

REALIDADE VIRTUAL NÃO IMERSIVA NA DOENÇA DE PARKINSON: EFEITOS SOBRE MARCHA, EQUILÍBRIO E MOBILIDADE FUNCIONAL

NON-IMMERSIVE VIRTUAL REALITY IN PARKINSON'S DISEASE: EFFECTS ON GAIT, BALANCE, AND FUNCTIONAL MOBILITY

REALIDAD VIRTUAL NO INMERSIVA EN LA ENFERMEDAD DE PARKINSON: EFECTOS SOBRE LA MARCHA, EL EQUILIBRIO Y LA MOVILIDAD FUNCIONAL

Gileno Edu Lameira de Melo¹, Jorge Farias de Oliveira², Jose Robertto Zaffalon Junior³, Láine Rocha Moreira⁴, Alesandra Negrete Cabreira⁵, Larici Keli Rocha Moreira⁶, Alex Sandro Negrete Cabreira⁷, Elton Pereira da Silva⁸, Tayane Moura Martins⁹, Cláudia Santos Oliveira¹⁰

DOI: 10.54899/dcs.v22i82.6895

Recibido: 02/09/2025 | Aceptado: 11/09/2025 | Publicación en línea: 30/09/2025.

RESUMO

A doença de Parkinson compromete progressivamente o controle postural, a marcha e a mobilidade funcional, tornando necessária a investigação de estratégias de reabilitação capazes de minimizar suas repercussões motoras e funcionais. Objetivou-se avaliar os efeitos do treinamento com realidade virtual não imersiva sobre a marcha, o equilíbrio e a mobilidade funcional de pessoas com doença de Parkinson, comparando-os aos obtidos com treinamento em esteira e treinamento convencional. Trata-se de ensaio clínico prospectivo, controlado e randomizado, envolvendo 37 participantes distribuídos em três grupos: controle (n=12), esteira (n=13) e realidade virtual (n=12). As intervenções foram realizadas três vezes por semana,

¹ Pós-Doutor em Ciências da Reabilitação, Universidade do Estado do Pará (UEPA), Altamira, Pará, Brasil.

E-mail: gileno.edu@uepa.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0349-0637>

² Mestre em Atividade Física e Saúde, Universidade do Estado do Pará (UEPA), Altamira, Pará, Brasil.

E-mail: jorge2farias@hotmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5897-3639>

³ Doutor em Ciências da Reabilitação, Universidade do Estado do Pará (UEPA), Altamira, Pará, Brasil.

E-mail: jrzafealon@uepa.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2045-8556>

⁴ Doutora em Educação, Universidade do Estado do Pará (UEPA), Altamira, Pará, Brasil.

E-mail: laine.rocha@uepa.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8347-7984>

⁵ Doutora em Ciências da Reabilitação, Universidade do Estado do Pará (UEPA), Altamira, Pará, Brasil.

E-mail: aleaandracabreira2009.0@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8543-6257>

⁶ Mestre em Educação Profissional e Tecnológica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará Altamira, Pará, Brasil. E-mail: larici.rocha@ifpa.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9565-9948>

⁷ Pós-Graduado em Educação, Universidade do Estado do Pará (UEPA), Santarém, Pará, Brasil.

E-mail: alexperiodizacao@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-5530-290X>

⁸ Pós-Graduado em Treinamento Desportivo, Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Santarém, Pará, Brasil.

E-mail: eltonsilvatm@yahoo.com.br Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-8104-6339>

⁹ Doutora em Educação, Universidade do Estado do Pará (UEPA), Altamira, Pará, Brasil.

E-mail: tayane.martins@uepa.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3236-8574>

Doutora em Ciências da Saúde, Universidade Evangélica de Goiás (UNIEVANGÉLICA), Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo (FCMSCSP), Anápolis, Goiás, Brasil.

E-mail: claudia.oliveira@unievangelica.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0009-0000-6453-2039>

durante quatro semanas, totalizando 12 sessões. Foram utilizadas escalas clínicas, o Timed Up and Go (TUG) instrumentado e análise da marcha por sensor inercial. Não foram identificadas interações significativas entre grupo e momento de avaliação. Entretanto, verificou-se efeito de grupo, com melhores resultados nos grupos esteira e realidade virtual para equilíbrio, velocidade da marcha, comprimento da passada e desempenho no TUG, além dos domínios mobilidade e cognição da qualidade de vida. Conclui-se que o treinamento com realidade virtual não imersiva apresentou resultados funcionais favoráveis e comparáveis ao treinamento em esteira, constituindo estratégia potencialmente útil à reabilitação de pessoas com doença de Parkinson.

Palavras-chave: Doença de Parkinson. Realidade Virtual. Marcha. Equilíbrio Postural. Mobilidade Funcional.

ABSTRACT

Parkinson's disease progressively impairs postural control, gait, and functional mobility, highlighting the need for rehabilitation strategies capable of minimizing its motor and functional consequences. This study aimed to evaluate the effects of non-immersive virtual reality training on gait, balance, and functional mobility in people with Parkinson's disease and to compare them with treadmill and conventional training. This prospective, controlled, randomized clinical trial included 37 participants allocated to three groups: control (n=12), treadmill (n=13), and virtual reality (n=12). Interventions were performed three times per week for four weeks, totaling 12 sessions. Clinical scales, the instrumented Timed Up and Go (TUG) test, and inertial sensor-based gait analysis were used for assessment. No significant group-by-assessment time interactions were identified. However, a group effect was observed, with better outcomes in the treadmill and virtual reality groups for balance, gait velocity, stride length, and TUG performance, as well as for the mobility and cognition domains of quality of life. Non-immersive virtual reality training therefore showed favorable functional outcomes comparable to treadmill training, suggesting that this technology may constitute a useful rehabilitation strategy for people with Parkinson's disease.

Keywords: Parkinson's Disease. Virtual Reality. Gait. Postural Balance. Functional Mobility.

RESUMEN

La enfermedad de Parkinson compromete progresivamente el control postural, la marcha y la movilidad funcional, lo que hace necesaria la investigación de estrategias de rehabilitación capaces de minimizar sus repercusiones motoras y funcionales. El objetivo fue evaluar los efectos del entrenamiento con realidad virtual no inmersiva sobre la marcha, el equilibrio y la movilidad funcional de personas con enfermedad de Parkinson, comparándolos con los obtenidos mediante entrenamiento en cinta rodante y entrenamiento convencional. Se realizó un ensayo clínico prospectivo, controlado y aleatorizado con 37 participantes distribuidos en tres grupos: control (n=12), cinta rodante (n=13) y realidad virtual (n=12). Las intervenciones se realizaron tres veces por semana durante cuatro semanas, totalizando 12 sesiones. Se utilizaron escalas clínicas, la prueba Timed Up and Go (TUG) instrumentada y el análisis de la marcha mediante sensor inercial. No se identificaron interacciones significativas entre grupo y momento de evaluación. Sin embargo, se observó un efecto de grupo, con mejores resultados en los grupos de cinta rodante y realidad virtual para el equilibrio, la velocidad de la marcha, la longitud de la zancada y el desempeño en el TUG, además de los dominios movilidad y cognición de la calidad de vida. Se

concluye que la realidad virtual no inmersiva presentó resultados funcionales favorables y comparables al entrenamiento en cinta rodante, constituyendo una estrategia potencialmente útil para la rehabilitación de personas con enfermedad de Parkinson.

Palabras clave: Enfermedad de Parkinson. Realidad Virtual. Marcha. Equilibrio Postural. Movilidad Funcional.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

INTRODUÇÃO

A doença de Parkinson (DP) é uma condição neurodegenerativa crônica e progressiva, caracterizada principalmente pela degeneração de neurônios dopaminérgicos e por alterações motoras que repercutem diretamente na independência funcional. Entre suas manifestações mais relevantes estão bradicinesia, rigidez, tremor e instabilidade postural, às quais se associam alterações da marcha, como redução da velocidade e do comprimento dos passos, dificuldades nas transições motoras e comprometimento do controle postural (Wu; Hallett; Chan, 2015; Mirek *et al.*, 2016). Essas alterações podem se intensificar com a progressão da doença e contribuir para restrições de mobilidade, maior risco de quedas e redução da qualidade de vida.

Embora a terapia farmacológica seja fundamental para o manejo dos sintomas da DP, a natureza progressiva da doença e a complexidade de suas manifestações justificam a utilização de estratégias não farmacológicas complementares. Nesse contexto, a reabilitação física desempenha papel importante na manutenção da capacidade funcional, especialmente por meio de intervenções destinadas ao treinamento da marcha, do equilíbrio, das transferências e da mobilidade. O treinamento em esteira, por exemplo, tem sido utilizado com a finalidade de proporcionar prática repetitiva e estruturada da marcha, apresentando resultados favoráveis sobre diferentes parâmetros locomotores em pessoas com DP (Nadeau; Pourcher; Corbeil, 2014; Mehrholz *et al.*, 2015).

Nas últimas décadas, recursos tecnológicos também passaram a integrar as estratégias de neuroreabilitação, destacando-se a realidade virtual (RV). Esses sistemas permitem a interação do indivíduo com ambientes e tarefas simuladas, associando repetição de movimentos, estímulos visuais e auditivos, feedback sobre o desempenho e diferentes níveis de exigência motora e cognitiva. Particularmente, sistemas de realidade virtual não imersiva baseados em videogames

e sensores de movimento apresentam a possibilidade de transformar exercícios terapêuticos repetitivos em tarefas interativas, favorecendo a participação ativa durante o treinamento (Pompeu *et al.*, 2012; Mendes *et al.*, 2012).

Evidências posteriores aos estudos que fundamentaram originalmente esta investigação reforçam, porém, que os efeitos da RV não devem ser interpretados de maneira uniforme. Revisão sistemática envolvendo diferentes modalidades de realidade virtual identificou boa adesão, feedback e estimulação cognitiva e sensorial, mas destacou a heterogeneidade dos protocolos utilizados (Reyes *et al.*, 2023). Uma revisão guarda-chuva de metanálises também identificou resultados favoráveis para equilíbrio, comprimento da passada, atividades de vida diária e qualidade de vida, embora a qualidade da evidência variasse de moderada a muito baixa (Yu *et al.*, 2023).

Essa cautela é especialmente relevante quando se consideram sistemas **não imersivos**, como aquele utilizado no presente estudo. Revisão sistemática e metanálise especificamente dedicada à realidade virtual não imersiva e aos videogames encontrou resultados ainda inconclusivos para velocidade da marcha, equilíbrio e qualidade de vida em pessoas com DP (García-López *et al.*, 2022). Por outro lado, evidências mais recentes indicam que, quando diferentes modalidades de RV são consideradas conjuntamente, podem ocorrer benefícios sobre o equilíbrio, enquanto os resultados referentes à mobilidade tendem a ser semelhantes aos obtidos pela terapia convencional. Uma metanálise recente de 28 estudos e 1.151 participantes encontrou efeito favorável da RV sobre o equilíbrio, mas não demonstrou superioridade significativa sobre a terapia convencional para mobilidade (Dockx *et al.*, 2025).

Nesse cenário, permanece relevante compreender não apenas se a utilização de tecnologias virtuais produz respostas funcionais, mas também como essas respostas se comportam diante de modalidades consolidadas de treinamento. O estudo original empregou um protocolo de 12 sessões e comparou diretamente três condições — treinamento convencional, treinamento em esteira e treinamento com realidade virtual não imersiva utilizando Xbox 360™ com sensor Kinect — avaliando desfechos clínicos e instrumentais. Além das escalas de equilíbrio e qualidade de vida, foram analisados parâmetros espaço-temporais da marcha e componentes específicos do Timed Up and Go (TUG) por meio de sensor inercial, permitindo uma avaliação mais detalhada da mobilidade funcional.

Diante disso, formula-se a seguinte questão de pesquisa: o treinamento com realidade virtual não imersiva apresenta resultados distintos do treinamento em esteira e do treinamento

convencional sobre a marcha, o equilíbrio e a mobilidade funcional de pessoas com doença de Parkinson? A investigação justifica-se pela necessidade de analisar tecnologias de reabilitação a partir de medidas clínicas e instrumentais, evitando pressupor a superioridade de uma modalidade terapêutica e considerando a necessidade de protocolos reprodutíveis e clinicamente aplicáveis.

Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos do treinamento com realidade virtual não imersiva sobre a marcha, o equilíbrio e a mobilidade funcional de pessoas com doença de Parkinson, comparando seus resultados aos obtidos com treinamento em esteira e treinamento convencional.

REFERENCIAL TEÓRICO

Doença de Parkinson: Repercussões Sobre Marcha, Equilíbrio e Mobilidade

A doença de Parkinson (DP) é uma condição neurodegenerativa progressiva caracterizada por manifestações motoras e não motoras que comprometem diferentes dimensões da funcionalidade. Entre as alterações motoras destacam-se bradicinesia, rigidez, tremor, instabilidade postural e redução da automaticidade dos movimentos, aspecto particularmente relacionado às dificuldades observadas durante tarefas locomotoras e transições motoras (Wu; Hallett; Chan, 2015).

As alterações da marcha estão entre as principais repercussões funcionais da DP e incluem redução da velocidade e do comprimento dos passos e passadas, alterações da cadência, aumento do tempo em duplo apoio e menor movimentação associada dos membros superiores. Com a progressão da doença, essas alterações podem comprometer a eficiência da locomoção, a independência funcional e a realização das atividades cotidianas (Herman; Giladi; Hausdorff, 2009; Mirek *et al.*, 2016).

O comprometimento do equilíbrio também interfere diretamente na mobilidade, especialmente em tarefas que envolvem início da marcha, mudanças de direção, transferências e respostas às perturbações posturais. Nesse contexto, o Timed Up and Go (TUG) constitui uma ferramenta relevante por integrar levantar-se, caminhar, mudar de direção e sentar-se, sendo utilizado na avaliação da mobilidade e do risco de quedas em pessoas com DP (Nocera *et al.*, 2013).

A instrumentação do TUG por sensores inerciais amplia essa avaliação ao permitir a

decomposição das diferentes fases da tarefa e a identificação de alterações que podem não ser evidenciadas somente pelo tempo total. Esses recursos também possibilitam mensurar parâmetros espaço-temporais da marcha, fornecendo informações objetivas sobre o desempenho motor e as transições funcionais (Van Uem *et al.*, 2016; Van Lummel *et al.*, 2016).

Reabilitação e Treinamento da Marcha na Doença de Parkinson

A reabilitação física constitui estratégia complementar ao tratamento farmacológico da DP, com intervenções direcionadas à marcha, equilíbrio, mobilidade e capacidade funcional. Nesse contexto, o treinamento motor utiliza princípios como repetição, prática orientada à tarefa e estímulos destinados a minimizar limitações decorrentes da redução da automaticidade do movimento (Keus *et al.*, 2007).

Entre as estratégias empregadas, o treinamento em esteira permite controlar velocidade, duração e intensidade, favorecendo a prática repetitiva e padronizada da marcha. Estudos demonstram efeitos dessa modalidade sobre parâmetros locomotores em pessoas com DP, embora diferenças metodológicas entre os protocolos recomendem cautela na comparação dos resultados e na determinação da magnitude dos benefícios (Nadeau; Pourcher; Corbeil, 2014; Mehrholz *et al.*, 2015).

Diferentes modalidades de treinamento podem compartilhar princípios terapêuticos, como repetição, intensidade, controle postural e prática orientada à tarefa. Dessa forma, a avaliação de novas tecnologias aplicadas à reabilitação deve considerar não apenas seus efeitos isolados, mas também sua capacidade de produzir resultados comparáveis ou superiores às estratégias convencionalmente utilizadas na prática clínica (Keus *et al.*, 2007; Mehrholz *et al.*, 2015).

Realidade Virtual não Imersiva como Estratégia de Reabilitação

A realidade virtual aplicada à reabilitação possibilita a realização de tarefas motoras mediadas por ambientes computacionais que oferecem estímulos e feedback durante o movimento. Nos sistemas não imersivos, o indivíduo permanece em contato com o ambiente físico enquanto interage com elementos apresentados em telas ou projeções, permitindo combinar prática motora repetitiva, estímulos externos e participação ativa durante o treinamento (Pompeu *et al.*, 2012; Mendes *et al.*, 2012).

Na DP, essa abordagem apresenta potencial para associar repetição, feedback visual e desafios motores e cognitivos. Estudos utilizando videogames e ambientes virtuais demonstraram que pessoas com DP podem apresentar aprendizagem, retenção e transferência de habilidades motoras, além de benefícios em componentes relacionados às atividades da vida diária (Pompeu *et al.*, 2012; Mendes *et al.*, 2012).

Apesar dos resultados promissores, a literatura recomenda cautela quanto à magnitude dos efeitos da realidade virtual não imersiva. A heterogeneidade dos dispositivos, tarefas, frequência e duração das intervenções, bem como das características clínicas dos participantes, ainda limita conclusões definitivas sobre seus efeitos na marcha, equilíbrio e qualidade de vida (García-López *et al.*, 2022).

Assim, a realidade virtual não imersiva deve ser compreendida como uma modalidade de treinamento capaz de incorporar princípios da reabilitação motora, e não como substituta desses fundamentos. Sua efetividade depende das características das tarefas, da intensidade e da repetição dos estímulos, tornando relevante sua comparação com outras estratégias de treinamento utilizadas na DP (Pompeu *et al.*, 2012; García-López *et al.*, 2022).

METODOLOGIA

Delineamento do Estudo e Aspectos Éticos

Trata-se de um ensaio clínico prospectivo, controlado e randomizado, desenvolvido com pessoas com diagnóstico de doença de Parkinson. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Nove de Julho (UNINOVE), sob o parecer nº 1.487.213/2016, e registrado no Registro Brasileiro de Ensaios Clínicos (ReBEC), sob o código RBR-8tbhyr. Todos os participantes foram informados sobre os procedimentos da pesquisa e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido antes do início da coleta de dados.

Os procedimentos foram realizados em conformidade com os princípios éticos aplicáveis às pesquisas envolvendo seres humanos. Durante todo o período de coleta e intervenção, os participantes permaneceram sob acompanhamento da equipe responsável, sendo adotados procedimentos de segurança compatíveis com as características clínicas da população estudada.

Participantes e Critérios de Elegibilidade

Os participantes foram recrutados junto à Associação Brasil Parkinson, localizada em São Paulo, Brasil. Inicialmente, 54 indivíduos com diagnóstico de DP foram selecionados. Destes, 42 atenderam aos critérios de elegibilidade e foram randomizados entre os três grupos de intervenção. Ao final, 37 participantes completaram os protocolos, constituindo a amostra analisada: grupo controle (GC; n=12), grupo esteira (GE; n=13) e grupo realidade virtual (GRV; n=12).

Foram incluídas pessoas classificadas nos estágios 1, 2 ou 3 da escala de Hoehn e Yahr, em terapia dopaminérgica estável, capazes de caminhar durante seis minutos e que apresentassem condições visuais e auditivas adequadas, com ou sem utilização de dispositivos de correção. Foram excluídos indivíduos com deficiência física que impedisse a realização dos protocolos, cardiopatia grave ou histórico de crises convulsivas.

Durante o período de intervenção, outros programas de reabilitação, incluindo fisioterapia, somente foram permitidos quando já haviam sido iniciados pelo menos quatro semanas antes da participação no estudo. Os participantes foram orientados a manter a medicação antiparkinsoniana durante todo o período de coleta, e todas as avaliações e intervenções foram realizadas durante a fase “ON” da medicação.

Randomização e Cegamento

Os participantes elegíveis foram alocados aleatoriamente em três grupos: controle, esteira e realidade virtual. Foi adotada randomização em blocos, com geração da sequência de alocação por meio de tabela de números aleatórios.

A distribuição dos participantes foi mantida em envelopes opacos e lacrados, contendo a indicação do grupo de intervenção. Cada participante foi alocado mediante abertura do respectivo envelope. O procedimento foi conduzido por um integrante da equipe de pesquisa que não participou do recrutamento nem do desenvolvimento das avaliações, visando preservar o cegamento dos examinadores.

Protocolos de Intervenção

Todas as intervenções foram realizadas na Associação Brasil Parkinson. Os três grupos participaram de sessões com duração de 20 minutos, três vezes por semana, durante quatro semanas, totalizando 12 sessões de treinamento. Os protocolos foram estruturados de forma progressiva e buscaram manter características semelhantes quanto à intensidade do treinamento.

Antes, durante — após aproximadamente dez minutos — e imediatamente após as sessões, foram monitoradas frequência cardíaca (FC), pressão arterial (PA) e percepção subjetiva de esforço. A intensidade prevista correspondeu a uma FC entre 60% e 70% da frequência cardíaca máxima estimada, calculada pela equação $220 - \text{idade}$. A pressão arterial deveria permanecer abaixo de 200/100 mmHg, sendo utilizada a escala de Borg modificada para monitoramento da percepção de esforço.

Treinamento Convencional – Grupo Controle

O treinamento convencional foi realizado em ambiente fechado, com exercícios de marcha executados em intensidade controlada. Foram utilizados arcos, cones, degraus, bolas, obstáculos coloridos e escada horizontal. Os participantes realizavam tarefas como contornar obstáculos, subir e descer degraus e caminhar com comprimento dos passos orientado por marcações horizontais no solo e ritmo determinado pelas instruções do terapeuta.

Treinamento em Esteira

Antes do início do protocolo, os participantes foram familiarizados com a utilização segura da esteira. O equipamento possuía barras laterais e sistema de interrupção destinado à prevenção de quedas.

As sessões foram individualizadas e os participantes foram orientados a caminhar ou correr mantendo-se na zona-alvo de frequência cardíaca e preservando postura adequada durante a atividade. Todo o treinamento ocorreu sob supervisão direta do fisioterapeuta.

Treinamento com Realidade Virtual não Imersiva

No grupo realidade virtual, foi utilizado o Xbox 360™ (Microsoft Corporation, Redmond, WA, Estados Unidos), associado ao sensor de movimento Kinect. O participante permanecia aproximadamente dois a três metros à frente do sensor, enquanto o ambiente virtual era apresentado por meio de projeção multimídia.

Foi utilizado o jogo *Your Shape – Fitness Evolved 2012 – Run the World*, selecionado por envolver demandas relacionadas à coordenação motora e ao condicionamento físico. Durante a atividade, o participante simulava caminhar ou correr mediante elevação alternada dos joelhos em marcha estacionária, produzindo deslocamentos sucessivos do centro de gravidade. A tarefa envolvia simetria, alternância dos movimentos e variações de ritmo, componentes relacionados à marcha.

Instrumentos e Procedimentos de Avaliação

Foram empregadas medidas clínicas e instrumentais para avaliar as repercussões das intervenções. Entre os instrumentos clínicos utilizados estavam a escala de Hoehn e Yahr, a seção motora da Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS III) e o Parkinson's Disease Questionnaire (PDQ-39). O manuscrito também apresenta resultados provenientes da Escala de Equilíbrio de Berg e da Escala de Tinetti, utilizadas na análise do equilíbrio.

Para avaliação instrumental da marcha e da mobilidade funcional foi utilizada uma unidade de medida inercial BTS G-WALK, composta por acelerômetro triaxial, magnetômetro e giroscópio triaxial. O sensor foi fixado por uma cinta semielástica na região correspondente ao espaço intervertebral L4-L5. Os sinais de aceleração foram registrados nos eixos anteroposterior, médio-lateral e vertical, com frequência de amostragem de 100 Hz, e posteriormente transmitidos a um computador e processados pelo software BTS G-STUDIO, versão 2.6.12.0. A utilização desse sistema para obtenção de parâmetros espaço-temporais da marcha encontra respaldo no estudo de validação de Bagané *et al.* (2012).

Avaliação da Marcha e da Mobilidade Funcional

Para a análise da marcha, os participantes foram orientados a caminhar em velocidade autoselecionada ao longo de um percurso de 10 metros. Foram obtidos parâmetros como cadência, velocidade, comprimento e tempo da passada, além das variáveis relacionadas às fases de apoio e balanço.

A mobilidade funcional foi avaliada pelo Timed Up and Go (TUG) instrumentado. Inicialmente, o participante permanecia sentado em uma cadeira com encosto. Ao comando de início, levantava-se, caminhava três metros, contornava um cone, retornava à cadeira e sentava-se novamente, realizando a tarefa tão rapidamente quanto possível, porém sem correr.

Além do tempo total do TUG, a utilização do sensor inercial possibilitou a análise separada das transições motoras. Foram registrados o tempo total do TUG, o tempo necessário para levantar-se e o tempo necessário para sentar-se, permitindo caracterização mais detalhada do desempenho funcional.

As avaliações da marcha e do TUG foram realizadas em quatro momentos:

- a) pré-intervenção, antes da primeira sessão de treinamento;
- b) efeito agudo, imediatamente após a primeira sessão;
- c) pós-intervenção, após a conclusão das 12 sessões;
- d) *follow-up*, 30 dias após o término do protocolo de intervenção.

Análise Estatística

Inicialmente, a distribuição dos dados foi verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, enquanto a homogeneidade das variâncias foi avaliada pelo teste de Levene. Diante do atendimento aos pressupostos estabelecidos, foram empregados testes estatísticos paramétricos.

Os efeitos dos protocolos de treinamento e as relações entre os grupos — controle, esteira e realidade virtual — e os diferentes momentos de avaliação foram analisados por ANOVA de duas vias, considerando os fatores grupo e momento de avaliação. Foi adotado nível de significância de $\alpha < 0,05$. As análises foram realizadas no software SPSS.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dos 54 indivíduos com diagnóstico de doença de Parkinson inicialmente selecionados, 42 atenderam aos critérios de elegibilidade e foram randomizados entre os grupos controle (n=14), esteira (n=15) e realidade virtual (n=13). Ao longo do protocolo ocorreram cinco perdas, de modo que 37 participantes concluíram o estudo, distribuídos entre grupo controle (n=12), grupo esteira (n=13) e grupo realidade virtual (n=12).

Caracterização da Amostra

A Tabela 1 apresenta as características antropométricas e clínicas dos participantes. Não foram identificadas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos para idade, massa corporal, estatura, estágio da doença segundo Hoehn e Yahr e comprometimento motor avaliado pela UPDRS III ($p>0,05$), indicando comparabilidade inicial para essas variáveis.

Tabela 1. Características antropométricas e clínicas da amostra				
Variáveis	Controle (n=12)	Esteira (n=13)	RV (n=12)	p
Idade (anos)	65,58 ± 13,04	61,00 ± 10,72	60,25 ± 9,28	0,451
Massa corporal (kg)	68,41 ± 14,69	77,07 ± 14,16	77,33 ± 14,16	0,229
Estatura (cm)	164,25 ± 11,10	171,92 ± 8,31	169,08 ± 9,68	0,155
Sexo	5 H / 7 M	12 H / 1 M	11 H / 1 M	—
H&Y – estágio 1	4	7	7	0,349
H&Y – estágio 2	3	5	5	
H&Y – estágio 3	5	1	0	
UPDRS III	19,79 ± 11,30	18,54 ± 13,51	13,39 ± 8,11	0,252

Nota: valores contínuos expressos em média ± desvio-padrão. H = homens; M = mulheres; H&Y = Hoehn e Yahr; UPDRS III = seção motora da *Unified Parkinson's Disease Rating Scale*; RV = realidade virtual.

Fonte: elaborada pelos autores a partir dos dados da pesquisa.

A ausência de diferenças estatisticamente significativas nas principais variáveis basais é relevante em um estudo randomizado, pois reduz a possibilidade de que diferenças subsequentes estejam simplesmente relacionadas a discrepâncias iniciais entre os grupos. Entretanto, deve-se observar a distribuição por sexo: o grupo controle apresentou maior participação feminina, enquanto os grupos esteira e RV foram predominantemente masculinos. Da mesma forma, nenhum participante do grupo RV encontrava-se no estágio 3 da escala de Hoehn e Yahr. Essas características devem ser consideradas na interpretação dos resultados, sobretudo diante do tamanho reduzido da amostra.

Equilíbrio, Sintomas Motores e Qualidade de Vida

Na análise das escalas clínicas, não foi identificada interação significativa entre grupo e momento de avaliação. Portanto, os dados não demonstram que a evolução temporal de um dos protocolos tenha sido estatisticamente superior à dos demais. Entretanto, foi identificado efeito de grupo para determinadas variáveis. Os grupos esteira e RV apresentaram melhores resultados que o grupo controle para Escala de Equilíbrio de Berg ($F_{2,102}=3,735$; $p=0,027$), equilíbrio de Tinetti ($F_{2,102}=7,066$; $p=0,001$), escore total de Tinetti ($F_{2,102}=4,823$; $p=0,010$), domínio mobilidade do PDQ-39 ($F_{2,102}=7,401$; $p=0,001$) e domínio cognição do PDQ-39 ($F_{2,102}=3,270$; $p=0,043$).

Tabela 2. Escalas clínicas segundo grupo e momento de avaliação

Variável	Grupo	Pré	Pós	Follow-up
Berg	Controle	48,16 ± 8,94	47,00 ± 7,48	47,08 ± 9,04
	Esteira	51,07 ± 4,51	49,76 ± 7,04	48,53 ± 11,86
	RV	52,91 ± 4,31	52,16 ± 2,88	51,33 ± 4,83
H&Y	Controle	2,00 ± 0,95	2,08 ± 0,90	2,00 ± 0,85
	Esteira	1,53 ± 0,66	1,53 ± 0,66	1,61 ± 0,76
	RV	1,00 ± 0,73	1,41 ± 0,51	1,41 ± 0,51
Tinetti – equilíbrio	Controle	11,33 ± 3,52	12,08 ± 3,11	12,00 ± 2,48
	Esteira	13,76 ± 2,16	12,84 ± 2,73	13,30 ± 1,93
	RV	14,58 ± 1,62	13,50 ± 2,39	13,75 ± 1,76
Tinetti – marcha	Controle	7,41 ± 3,36	7,16 ± 2,65	7,75 ± 3,98
	Esteira	8,61 ± 2,18	8,53 ± 1,71	7,53 ± 3,04
	RV	8,75 ± 2,49	7,41 ± 1,72	8,33 ± 3,31
Tinetti – total	Controle	18,75 ± 6,41	19,25 ± 5,31	19,00 ± 4,11
	Esteira	22,38 ± 3,59	21,38 ± 4,03	20,84 ± 4,59
	RV	23,33 ± 3,86	20,91 ± 3,62	22,08 ± 4,66
UPDRS III	Controle	19,79 ± 11,30	16,96 ± 10,99	14,58 ± 10,21
	Esteira	20,08 ± 12,85	13,18 ± 7,27	13,54 ± 8,46
	RV	13,39 ± 8,11	13,09 ± 3,83	11,01 ± 6,40

Nota: RV = realidade virtual; H&Y = Hoehn e Yahr; UPDRS III = seção motora da *Unified Parkinson's Disease Rating Scale*.

Fonte: elaborada pelos autores a partir dos dados da pesquisa.

Os resultados relacionados ao equilíbrio encontram respaldo na literatura sobre RV aplicada à DP. Sarasso *et al.* (2022), em revisão sistemática e metanálise de 22 ensaios clínicos envolvendo 901 participantes, observaram vantagem da RV associada ao treinamento de equilíbrio sobre o treinamento sem RV para a Escala de Berg, embora a certeza da evidência tenha sido considerada baixa. Para o TUG, a evidência favorável apresentou certeza muito baixa e os efeitos não se mantiveram no *follow-up*.

Outras sínteses também indicam resultados favoráveis ao equilíbrio, porém com considerável heterogeneidade. Wu *et al.* (2022), analisando 16 ensaios clínicos randomizados e

583 participantes, identificaram efeito favorável da RV sobre o equilíbrio, mas ressaltaram que a plataforma tecnológica utilizada pode constituir importante fonte de heterogeneidade entre os estudos. Esses dados reforçam a necessidade de interpretar o recurso tecnológico em conjunto com as características específicas do treinamento.

No presente estudo, os resultados dos domínios do PDQ-39 também devem ser interpretados cuidadosamente. Foi identificado efeito de grupo para mobilidade e cognição, mas não interação grupo $\times$ momento. Portanto, embora os grupos esteira e RV tenham apresentado escores globalmente mais favoráveis nesses domínios, os dados não permitem atribuir inequivocamente essas diferenças à evolução produzida pelas intervenções.

Essa interpretação mais conservadora encontra respaldo em evidências posteriores. Uma metanálise de 14 ensaios clínicos randomizados, envolvendo 524 participantes, encontrou benefícios da reabilitação baseada em RV principalmente para equilíbrio, sem diferenças estatisticamente significativas entre RV e controle para marcha, atividades de vida diária, função motora e qualidade de vida (Lei *et al.*, 2023).

Parâmetros da Marcha e Mobilidade Funcional

A análise instrumental também não revelou interação significativa entre grupo e momento. Contudo, houve efeito de grupo para velocidade da marcha e comprimento da passada. Os grupos esteira e RV apresentaram maior velocidade média (controle: $1,10 \pm 0,24$ m/s; esteira: $1,22 \pm 0,31$ m/s; RV: $1,30 \pm 0,21$ m/s; $F_{2,136}=6,628$; $p=0,002$) e maior comprimento da passada (controle: $1,18 \pm 0,20$ m; esteira: $1,30 \pm 0,30$ m; RV: $1,32 \pm 0,22$ m; $F_{2,136}=4,519$; $p=0,013$).

Tabela 3. Parâmetros da marcha e desempenho no TUG segundo grupo e momento de avaliação

Variável	Grupo	Pré	Agudo	Pós	Follow-up
Cadência (passos/min)	Controle	$111,31 \pm 13,14$	$112,14 \pm 14,65$	$111,04 \pm 20,14$	$112,30 \pm 9,73$
	Esteira	$110,22 \pm 14,03$	$112,08 \pm 11,08$	$117,37 \pm 30,91$	$113,83 \pm 9,53$
	RV	$115,15 \pm 7,74$	$116,82 \pm 11,79$	$119,59 \pm 8,01$	$124,72 \pm 27,77$
Velocidade (m/s)	Controle	$1,10 \pm 0,26$	$1,11 \pm 0,25$	$1,10 \pm 0,27$	$1,08 \pm 0,22$
	Esteira	$1,23 \pm 0,30$	$1,26 \pm 0,22$	$1,13 \pm 0,41$	$1,26 \pm 0,25$
	RV	$1,24 \pm 0,18$	$1,29 \pm 0,22$	$1,34 \pm 0,21$	$1,30 \pm 0,25$
Comprimento da passada (m)	Controle	$1,18 \pm 0,22$	$1,18 \pm 0,20$	$1,19 \pm 0,20$	$1,16 \pm 0,22$
	Esteira	$1,33 \pm 0,24$	$1,35 \pm 0,20$	$1,19 \pm 0,44$	$1,32 \pm 0,23$
	RV	$1,30 \pm 0,17$	$1,34 \pm 0,19$	$1,35 \pm 0,20$	$1,30 \pm 0,30$
Tempo da passada (s)	Controle	$1,09 \pm 0,14$	$1,09 \pm 0,18$	$1,14 \pm 0,37$	$1,07 \pm 0,09$
	Esteira	$1,10 \pm 0,15$	$1,10 \pm 0,14$	$1,07 \pm 0,21$	$1,06 \pm 0,09$
	RV	$1,04 \pm 0,07$	$1,03 \pm 0,11$	$1,00 \pm 0,06$	$0,99 \pm 0,15$
TUG (s)	Controle	$12,83 \pm 4,07$	$13,92 \pm 6,42$	$12,94 \pm 4,24$	$12,84 \pm 4,02$
	Esteira	$11,51 \pm 2,34$	$11,43 \pm 2,00$	$10,43 \pm 2,52$	$13,40 \pm 10,18$

	RV	11,41 ± 3,31	10,05 ± 2,19	10,14 ± 1,48	9,47 ± 2,05
Levantar-se (s)	Controle	2,19 ± 0,72	1,87 ± 0,53	1,99 ± 0,59	2,04 ± 0,95
	Esteira	1,74 ± 0,48	2,08 ± 1,11	1,63 ± 0,50	1,56 ± 0,38
	RV	1,62 ± 0,61	1,61 ± 0,40	1,74 ± 0,39	1,34 ± 0,48
Sentar-se (s)	Controle	2,49 ± 0,90	2,87 ± 0,69	2,05 ± 0,62	2,62 ± 0,90
	Esteira	2,47 ± 0,79	2,32 ± 0,86	2,18 ± 0,73	2,36 ± 0,73
	RV	2,34 ± 0,53	1,98 ± 0,78	2,26 ± 0,92	1,87 ± 0,71

Nota: TUG = *Timed Up and Go*; RV = realidade virtual.

Fonte: elaborada pelos autores a partir dos dados da pesquisa.

Um ponto importante é que o documento original apresenta para “Step Length” valores próximos de 50, embora a unidade indicada seja metro, o que é incompatível com essa unidade. Como não há informação suficiente no arquivo para determinar com segurança se esses valores correspondem a centímetros, percentual ou outra medida, essa variável não foi incorporada à tabela reestruturada, evitando corrigir ou reinterpretar o dado sem acesso à base original.

Quanto à mobilidade funcional, houve efeito de grupo no tempo total do TUG ($F_{2,136}=4,965$; $p=0,008$), no tempo para levantar-se ($F_{2,136}=5,862$; $p=0,004$) e no tempo para sentar-se ($F_{2,136}=3,157$; $p=0,046$). Considerando conjuntamente os momentos avaliados, os grupos esteira e RV apresentaram tempos menores que o controle.

O TUG possui especial interesse na DP por exigir integração entre transferência postural, iniciação da marcha, deslocamento, mudança de direção e nova transferência para a posição sentada. A utilização do sensor inercial permitiu ir além do tempo total e identificar componentes específicos das transições motoras, aspecto particularmente relevante diante das dificuldades de organização sequencial dos movimentos presentes na doença.

Os resultados do presente estudo dialogam com evidências contemporâneas, mas também demonstram por que não se deve atribuir automaticamente superioridade à RV. Sarasso *et al.* (2022) encontraram efeito favorável ao treinamento com RV no TUG, porém classificaram a certeza dessa evidência como muito baixa. Especificamente para sistemas não imersivos, Navarro-Lozano *et al.* (2022) identificaram apenas cinco estudos elegíveis e resultados inconclusivos para velocidade da marcha, equilíbrio e qualidade de vida.

Uma metanálise mais recente reforça essa interpretação. Ao analisar 28 estudos e 1.151 participantes, observou-se que a RV foi superior à terapia convencional para equilíbrio, porém apresentou efeito semelhante à terapia convencional sobre mobilidade. Os autores também não identificaram diferenças significativas entre sistemas específicos e não específicos de RV nesses desfechos.

Nesse sentido, os resultados encontrados no presente estudo são coerentes com a

interpretação de que a RV não imersiva pode constituir uma alternativa ou estratégia complementar, e não necessariamente substituta ou superior ao treinamento físico estruturado. Isso é particularmente evidente porque tanto o grupo RV quanto o grupo esteira apresentaram resultados globalmente mais favoráveis que o grupo controle em determinados desfechos.

Possíveis Mecanismos e Implicações Clínicas

Os resultados podem estar relacionados às características compartilhadas pelos protocolos de esteira e RV. Ambos proporcionaram atividade motora repetitiva e progressiva em intensidade controlada. No protocolo virtual, adicionalmente, a interação com o jogo exigia elevação alternada dos joelhos, controle do centro de gravidade, coordenação, simetria e adaptação a diferentes ritmos.

A combinação de estímulos visuais, feedback e repetição orientada à tarefa pode favorecer estratégias de aprendizagem motora e compensar parcialmente dificuldades relacionadas à automaticidade dos movimentos. Entretanto, o fato de o treinamento em esteira também ter apresentado resultados favoráveis sugere que parte dos efeitos observados pode decorrer dos próprios componentes do treinamento físico — repetição, intensidade e prática locomotora — e não exclusivamente da tecnologia virtual.

Essa interpretação encontra apoio em uma análise mais ampla das intervenções tecnológicas. Uma metanálise em rede envolvendo 51 ensaios clínicos randomizados e 2.095 pessoas com DP identificou efeitos promissores de intervenções tecnológicas sobre diferentes desfechos, mas também demonstrou que a eficácia varia conforme a tecnologia e o resultado considerado. Para o TUG, a RV apresentou resultado favorável em relação ao controle, enquanto as intervenções tiveram eficácia semelhante para o desfecho motor avaliado pela UPDRS.

Evidências ainda mais recentes continuam apontando para essa especificidade dos efeitos. Uma metanálise dose-resposta publicada em 2025, envolvendo 32 ensaios clínicos randomizados, encontrou benefício do treinamento com RV para equilíbrio, mas não demonstrou melhora estatisticamente significativa no teste de caminhada de seis minutos. Os autores também verificaram que frequência, duração e volume de treinamento podem influenciar as respostas. Esses achados são importantes para interpretar o protocolo deste estudo, constituído por 12 sessões de 20 minutos distribuídas ao longo de quatro semanas.

Portanto, o principal achado não deve ser formulado como uma demonstração de

superioridade da realidade virtual. Os resultados indicam que os grupos submetidos à realidade virtual não imersiva e ao treinamento em esteira apresentaram desempenho globalmente mais favorável em determinados indicadores de equilíbrio, marcha e mobilidade funcional quando comparados ao grupo controle, mas sem evidência de interação grupo $\times$ tempo. Essa distinção estatística fortalece a interpretação dos dados e evita estabelecer uma relação causal maior do que aquela sustentada pela análise realizada.

Limitações do Estudo

Algumas limitações precisam ser consideradas. Primeiramente, a amostra foi relativamente pequena, com 37 participantes concluindo o protocolo. Além disso, houve distribuição desigual quanto ao sexo e à gravidade da doença entre os grupos, inclusive ausência de participantes no estágio 3 de Hoehn e Yahr no grupo RV. Essas características podem limitar a generalização dos resultados.

Outra limitação é que as avaliações e intervenções foram realizadas durante a fase “ON” da medicação, não sendo possível determinar o comportamento das respostas durante a fase “OFF”. Essa questão já havia sido reconhecida no manuscrito original.

Também devem ser consideradas a curta duração do protocolo — quatro semanas — e a avaliação de *follow-up* restrita a 30 dias. A literatura atual mostra que a manutenção dos efeitos da RV em períodos mais longos ainda constitui uma questão relevante; Sarasso *et al.* (2022), por exemplo, não encontraram manutenção significativa dos efeitos no *follow-up* dos estudos incluídos em sua metanálise.

Por fim, a inexistência de interação significativa entre grupo e momento constitui um aspecto central para interpretação dos achados. Embora tenham sido observados efeitos de grupo, os resultados não demonstraram estatisticamente uma trajetória temporal diferencial decorrente de um protocolo específico. Estudos futuros devem utilizar amostras maiores, estratificação mais equilibrada quanto à gravidade da DP e protocolos padronizados de intensidade, frequência e duração, além de acompanhamento longitudinal mais prolongado.

CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo demonstraram que os participantes submetidos ao treinamento

com realidade virtual não imersiva e ao treinamento em esteira apresentaram desempenho globalmente mais favorável que o grupo submetido ao treinamento convencional em determinados indicadores de equilíbrio, marcha e mobilidade funcional. Foram observados efeitos de grupo para a Escala de Equilíbrio de Berg, equilíbrio e escore total de Tinetti, domínios mobilidade e cognição do PDQ-39, velocidade da marcha, comprimento da passada e componentes do Timed Up and Go.

Entretanto, a ausência de interação significativa entre grupo e momento de avaliação não permite afirmar que a realidade virtual tenha produzido uma evolução temporal superior às demais intervenções. Assim, os achados não sustentam a hipótese de superioridade da realidade virtual sobre o treinamento em esteira, mas indicam que a modalidade não imersiva apresentou resultados funcionais favoráveis e comparáveis aos obtidos com uma estratégia estruturada de treinamento locomotor. Nesse sentido, sua utilização pode representar uma alternativa complementar para diversificação das estratégias empregadas na reabilitação de pessoas com doença de Parkinson.

A interpretação dos achados deve considerar o tamanho reduzido da amostra, a distribuição desigual da gravidade da doença entre os grupos, a realização das avaliações exclusivamente durante a fase “ON” da medicação e o período limitado de acompanhamento. Recomenda-se que estudos futuros incluam amostras maiores e mais homogêneas, protocolos de intervenção padronizados e acompanhamento longitudinal mais prolongado, possibilitando esclarecer a magnitude, a manutenção e a relevância clínica dos efeitos da realidade virtual não imersiva sobre a marcha, o equilíbrio e a mobilidade funcional na doença de Parkinson.

REFERÊNCIAS

BUGANÉ, F. *et al.* Estimation of spatial-temporal gait parameters in level walking based on a single accelerometer: validation on normal subjects by standard gait analysis. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, v. 108, n. 1, p. 129-137, 2012. DOI: 10.1016/j.cmpb.2012.02.003.

HERMAN, T.; GILADI, N.; HAUSDORFF, J. M. Treadmill training for the treatment of gait disturbances in people with Parkinson’s disease: a mini-review. *Journal of Neural Transmission*, v. 116, n. 3, p. 307-318, 2009. DOI: 10.1007/s00702-008-0139-z.

KEUS, S. H. J. *et al.* Evidence-based analysis of physical therapy in Parkinson’s disease with recommendations for practice and research. *Movement Disorders*, v. 22, n. 4, p. 451-460, 2007. DOI: 10.1002/mds.21244.

KWON, S. H.; PARK, J. K.; KOH, Y. H. A systematic review and meta-analysis on the effect

of virtual reality-based rehabilitation for people with Parkinson's disease. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, v. 20, art. 94, 2023. DOI: 10.1186/s12984-023-01219-3.

MEHRHOLZ, J. *et al.* Treadmill training for patients with Parkinson's disease. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, n. 9, CD007830, 2015. DOI: 10.1002/14651858.CD007830.pub4.

MENDES, F. A. S. *et al.* Motor learning, retention and transfer after virtual-reality-based training in Parkinson's disease: effect of motor and cognitive demands of games: a longitudinal, controlled clinical study. *Physiotherapy*, v. 98, n. 3, p. 217-223, 2012. DOI: 10.1016/j.physio.2012.06.001.

NADEAU, A.; POURCHER, E.; CORBEIL, P. Effects of 24 wk of treadmill training on gait performance in Parkinson's disease. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, v. 46, n. 4, p. 645-655, 2014. DOI: 10.1249/MSS.0000000000000144.

NAVARRO-LOZANO, F. *et al.* Effects of non-immersive virtual reality and video games on walking speed in Parkinson disease: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Medicine*, v. 11, n. 22, art. 6610, 2022. DOI: 10.3390/jcm11226610.

NOCERA, J. R. *et al.* Using the Timed Up & Go Test in a clinical setting to predict falling in Parkinson's disease. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, v. 94, n. 7, p. 1300-1305, 2013. DOI: 10.1016/j.apmr.2013.02.020.

POMPEU, J. E. *et al.* Effect of Nintendo Wii™-based motor and cognitive training on activities of daily living in patients with Parkinson's disease: a randomised clinical trial. *Physiotherapy*, v. 98, n. 3, p. 196-204, 2012. DOI: 10.1016/j.physio.2012.06.004.

SARASSO, E. *et al.* Virtual reality balance training to improve balance and mobility in Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Neurology*, v. 269, n. 4, p. 1873-1888, 2022. DOI: 10.1007/s00415-021-10857-3.

VAN UEM, J. M. T. *et al.* Quantitative Timed-Up-and-Go parameters in relation to cognitive parameters and health-related quality of life in mild-to-moderate Parkinson's disease. *PLOS ONE*, v. 11, n. 4, e0151997, 2016. DOI: 10.1371/journal.pone.0151997.

WU, J. *et al.* Benefits of virtual reality balance training for patients with Parkinson disease: systematic review, meta-analysis, and meta-regression of a randomized controlled trial. *JMIR Serious Games*, v. 10, n. 1, e30882, 2022. DOI: 10.2196/30882.

WU, T.; HALLETT, M.; CHAN, P. Motor automaticity in Parkinson's disease. *Neurobiology of Disease*, v. 82, p. 226-234, 2015. DOI: 10.1016/j.nbd.2015.06.014.

YAU, C. E. *et al.* Innovative technology-based interventions in Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis. *Annals of Clinical and Translational Neurology*, v. 11, n. 10, p. 2548-2562, 2024. DOI: 10.1002/acn3.52160.

YU, J. *et al.* Efficacy of virtual reality training on motor performance, activity of daily living, and quality of life in patients with Parkinson's disease: an umbrella review comprising meta-analyses of randomized controlled trials. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, v. 20, art. 133, 2023. DOI: 10.1186/s12984-023-01256-y.