabalhos relacionados, seguiu a revisão sistemática de literatura (RSL) indicada por Boland, Cherry e Dickson (2013). Para este trabalho, foram feitas pesquisas relacionadas aos temas: realidade virtual na fisioterapia e reabilitação de pacientes com DP, utilizando a seguinte lógica de busca (LB): LB ("*Physiotherapy*" AND "*Virtual Reality*" AND "*Parkinson Disease*" AND "*Rehabilitation*"). Esta lógica de busca foi aplicada nas revistas científicas ACM Digital Library, Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), CAPES, IEEE Xplore, PubMed e *ScienceDirect*, priorizando trabalhos desenvolvidos entre 2017 a 2023.

Após as buscas, foram encontrados 107 trabalhos relacionados. Esses artigos passaram por um processo de triagem, sendo eliminados trabalhos que não atendiam aos seguintes critérios informados:

- Tipo de aplicação (jogo ou aplicativo): dentro do contexto educacional, visando identificar quesitos que possam ser mais motivacionais e engajadores para o paciente. Para ser classificado como jogo deveria conter características bem significantes, como pontuação, fases, níveis de dificuldades, entre outros. Para ser classificado como aplicativo, deve ser parecido com uma simulação ou uma atividade rotineira, sem algo lúdico ou gamificado;
- Dispositivo de Realidade Virtual (DRV) utilizado: mais utilizados, visando identificar as tendências, opções viáveis e que possam ser aplicados nesta pesquisa;
- Ferramentas de desenvolvimento utilizadas (opcional); Tecnologias para o desenvolvimento do jogo ou do aplicativo, destacando as mais utilizadas e quais obtiveram melhores resultados que possam ser aplicados no contexto da realidade virtual;
- Membros Trabalhados: destacados os tipos de membros que foram foco dos trabalhos realizados, classificando-os em Superiores (Mãos e Braços), Inferiores (Pés e Pernas), Equilíbrio e Ambos (Inferiores e Superiores);
- Dispositivos de Captura de Movimentos (DCM): dispositivos que possuem a finalidade de capturar os movimentos ou sensores que registram tais os movimentos realizados;
- Resultados obtidos nos trabalhos selecionados, uma vez que estes são importantes na pesquisa e dita se o jogo ou aplicativo foi eficiente frente ao problema encontrado. Os resultados encontrados foram classificados como satisfatório, caso tenha atingido o objetivo proposto, ou com ressalvas, caso algum problema tenha sido detectado;

Do total de 107 trabalhos triados, 89 deles não atenderam a pelo menos um dos critérios estabelecidos e foram removidos, sobrando assim 18 trabalhos, cerca de 20,33% do total, que foram selecionados e utilizados como estudo primário. Após isso, com base nos critérios definidos no processo de triagem, foram comparados cada um dos estudos primários com a proposta deste trabalho e estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Comparação entre os trabalhos relacionados e a proposta deste trabalho.

AUTORES	Tipo Aplicação	DCM	DRV	Ferramenta desenvolvimento	Membros trabalhados	Resultados
Amprimo *et al*. (2022)	Jogo	Microsoft Kinect	Monitor de vídeo.	Unity 3D	Ambos	Com ressalvas

Campo-Prieto, Cancela-Carral, Rodríguez-Fuentes. (2022)	Jogo	HMD Oculus Quest 2 controllers	HMD Oculus Quest 2	Unity 3D	Ambos	Satisfatório
Cikajlo, Potisk. (2019)	Aplicativo	Leap Motion	Oculus Rift CV1	Unity 3D	Superiores	Satisfatório
Ferraz *et al*. (2018)	Jogo	Microsoft Kinct	Monitor de vídeo	jogos prontos	Inferiores	Satisfatório
Gandolfi *et al*. (2017)	Jogo	Wii Remote, Wii Balance, Board	Monitor de vídeo	jogos prontos	Equilíbrio (Ambos)	Com ressalvas
Grammatikopoulou *et al*. (2019)	Jogo	Microsoft Kinect	Projeção na parede	Unity 3D	Superiores	Satisfatório
Henrique, Colussi, Marchi. (2019)	Jogo	Microsoft Kinect	Projeção na parede	Unity 3D	Superiores	Satisfatório
Kashif *et al*. (2022)	Jogo	Wii Remote, Wii Balance Board	Projeção na parede	jogos prontos	Ambos	Satisfatório
Kim, Darakjian, Finley. (2017)	Aplicativo	Vizard WorldViz PPT	Oculus Rift DK2	Sketchup	Inferiores	Satisfatório
Maranesi *et al*. (2022)	Jogo	Tymo System	Monitor de vídeo	Não informado	Ambos	Satisfatório
Mohammadi *et al*. (2018)	Aplicativo	Vicon optical tracking system, HTC Vive Control	HTC Vive	Unity 3D	Superiores	Insatisfatório
Moura *et al*. (2021)	Aplicativo	Microsoft Kinect	Projeção na parede	Unity 3D	Superiores	Satisfatório
Nuic *et a*l. (2018)	Jogo	Microsoft Kinect	Monitor de vídeo	Não informado	Ambos	Satisfatório
O'Neil *et al*. (2018)	Jogo	Microsoft Kinect, Leap Motion, Intel RealSense	Projeção na parede	Não informado	Equilíbrio (Ambos)	Com ressalvas
Pachoulakis, Papadoulos, Nikolaos. (2018)	Jogo	Microsoft Kinect	Monitor de vídeo	Unity 3D	Superiores	Inconclusivo
Pazzaglia *et al*. (2020)	Aplicativo	Infrared Video Camera	Projeção na parede	Não informado	Ambos	Satisfatório
Santos *et al*. (2019)	Jogo	Wii Balance Board	Projeção na parede	jogos prontos	Ambos	Satisfatório
Silva *et al*. (2017)	Jogo	Microsoft Kinect	Monitor de vídeo.	Jogos prontos	Ambos	Com ressalvas

Este trabalho	Jogo	Webcam	Projeção na parede monitores de vídeo	Unity 3D	Ambos	*Vide seção 4*

Fonte: Os autores.

Com base nos dados levantados, apresentados na Tabela 1, foi possível observar algumas tendências e direções que vêm sendo seguidas pelos pesquisadores: 72,2% dos trabalhos (13 trabalhos) utilizam o estilo de jogo; 50% dos trabalhos (9 trabalhos) utilizaram o Kinect da Microsoft como DCM; para DVR, nota-se a ausência deles na maioria dos trabalhos, ao invés disso, há um empate de 38,89% (7 trabalhos) entre dispositivos de projeção em parede ou monitores de vídeo; 44,44% dos trabalhos (8 trabalhos) utilizou o Unity 3D como ferramenta de desenvolvimento; 44,44% dos trabalhos deram foco em ambos membros superiores e membros inferiores como membros trabalhados; 66,67% dos trabalhos (12 trabalhos) obtiveram resultados satisfatórios. Além disso, os resultados obtidos nos trabalhos são motivacionais e indicam a importância do desenvolvimento de soluções que possam contribuir dentro do contexto da fisioterapia e reabilitação de pacientes com DP.

Diante disso, algumas decisões de projeto foram tomadas visando direcionar o desenvolvimento deste trabalho: a abordagem escolhida foi no estilo de jogo; para o DCM será utilizado câmera de vídeo e algoritmos de captura de movimentos, uma vez que o Kinect da Microsoft está em desuso; não será utilizado DRV imersivos, ao invés disso, o ambiente virtual será apresentado em um monitor de vídeo (TV) facilitando o processo de visualização; o unity 3D será utilizada para o desenvolvimento e para a criação dos ambientes virtuais, em conjunto com a linguagens C#; os membros a serem trabalhados nos exercícios serão os membros superiores e inferiores, com foco nos membros superiores.

3. PARKINSONVR

Esta seção apresenta a metodologia utilizada no desenvolvimento do aplicativo que visa auxiliar na reabilitação de pacientes com DP, fazendo uso de ambientes e avatares virtuais tridimensionais, bem como, da captura dos movimentos reais dos pacientes durante as sessões fisioterapêuticas, sendo estas, compostas pela seleção de um conjunto variado de exercícios pré-cadastrados pelos próprios fisioterapeutas. O desenvolvimento foi pautado na experiência acadêmica e profissional dos pesquisadores envolvidos, bem como, nos métodos utilizados na clínica da faculdade de fisioterapia da Universidade do Oeste Paulista.

Na seção 3.1 é apresentado em maiores detalhes as funcionalidades e requisitos utilizados no desenvolvimento do aplicativo, bem como, na seção 3.2 é apresentada a arquitetura do sistema, na seção 3.3 é discutida as interfaces 2D e 3D, na seção 3.4 é detalhado o processo de captura e rastreamento.

3.1 Requisitos Essenciais

Para o desenvolvimento deste projeto, foram realizadas várias reuniões com os pesquisadores envolvidos visando definir quais seriam os requisitos essenciais que iriam nortear o desenvolvimento das funcionalidades básicas, dos exercícios específicos para Parkinson, das fichas de avaliação, bem como, os ambientes e avatares virtuais. Os requisitos selecionados são:

- Gerenciamento de Profissionais: realizar gerenciamento de usuários do sistema como cadastrar, editar e excluir, bem como qual o tipo de acesso do usuário no sistema. O ParkinsonVR possui usuários do tipo administrador e não administrador, sendo que os usuários do tipo administrador possuem total acesso ao sistema, e podem realizar cadastros e modificações críticas, sem passar pela aprovação de um outro profissional. Já um usuário não administrador tem certos limites de acesso no sistema, e não podem realizar cadastros ou modificações críticas no sistema, sendo que cada ação realizada em uma área liberada no sistema para este tipo de usuário, esta deverá passar pela aprovação de um outro fisioterapeuta profissional que seja do tipo administrador;
- Gerenciamento de Pacientes: realizar gerenciamento de pacientes no sistema como cadastrar, editar e excluir. Um usuário Paciente não terá acesso direto aos dados cadastrais da aplicação. Seu uso estará limitado à devida execução de uma sessão, sob o acompanhamento de um Monitor. Todos

os dados básicos necessários para cadastrar um paciente foram definidos em reuniões realizadas com as coorientadoras do projeto;

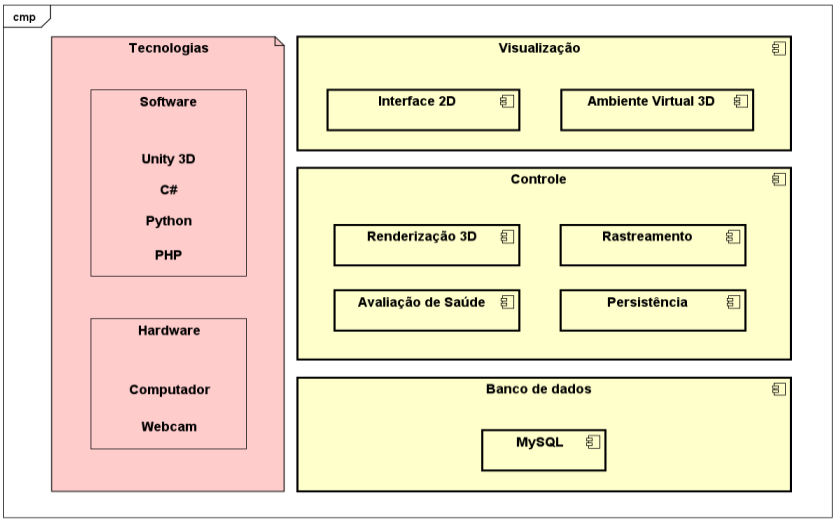
- Gerenciamento de Fichas de Avaliação Neurofuncional: realizar o gerenciamento (CRUD - *Create* (criar), *Read* (ler), *Update* (atualizar) e *delete* (apagar)) das fichas de avaliação neurofuncional. Esta ficha é um recurso utilizado durante a avaliação dos pacientes neurológicos para avaliar o nível de função deste paciente. Assim como os dados básicos, todos os dados necessários para cadastrar uma ficha de avaliação neurofuncional de um paciente, foram definidos em reuniões realizadas com as coorientadoras do projeto. Mais detalhes na seção 3.4.2;
- Gerenciamento de Fichas de Evolução: realizar o gerenciamento (CRUD - *Create* (criar), *Read* (ler), *Update* (atualizar) e *delete* (apagar)) das fichas de evolução onde estão relacionadas as informações observadas nos exercícios realizados pelo paciente. Esta ficha possui informações da data de realização da sessão, seguida de todos os exercícios e recursos fisioterapêuticos realizados com o paciente neste dia de tratamento;
- Criação de Exercícios de Fisioterapia: o exercício físico é gerado a partir da captura e do rastreamento dos movimentos do usuário capturadas por uma câmera de vídeo, em tempo real. Os exercícios também podem ser criados a partir de vídeos pré-gravados. Cada exercício é classificado segundo os estágios da Escala Hoehn e Yahr, apresentada em Fahn e Elton (1987), visando direcionar os exercícios corretos para cada tipo de paciente;
- Montagem e Execução de uma Sessão de Fisioterapia: possibilita a criação e execução de uma sessão de fisioterapia para um paciente, consistida por um ou vários exercícios virtuais disponíveis, bem como, um cenário virtual onde irá ocorrer a simulação. Após a criação, esta sessão pode ser salva para uso futuro ou ser executada para o paciente.
-

3.2 Arquitetura ParkinsonVR

Na Figura 1 é apresentada uma visão geral da arquitetura do aplicativo ParkisonVR e seus módulos principais conforme o diagrama de componentes da UML, sendo eles:

- Módulo Visualização: responsável pela interação do usuário com o aplicativo, via interface 2D e ambientes virtuais 3D. Este módulo está detalhado na seção 3.1;
- Módulo Controle é responsável por gerir as funções do sistema, com os submódulos renderização 3D, rastreamento, avaliação de saúde e persistência (os dados são persistidos no banco de dados via API (*Application Programming Interface*), que realizam as gravações ou recuperações de informações, de ou para o banco de dados, oriundas do módulo de visualização). A seção 3.2 apresenta maiores detalhes deste módulo;
- Módulo de Banco de Dados (*Database*): O banco de dados por meio da persistência (submódulo do Controle), armazena os dados gerados pelas interfaces de cadastros e execução de sessão do sistema.
-

Figura 1. Arquitetura do Projeto.



Fonte: Os autores.

- Tecnologia de software para o desenvolvimento (interface, menus e ambientes virtuais): foi utilizada a engine Unity3D para modelagem dos ambientes virtuais, a linguagem de programação C# e o banco de dados MySQL. Além disso, foi utilizada a linguagem Python para realizar o rastreamento do corpo do paciente e PHP para realizar as requisições ao banco de dados. Foi utilizado um computador Dell XPS 8920, Windows 10, processador Intel i7, 16GB de memória RAM, placa de vídeo NVIDIA GTX 1070 e SSD de 256GB, bem como uma câmera de vídeo Microsoft HD.

3.3 Módulo de Visualização

Este módulo é responsável pela interação do usuário com o aplicativo, sendo constituído pelos submódulos: interfaces 2D e ambiente virtual 3D. Por meio da interface 2D, estão disponíveis as funcionalidades básicas como os cadastros (Fisioterapeutas e Pacientes), consultas, alterações, ficha de avaliação neurofuncional e ficha de evolução. Além de uma interface inicial (Home) e das interfaces de montagem e execução de uma sessão fisioterapêutica para os pacientes. Outra funcionalidade disponível é a de criação de exercícios personalizados, por onde o fisioterapeuta pode criar exercícios antes da montagem de sessão.

Uma sessão fisioterapêutica é constituída pelo paciente, fisioterapeuta responsável e por um conjunto específico de exercícios selecionados. Os exercícios disponíveis são customizados para cada paciente, sendo categorizado a partir da Escala Hoehn e Yahr (será mostrado em mais detalhes na seção 3.4.2). A Figura 2a apresenta a interface onde são selecionados os exercícios físicos a serem executados, assim com um avatar guia 3D, simulando o movimento do exercício.

A aplicação disponibiliza duas interfaces para a execução da sessão (ambiente 3D), sendo uma para o fisioterapeuta (Figura 2b) onde estão presentes botões de controle da sessão: iniciar, pausar, configurações, repetir ou seguir para o próximo exercício. Na segunda interface, a do paciente (Figura 2c), estão disponíveis o ambiente virtual com o avatar mapeado com o rastreamento dos movimentos em tempo real do paciente e um avatar guia (realizando os exercícios selecionados) posicionado no canto inferior direito da tela. O fisioterapeuta e o paciente podem visualizar qual exercício está sendo executado e acompanhar o avatar mapeado em tempo real, sendo este, um grande motivo para que os pacientes não se sintam sozinhos e/ou desmotivados.

Figura 2. a) Interface de criação de sessão b) Sessão em execução do ponto de vista do fisioterapeuta c) Sessão em execução do ponto de vista do paciente

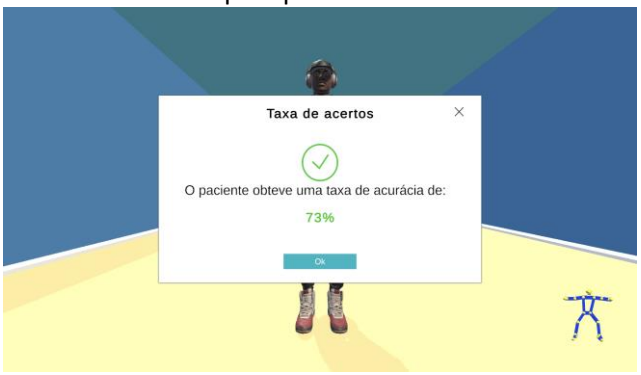


(a) **(b)** **(c)**

Fonte: Os autores.

Além disso, durante a execução da sessão, o rastreamento dos movimentos em tempo real do paciente e do avatar guia são comparados visando quantificar a acurácia do exercício proposto, ou seja, é realizada uma comparação entre os movimentos realizados pelo paciente e do avatar guia, gerando, ao final, uma porcentagem de acerto do exercício. Na Figura 3 é apresentada um exemplo destacando a porcentagem de 73% de acerto do paciente. Vale ressaltar que esses dados são gravados visando análise futura pelo fisioterapeuta do histórico de evolução.

Figura 3. Porcentagem de acerto no exercício pelo paciente.



Fonte: Os autores.

Durante a execução ou após o final de uma sessão, é possível acessar, a partir da interface do fisioterapeuta, a ficha de evolução do paciente visando registrar as informações obtidas durante a sessão.

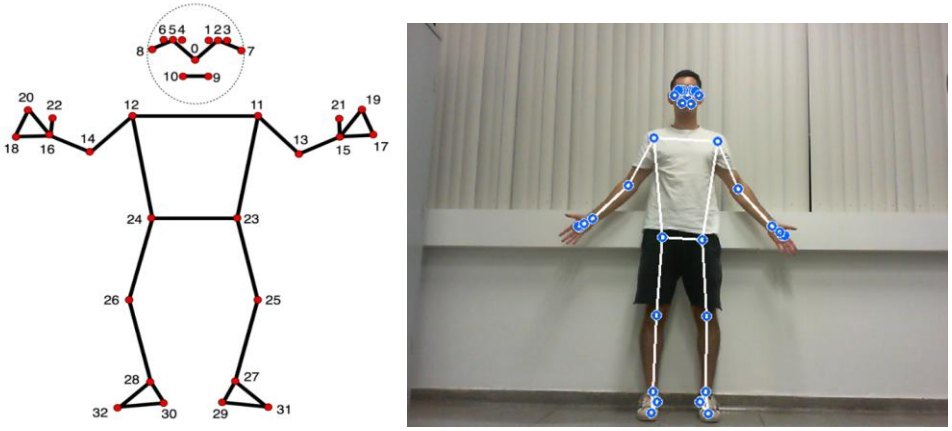
3.4 Módulo de Controle

O módulo de Controle é responsável por gerir as funções do sistema e fazer a ligação entre a visualização e o banco de dados via persistência, sendo constituídos dos seguintes submódulos: Rastreamento (seção 3.4.1) e Avaliação de saúde (seção 3.4.2).

3.4.1 Rastreamento

O processo de rastreamento do corpo do paciente em tempo real é realizado a partir de um servidor criado em Python. Para isso foi utilizado as bibliotecas OpenCV (*Open Source Computer Vision Library*) de visão computacional e aprendizado de máquina de código aberto (OpenCV, 2023) e o MediaPipe que oferece um conjunto de bibliotecas, soluções e ferramentas para que você possa aplicar rapidamente técnicas de inteligência artificial (IA) e aprendizado de máquina (ML) em suas aplicações (MEDIAPIPE, 2023). Dentro dessas soluções disponíveis no MediaPipe, tem-se a *Pose Detector* (Detecção de pose), que combinado com a biblioteca do OpenCV, permitiu ter como entrada uma imagem ou frame de uma webcam visando aplicar a detecção de pose neste frame. A deteção de pose é aplicada em um exoesqueleto sobre a pessoa detectada dentro do frame de entrada, sendo este constituído por 33 pontos chaves (*Landmarks*), que são mapeados pela IA da solução do MediaPipe. A Figura 4 indica onde é aplicado cada um dos 33 pontos chaves sobre um corpo humano (Figura 4a) e o resultado da imagem de saída após realizado o rastreamento a partir de uma webcam (Figura 4b).

Figura 4. a) Modelo da detecção de pose do MediaPipe com os 33 pontos chaves (Landmarks). b) Imagem de saída da webcam, sendo aplicada a solução de detecção de pose.



(a) **(b)**

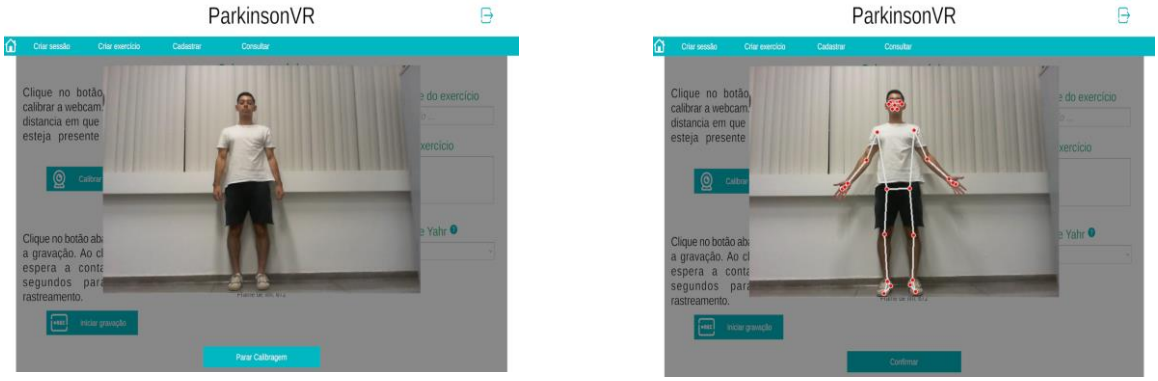
Fonte: Os autores. 4a (MediaPipe, 2023); 4b (Os autores).

Além das soluções de rastreamento, foi utilizado sockets para a realização de comunicação bidirecional, em tempo real, entre cliente (frontend) e servidor (backend). Essa implementação foi utilizada

para a interação entre as interfaces 2D executando um ambiente do Unity 3D (Cliente) com o servidor escrito em Python. Esta comunicação é utilizada durante o processo de criação dos exercícios, onde são enviadas mensagens ao servidor para iniciar ou não a captura da webcam e durante a execução da sessão.

O processo de criação de exercícios se inicia realizando a calibragem de distância que o paciente ficará da webcam. Para isto, a aplicação envia uma mensagem ("*Start calibrating*") ao servidor, para que este possa ativar a webcam, capturar o frame, codificar este frame em vetor de Bytes e enviar de volta à aplicação para poder exibir na interface (Figura 5a). Após calibrada a distância, poderá realizar a gravação do exercício, onde a aplicação envia uma mensagem ("Start recording") ao servidor, e este realiza o mesmo processo de captura e codificação do frame, porém adicionando o exoesqueleto do MediaPipe aplicado sobre o corpo ao frame (Figura 5b). Depois de gravado o movimento do exercício, este poderá ser visualizado e customizado, sendo possível recortar partes indesejadas a partir dos componentes de *Sliders*, além de dar um nome ao exercício, escrever uma breve descrição do mesmo e informar qual o estágio da Escala Hoehn e Yahr (Figura 5c). Ao final deste processo, ao clicar no botão "Confirmar", é gerada a animação do exercício em um arquivo TXT, sendo informado o posicionamento dos 33 pontos chave em cada frame da gravação.

Figura 5. a) Parte de calibragem de distância, sem o exoesqueleto b) Parte de gravação do movimento do exercício, com o exoesqueleto c) Visualização do movimento que foi gravado.



(a) **(b)**



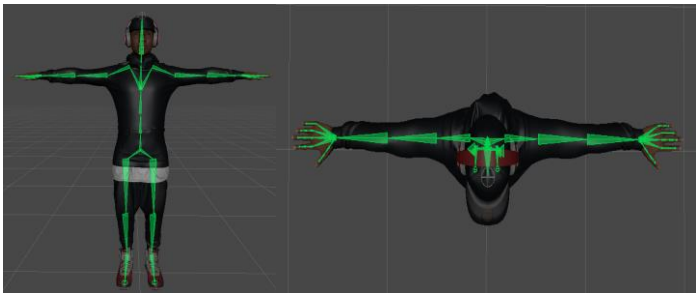
(c)

Fonte: Os autores.

Durante a execução de uma sessão fisioterapêutica, a aplicação envia uma mensagem ao servidor, para iniciar a captura e rastreamento do corpo. A diferença está no retorno do servidor, sendo que neste caso não retorna o frame da webcam com o exoesqueleto aplicado, mas apenas uma mensagem com o

posicionamento dos 33 pontos chave dentro daquele frame. A aplicação recebe esta mensagem e realiza o mapeamento desses pontos chaves em um avatar compatível, onde este é um avatar que tenha disponível uma hierarquia de objetos (similar ao exoesqueleto) referentes a cada parte de um corpo humano (Figuras 6a e 6b), para poder realizar o mapeamento de forma adequada aplicando cada um dos 33 pontos chaves geradas pelo MediaPipe neste avatar.

Figura 6. a) Hierarquia de objetos do avatar do ponto de vista de frente. b) Hierarquia de objetos do avatar do ponto de vista de cima.



(a) **(b)**

Fonte: Os autores.

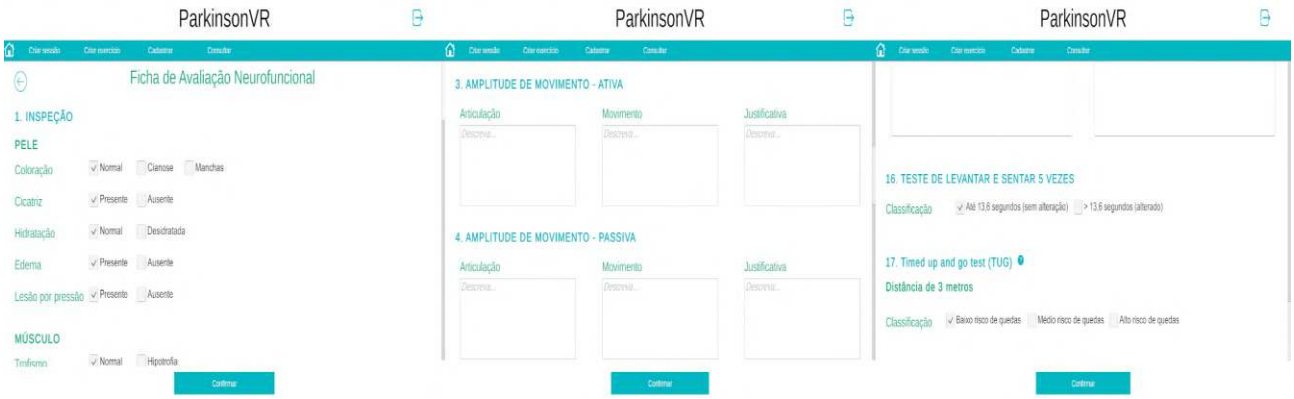
Estes avatares possuem 65 objetos simulando o corpo humano (Cabeça, Coluna, Braços, Pernas e Dedos), enquanto o exoesqueleto do MediaPipe gera 33 pontos, assim, o mapeamento é feito descartando os objetos adicionais do avatar e aplicando o posicionamento dos pontos apenas sobre os objetos necessários.

3.4.2 Avaliação de Saúde

O módulo de Avaliação de saúde é constituído por uma ficha de avaliação com itens da propedêutica neurológica do paciente adulto, além da Escala de estadiamento da doença de Parkinson, Hoehn e Yahr.

A avaliação pautada na propedêutica neurológica contou com a anamnese, exame físico e neurológico do paciente. A avaliação é realizada na primeira sessão e a reavaliação ocorre de acordo com a evolução do paciente. Nesta ficha são coletados dados como inspeção de pele, inspeção de músculo, descrição da amplitude de movimento ativa e passiva, teste de levantar e sentar, teste Timed Up and Go (TUG) entre outros, que são essenciais para a seleção do tratamento adequado para aquele paciente e realização do tratamento, pois permite que os objetivos sejam traçados de forma individualizada para as necessidades de cada paciente. Dentro do aplicativo, esta ficha é disponibilizada na área de cadastro do paciente, sendo possível realizar o no mesmo momento do cadastro do paciente ou posteriormente. Na Figura 7 são apresentados detalhes desta ficha.

Figura 7. Ficha de Avaliação Neurofuncional.

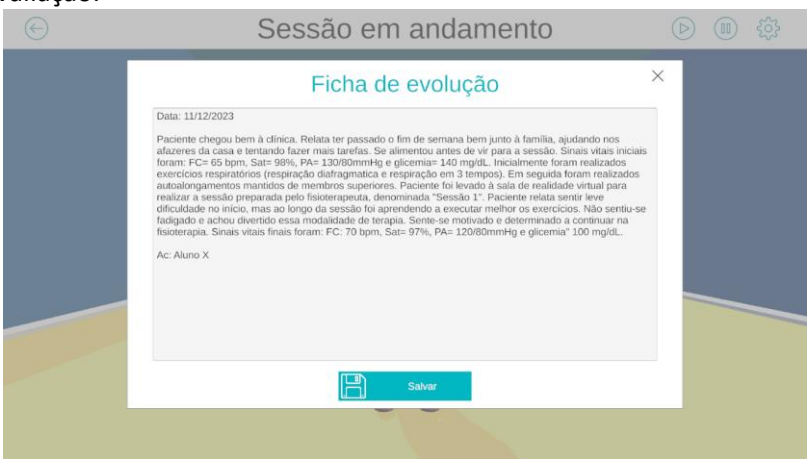


Fonte: Os autores.

A ficha de evolução é utilizada em todas as sessões de fisioterapia do paciente, desde sua primeira avaliação até sua alta. Ela serve como um documento, no qual são descritos como o paciente estava (sinais

vitais, humor, colaborativo ou não) e o que foi realizado durante a sessão naquela data, como exercícios executados e recursos terapêuticos utilizados, também podendo conter se o paciente teve ou não dificuldade no decorrer do atendimento. Como se pode ver na Figura 8, a descrição deve ser de forma técnica e de fácil compreensão para os outros profissionais que possam vir a ler o documento.

Figura 8. Ficha de Avaliação.



Fonte: Os autores.

A Escala de Estágios de Incapacidade de Hoehn e Yahr (HY – Degree of Disability Scale) é uma escala de avaliação da incapacidade dos indivíduos com DP capaz de indicar seu estado geral de forma rápida e prática. Sua forma modificada compreende sete estágios de classificação para avaliar a gravidade da DP e abrange, essencialmente, medidas globais de sinais e sintomas que permitem classificar o indivíduo quanto ao nível de incapacidade. Os indivíduos classificados nos estágios de 1 a 3 apresentam incapacidade leve a moderada, enquanto os que estão nos estágios 4 e 5 apresentam incapacidade grave (Mello e Botelho, 2010). Na Figura 9 é mostrado um material que foi recebido pelas fisioterapeutas presentes neste projeto, contendo sete estágios e suas descrições.

Figura 9. Tabela da Escala de Estadiamento da DP modificada de Hoehn e Yahr Modificada.

Estágio 0	Nenhum sinal da doença;
Estágio 1	Doença Unilateral;
Estágio 1,5	Envolvimento unilateral e axial;
Estágio 2	Doença bilateral sem déficit de equilíbrio;
Estágio 2,5	Doença bilateral leve, com recuperação no teste de empurrão;
Estágio 3	Doença bilateral leve a moderada, alguma instabilidade postural, capacidade para viver de maneira independente;
Estágio 4	Incapacidade grave, ainda capaz de caminhar ou permanecer de pé sem ajuda;
Estágio 5	Confinado à cama ou cadeira de rodas a não ser que receba ajuda.

Fonte: (Fahn e Elton, 1987).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta o teste de usabilidade e resultados obtidos na avaliação do ParkinsonVR. A avaliação de usabilidade é uma maneira de verificar a relação entre usuários, tarefas, dispositivos, aplicativos, e outros aspectos em que os usuários fazem uso do software. Entre os vários métodos de avaliação existentes, foi escolhida para esse trabalho, a utilização de questionários. Para essa pesquisa, foi criado um questionário de modo a verificar a usabilidade da aplicação em diferentes aspectos. Esse questionário foi baseado na avaliação heurística de Nielsen e Molich (1990), um dos métodos de avaliação mais conhecidos para realizar a inspeção de usabilidade, além de ser um método que apresenta baixo custo. De acordo com eles, os melhores resultados para um teste de usabilidade vêm de pequenos testes com no máximo cinco usuários. Nielsen (1993) e Nielsen (1994) propuseram algumas heurísticas que foram utilizadas no questionário aplicado, avaliando dessa forma quesitos como design, facilidade de aprendizado e satisfação. Além desses autores, foi utilizado um Sistema de Escala de Usabilidade (SUS - *System Usability Scale*) proposto por Brooke (1995), que objetiva avaliar a satisfação, eficácia e eficiência da aplicação. Ao final do teste um questionário foi aplicado visando qualificar e quantificar esta usabilidade. Para as

questões foi adotada uma escala Likert (1932), sendo, 1 - discordo totalmente, 2 - discordo, 3 - não concordo nem discordo, 4 - concordo, 5 - concordo totalmente.

Para a avaliação, foi disponibilizada uma sala com internet, computadores, webcam e o ParkinsonVR. Em torno de 10 minutos, um moderador introduziu o tema da pesquisa e explicou o método de avaliação. Depois, por cerca de cinco minutos, os cinco avaliadores pesquisadores envolvidos no projeto responderam ao pré-teste. Com idade entre 26 e 51 anos, do sexo Feminino, graduados e pós-graduandos. Neste pré-teste, os avaliadores responderam duas perguntas onde afirmam a importância do uso de jogos/gamificação na fisioterapia de pacientes.

Após a resposta do questionário de pré-teste, o moderador apresentou o ParkinsonVR por 20 minutos e posteriormente, os avaliadores puderam experimentar as interfaces de cadastros e execuções de sessões por 30 minutos, fazendo uso de computadores. Depois da experiência dos avaliadores, todos responderam um questionário de pós-teste, durante cinco minutos, com 15 questões (todas as questões tiveram o mesmo peso).

Para apresentar os resultados obtidos, foi utilizada a média das respostas por pergunta, o seu desvio padrão e intervalo de confiança. O desvio padrão foi adotado visando expressar o grau de dispersão e a uniformidade do conjunto de dados obtidos nas respostas, indicando, o quanto as respostas estão distantes da média calculada. Outro item avaliado foi o intervalo de confiança, que se refere a uma quantidade enorme de valores, que conterá um valor de um parâmetro de uma amostra desconhecida, onde a base dessa amostra é a média populacional. Para o cálculo do intervalo de confiança, foram utilizados os seguintes parâmetros: nível de confiança de 95%, por ser uma média mais estreita e próxima a realidade, pois este fica no meio da curva entre 90% e 99% sendo a probabilidade do nível de confiança mais realística no espaço amostral. Além disso, o tamanho da amostra foi de cinco avaliadores e 15 questões para a média geral. Com um nível de confiança de 95% pode-se afirmar que, em 95% dos experimentos, o intervalo calculado incluirá o valor verdadeiro da média populacional.

Tabela 2. Questionário pós-teste, com as perguntas, médias, desvios padrão e intervalo de confiança

Questões e Heurística	Média Obtida	Desvio Padrão	Interv. de confiança
1. Para mim foi fácil entender como utilizar a aplicação e qual era o seu objetivo? Heurística: Facilidade de uso	5,0	0,00	[5,00;5,00]
2. Quando existiam mensagens na aplicação, a linguagem era entendida facilmente? Heurística: Prevenção de erros	5,0	0,00	[5,00;5,00]
3. A forma de interação, navegação e representação é compatível com o mundo real e/ou padronizados entre os usuários e outras aplicações. Heurística: Compatibilidade do sistema com o mundo real	4,4	0,89	[3,62;5,18]
4. Em nenhum momento eu me senti perdido na aplicação, sem saber o que fazer. Heurística: Visibilidade do status do sistema	4,4	0,55	[3,92;4,88]
5. O fato de a interface possuir visualização 2D (menus, botões, cadastros, ajuda, etc) e elementos 3D (como avatar executando exercícios) não gera confusão ao usuário. Heurística: Flexibilidade e Eficiência de uso	4,6	0,55	[4,12;5,08]
6. Os componentes (como botões de interação, menus, help, login, etc) foram posicionados de forma correta na aplicação. Heurística: Precisão	4,6	0,89	[3,82;5,38]
7. Eu sempre executava as mesmas ações para acionar as mesmas funcionalidades. Heurística: Consistência e padrões	5,0	0,00	[5,00;5,00]
8. Somente me foi apresentado na interface informações apropriadas, sem poluição visual. Heurística: Estética e design minimalista	4,6	0,55	[4,12;5,08]
9. O sistema disponibilizou um material de ajuda de uso (help). Heurística: Ajuda e Documentação	5,0	0,00	[5,00;5,00]

10. A sessão de ajuda foi útil e fácil de entender? Heurística: Ajuda e Documentação	4,8	0,45	[4,41;5,19]
11. O usuário tem liberdade/facilidade para navegar e interagir na aplicação como um todo. Heurística: Controle do usuário e liberdade	4,8	0,45	[4,41;5,19]
12. A interface foi projetada de tal forma que o usuário consegue utilizar a aplicação de forma fácil, ou seja, exige pouco treinamento. Heurística: Reconhecimento ao invés de relembrança	4,6	0,55	[4,12;5,08]
13. Foi uma experiência bastante agradável utilizar a aplicação. Heurística: Satisfação	5,0	0,00	[5,00;5,00]
14. Eu utilizaria novamente a aplicação, se fosse possível. Heurística: Satisfação	5,0	0,00	[5,00;5,00]
15. As funcionalidades do sistema atenderam os requisitos especificados? Heurística: Satisfação	4,8	0,45	[4,41;5,19]
Geral	**4,77**	**0,35**	**[4,46;5,08]**

Fonte: Os autores.

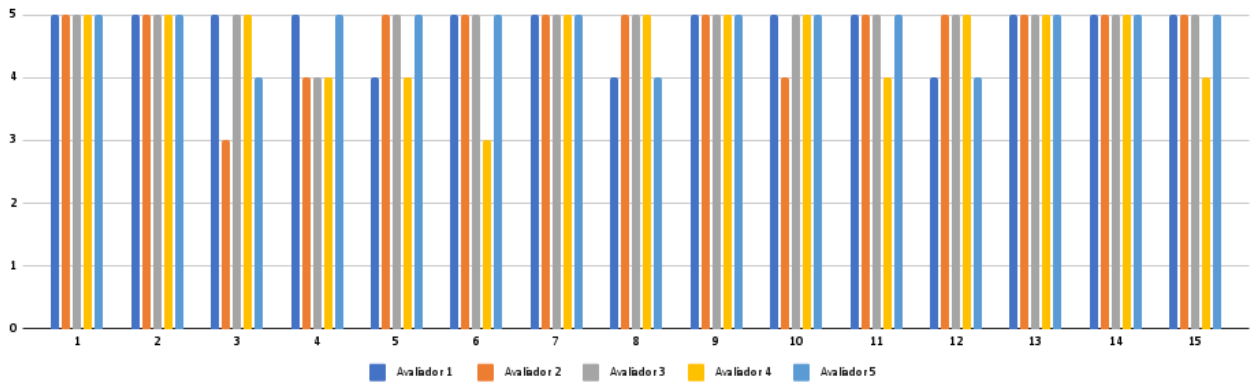
A ferramenta atingiu a média total de 4,77 (de 0 a 5), o que se pode considerar um bom resultado. O ponto de maior atenção foi o item 3 e 6 que trata da forma como as informações e componentes estão dispostas e localizadas sobre o sistema. Isso acontece, pois, a maioria dos usuários participantes do teste nunca utilizaram jogos de vídeo na área da saúde ou nunca utilizaram sistemas de Realidade Virtual.

Por outro lado, de forma positiva, os itens 1, 2, 7 e 9 receberam nota máxima, indicando que os participantes do teste conseguiram entender com facilidade como usar a aplicação, a forma como as mensagens eram geradas dentro da aplicação foi entendida, a aplicação apresentou uniformidade em relação às ações dos componentes e o material de ajuda como documentação esteve presente dentro da aplicação. Além desses itens, as questões 13 e 14 também receberam nota máxima, indicando que os participantes tiveram uma boa experiência ao utilizar a ferramenta.

A média do desvio padrão geral foi de 0,35, sobre uma média geral de 4,77, indicando um valor significativo, visto que, quanto mais próximo de 0.0, significa que este resultado é homogêneo, uniforme e próximo de uma situação real. Para uma média geral de 4,77 e um desvio padrão de 0,35, foi obtido um intervalo de confiança de 95% entre seus limites superior e inferior (4,46 e 5,08), com margem de erro de 0.15. Este intervalo de confiança médio, demonstra que, mesmo que façamos mais testes de usabilidades na ferramenta, a probabilidade de se encontrar a verdadeira média no intervalo é de 95%, ou seja, há uma grande confiança da média da aplicação se manter alta, independentemente da quantidade de avaliadores e testes.

Nas Figuras 10 são apresentadas as respostas de cada avaliador para cada questão do teste aplicado de usabilidade da ParkinsonVR.

Figura 10. Respostas dos Avaliadores para Questões de 1 a 15.



Fonte: Os autores.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio da avaliação da Usabilidade foi possível verificar que todos os usuários concordam totalmente que foi uma experiência bastante agradável ao utilizar o aplicativo ParkinsonVR. Durante o teste, foram discutidos possíveis melhorias na ferramenta para serem implementadas futuramente, como dados adicionais na hora de realizar o cadastro das fichas de avaliação neurofuncional, possibilidade de trabalhar com envio de arquivos através da ferramenta, realizar monitoramento de sinais vitais do paciente durante a execução, acrescentar mais algumas escalas para avaliar melhor nível da condição de saúde do paciente, melhorias no tipo de preenchimento do cadastro de paciente.

Como trabalho futuro, pretende-se aplicar todas essas melhorias e adições à ferramenta, mantendo o uso dos mesmos hardwares, porém com a possibilidade de uma transição de tecnologia com a finalidade de alcançar os objetivos da melhor forma possível e com melhor performance. Com isso, poderá passar novamente por uma avaliação com profissionais fisioterapeutas e analisar se o ParkinsonVR está apto a realizar testes em voluntários (fisioterapeutas ou alunos), e posteriormente como objetivo final, em pacientes reais.

REFERÊNCIAS

AMPRIMO, G. *et at*. Assessment Tasks and Virtual Exergames for Remote Monitoring of Parkinson's Disease: An Integrated Approach Based on Azure Kinect. 2022. **Sensors**, v. 22, n. 21, p. 8173, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/s22218173.

BALISTA, V. PhysioJoy: Sistema de Realidade Virtual para Avaliação e Reabilitação de Déficit Motor. *In*: SBGames, 12., 2013, São Paulo. **Proceedings** [...]. São Paulo: SBC, 2013. p. 16-19. Disponível em: http://www.sbgames.org/sbgames2013/proceedings/workshop/WorkshopVAR-6_Full.pdf. Acesso em: 24 nov. 2023.

BATLA, A. What Is and What Is Not Parkinson's Disease?. *In*: BATLA, A.; VIBHA, D. **Understanding Parkinsonism:** The Clinical Perspective. 1.ed. New Delhi, India: Jaypee Brothers Medical Publishers, 2018. DOI: https://doi.org/10.5005/jp/books/14125_2.

BOLAND, A.; CHERRY, G.; DICKSON, R. **Doing a systematic review:** A student's guide. 1. ed. Liverpool: Sage Publications, 2013. 240 p.

BROOKE, J. **SUS:** A "quick and dirty" usability scale. Usability Eval. Ind. 189. , 1995. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/2285 93520_SUS_A_quick_and_dirty_usability_scale. Acesso em: 20 nov. 2023.

CAMPO-PRIETO, P.; CANCELA-CARRAL, J.; RODRÍGUEZ-FUENTES, G. Wearable immersive virtual reality device for promoting physical activity in Parkinson's disease patients. **Sensors**, v. 22, n. 9, p. 3302, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/s22093302.

CIKAJLO, I.; POTISK, K. Advantages of using 3D virtual reality based training in persons with Parkinson's disease: a parallel study. **J Neuroeng Rehabil.**, v. 16, n. 1, p. 119, 2019. DOI: https://doi.org/10.1186/s12984-019-0601-1

FAHN, S.; ELTON, R; Members of the UPDRS Development Committee. The Unified Parkinson's Disease Rating Scale**.** 1987. *In*: FAHN, S.; MARSDEN, C.D.; CALNE, D.B.; GOLDSTEIN, M. (eds.). **Recent Developments in Parkinson's Disease**. [S. l.]: McMellam Health Care Information, Florham Park, 1987, v. 2, p. 153-163.

FENG, H. *et al*. Virtual Reality Rehabilitation Versus Conventional Physical Therapy for Improving Balance and Gait in Parkinson's Disease Patients: A Randomized Controlled Trial. **Med Sci Monit,** v. 25, p. 4186-4192, 2019. DOI: https://doi.org/10.12659/MSM.916455.

FERRAZ, D. D. *et al*. The Effects of Functional Training, Bicycle Exercise, and Exergaming on Walking Capacity of Elderly Patients With Parkinson Disease: A Pilot Randomized Controlled Single-blinded Trial. **Archives of physical medicine and rehabilitation**, v. 99, n. 5, p. 826-833, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apmr.2017.12.014

GANDOLFI, M. *et al*. Virtual Reality Telerehabilitation for Postural Instability in Parkinson's Disease: A Multicenter, Single-Blind, Randomized, Controlled Trial. **BioMed research international,** v. 2017, p. 7962826, 2017. DOI: https://doi.org/10.1155/2017/7962826.

GRAMMATIKOPOULOU, A. *et al*. Motion analysis of Parkinson diseased patients using a video game approach. *In*: ACM INTERNATIONAL CONFERENCE ON PERVASIVE TECHNOLOGIES RELATED TO ASSISTIVE ENVIRONMENTS (PETRA '19). 12., 2019, New York. **Proceedings** [...]. New York: Association for Computing Machinery, 2019, p. 523–527. DOI: https://doi.org/10.1145/3316782.3322757.

HENRIQUE, P.; COLUSSI, E.; MARCHI, A. Effects of Exergame on Patients' Balance and Upper Limb Motor Function after Stroke: A Randomized Controlled Trial. **Journal of stroke and cerebrovascular diseases** , v. 28, n. 8, p. 2351-2357, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2019.05.031.

KASHIF, M. *et al*. Combined effects of virtual reality techniques and motor imagery on balance, motor function and activities of daily living in patients with Parkinson's disease: a randomized controlled trial. **Epistemonikos**. 2022. Disponível em: https://www.epistemonikos.org/pt/documents/42be3cff73847c2483be06a1c89ffd8558583c77. Acesso em: 25 nov. 2023.

KIM, A.; DARAKJIAN, N.; FINLEY, J. Walking in fully immersive virtual environments: an evaluation of potential adverse effects in older adults and individuals with Parkinson's disease. **J Neuroeng Rehabil.** , n. 14, n. 1, p.1-12, 2017. DOI: https://doi.org/10.1186/s12984-017-0225-2

LIKERT, R. A Technique for the Measurement of Attitudes, no. 136-165. *In*: **A Technique for the Measurement of Attitudes, publisher not identified. Virginia:** Columbia university, 1932. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=9rotAAAAYAAJ. Acesso em: 20 nov. 2023.

LOHSE, K. R. *et al*. Virtual Reality Therapy for Adults Post-Stroke: A Systematic Review and MetaAnalysis Exploring Virtual Environments and Commercial Games in Therapy. **PloS one**, v. 9, n. 3, p. e93318, 2014. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093318

MARANESI, E. *et al*. The Effect of Non-Immersive Virtual Reality Exergames versus Traditional Physiotherapy in Parkinson's Disease Older Patients: Preliminary Results from a Randomized-Controlled Trial. **Int. J. Environ. Res**, v. 19, p. 14818**,** 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/ijerph192214818.

MEDIAPIPE. **Pose Landmark Detection Guide**. 2023. Disponível em: https://developers.google.com/mediapipe/solutions/vision/pose_landmarker. Acesso em: 11 dez. 2023.

MEDIAPIPE. **Solutions guide**. 2023. Disponível em: https://developers.google.com/mediapipe/solutions/guide. Acesso em: 11 dez. 2023.

MELLO, M.; BOTELHO, A. Correlação das escalas de avaliação utilizadas na doença de Parkinson com aplicabilidade na fisioterapia. **Fisioterapia em Movimento**, v. 23, n. 1, p. 121-127, 2010. DOI: https://doi.org/10.1590/S0103-51502010000010001223

MOHAMMADI, P. *et al*. Real-time Control of Whole-body Robot Motion and Trajectory Generation for Physiotherapeutic Juggling in VR. *In*: IEEE/RSJ INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT ROBOTS AND SYSTEMS (IROS), Madrid, Spain, 2018. **Anais** [...]. Madri: IEEE, 2018, p. 270-277. DOI: https://doi.org/10.1109/IROS.2018.8593632

MOURA, J. A. *et al*. Virtual functional mobility test: A potential novel tool for assessing mobility of individuals with Parkinson's disease in a multitask condition. **Journal of clinical neuroscience** v. 93, p. 17-22, 2021 Disponível em: DOI: https://doi.org/10.1016/j.jocn.2021.08.017

NIELSEN, J. **Heuristic Evaluation**, New York, NY: John Wiley & Sons, 1994.

NIELSEN, J. **Usability Engineering**, San Francisco, CA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1993.

NIELSEN, J.; MOLICH, R. Heuristic evaluation of user interfaces. *In*: THE SIGCHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS EMPOWERING PEOPLE - CHI '90, New York, NY, ACM, 1990 **Proceedings** [...]. New York 1990,p. 249-256. DOI: https://doi.org/10.1145/97243.97281

NIH - National Institute on Aging. **Parkinson 's Disease:** Causes, Symptoms, and Treatments. 2022. Disponível em: https://www.nia.nih.gov/health/parkinsons-disease. Acesso em: 20 nov. 2023.

NUIC, D. *et al*. The feasibility and positive effects of a customized videogame rehabilitation programme for freezing of gait and falls in Parkinson's disease patients: a pilot study. **Journal of neuroengineering and rehabilitation**, v.. 15, n. 1, p. 31, Apr. 2018. DOI: https://doi.org/10.1186/s12984-018-0375-x.

O'NEIL, O. *et al*. Virtual Reality for Neurorehabilitation: Insights From 3 European Clinics [published correction appears *in* PM R. 2018 Dec;10(12):1437]. **PM&R**, v. 10, n. 9 (Suppl 2), p.S198-S206, 2018 DOI: https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2018.08.375

OPENCV. **About**. 2023. Disponível em: https://opencv.org/about/. Acesso em: 11 dez. 2023.

PACHOULAKIS, I.; PAPADOULOS, N.; ANALYTI, A. Kinect-Based Exergames Tailored to Parkinson Patients. 2018. *In*: INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER GAMES TECHNOLOGY. HINDAWI, 2018. Volume 2018, Article ID 2618271, 14 pages DOI: https://doi.org/10.1155/2018/2618271

PAZZAGLIA, C. *et al*. Comparison of virtual reality rehabilitation and conventional rehabilitation in Parkinson's disease: a randomised controlled trial.**Physiotherapy**, v. 106 , n. 2020, p. 36-42, 2020.DOI: https://doi.org/10.1016/j.physio.2019.12.007

PFIZER. **Doença de Parkinson**. 2022. Disponível em: https://www.pfizer.com.br/noticias/ultimas-noticias/doenca-de-parkinson. Acesso em: 20 nov. 2022.

RADDER, D. L. M. *et al*. Physiotherapy in Parkinson's Disease: A Meta-Analysis of Present Treatment Modalities. **SAGE Journals**, v. 34, n. 10, 2020. DOI: https://doi.org/10.1177/154596832095.

RIEDER, C. R. M. Doença de Parkinson. *In*: TERRA, N. L. **Entendendo a doença de Parkinson:** informações para pacientes, familiares e cuidadores**.** 1.ed. Porto Alegre, RS: EDIPUCRS, 2016.

SANTOS, P. *et al*. Efficacy of the Nintendo Wii combination with Conventional Exercises in the rehabilitation of individuals with Parkinson's disease: A randomized clinical trial. **NeuroRehabilitation**, v. 45, n. 2, p. 255-263, 2019. DOI: https://doi.org/10.3233/NRE-192771.

SILVA, K. *et al*. Effects of virtual rehabilitation versus conventional physical therapy on postural control, gait, and cognition of patients with Parkinson's disease: study protocol for a randomized controlled feasibility trial. **Pilot Feasibility Stud**.,, v. 3, p. 68, 2017. . DOI: https://doi.org/10.1186/s40814-017-0210-3.

SOUZA, A. *et al*. A efetividade da fisioterapia nas disfunções cinético funcionais causadas pelo Parkinson. *In*: FERRARI, F. C. C. R. **Fisioterapia na atenção à saúde 3**. Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.09520170817.