

Protocolo de treino de equilíbrio com BlazePod® na doença de Parkinson: estudo de caso

BlazePod® balance training protocol in Parkinson's Disease: case-report

Mariana Julião^{1*} , Beatriz Santos² , Cristina Sá¹ 

¹Escola Superior de Saúde do Alcoitão, Departamento de Fisioterapia, Cascais, Lisboa, Portugal

²CNS — Campus Neurológico, Lisboa, Portugal

*Autor correspondente/Corresponding author: marianamjuliao@gmail.com

Recebido/Received: 25-08-2025; Revisto/Revised: 26-03-2026; Aceite/Accepted: 04-05-2026

Resumo

Introdução: A Doença de Parkinson (DP) é uma doença neurodegenerativa que se caracteriza por déficit no controlo postural e equilíbrio, aumentando o risco de quedas. As tecnologias emergentes, como o BlazePod®, oferecem potencial para complementar abordagens convencionais, integrando estímulos visuais dinâmicos com dupla tarefa no treino de equilíbrio. **Objetivo:** Descrever um protocolo de intervenção em fisioterapia, que integrou treino de equilíbrio com BlazePod®. **Material e Métodos:** Estudo de caso de um paciente do sexo masculino, de 79 anos, com DP há 11 anos (estágio 3 Hoehn e Yahr). O protocolo teve a duração de quatro semanas, com três sessões semanais (duas com BlazePod® e uma de fisioterapia convencional). A avaliação e reavaliação incluíram o equilíbrio (Mini-BESTest) e a mobilidade funcional (*Time Up Go test* (TUG)) simples e com dupla tarefa). **Resultados:** Verificou-se melhoria na pontuação da Mini-BESTest de 19/28 para 21/28, ultrapassando o *cut-off* para risco de queda. As principais melhorias ocorreram nas respostas posturais reativas para trás e no *subscore* da orientação sensorial. Não se observaram alterações no teste TUG sem e com dupla tarefa motora, apenas ligeira variação negativa no teste TUG com dupla tarefa cognitiva. **Conclusão:** Os resultados sugerem que o protocolo de intervenção integrando o treino de equilíbrio com BlazePod® possibilita reduzir o risco de queda do paciente. As limitações metodológicas inerentes ao estudo de caso impossibilitam estabelecer relações de causa-efeito. Ensaios clínicos randomizados são necessários para validar a eficácia da intervenção e retenção dos ganhos a longo prazo.

Palavras-chave: BlazePod®; Controlo Postural; Doença do Movimento; Dupla Tarefa; Estudo de Caso; Pistas Visuais.

Abstract

Introduction: Parkinson's Disease (PD) is a neurodegenerative disorder characterized by deficits in postural control, increasing the risk of falls. Emerging technologies, such as BlazePod®, offer potential to complement conventional approaches by integrating dynamic visual cues with dual-task training in balance rehabilitation. Aim of the study: To describe an intervention protocol that integrated balance training with BlazePod® technology in the physiotherapy treatment of a patient with PD diagnosis. **Methodology:** A case report of a 79-year-old male patient with an 11-year diagnosis of PD, classified as stage 3 on the Hoehn and Yahr scale. The protocol lasted for four weeks, with three weekly sessions (two with BlazePod® and one of conventional physiotherapy). Assessment and reassessment included balance (Mini-BESTest) and functional mobility (simple Time Up Go test (TUG)) and with dual tasks). **Results:** There was improvement in the Mini-BESTest total score from 19/28 to 21/28, exceeding the cut-off value for fall risk. The main improvements occurred in backward postural reactive responses and in the sensory orientation subscore. No changes were observed in TUG without dual task and with motor dual task, only a slight negative variation in TUG with cognitive dual task. **Conclusion:** The results suggest that the intervention protocol integrating balance training with BlazePod® makes it possible to reduce the patient's risk of falling. The methodological limitations inherent to the case study design make it impossible to establish cause-effect relationships. Future randomized controlled trials are needed to validate the effectiveness of this intervention and the long-term retention of gains.

Keywords: BlazePod®; Case Report; Dual Task; Movement Disorder; Postural Control; Visual Cues.

1. INTRODUÇÃO

A DP é a segunda doença neurodegenerativa mais prevalente (Cabreira & Massano, 2019), afetando 1% da população com mais de 60 anos (Tysnes & Storstein, 2017). Caracterizada pela degeneração dopaminérgica nigroestriatal e disfunção corticoestriatal (M. E. Johansson et al., 2022), esta doença compromete redes neurais críticas para o movimento e cognição. A sua prevalência tem aumentado nas últimas três décadas, devido a fatores ambientais e genéticos (Cabreira & Massano, 2019), sendo que 5% a 10% dos indivíduos apresentam predisposição hereditária (Zafar & Yaddanapudi, 2023).

A doença inicia-se habitualmente com sintomas ligeiros, sendo a progressão dos mesmos lenta, durante os primeiros três a cinco anos. A maioria dos pacientes não apresenta uma incapacidade significativa, apesar de poder haver alguma interferência na execução de tarefas da vida diária. Os sintomas cardinais da DP incluem sintomas motores, tais como bradicinesia, tremor de repouso e rigidez. Todos estes sintomas levam a alterações significativas ao nível do equilíbrio, comprometendo a mobilidade funcional. Os sintomas podem ainda ser não motores, verificando-se distúrbios a nível do sono, ansiedade, depressão, demência e disfunções ao nível do sistema nervoso autónomo (Balestrino & Schapira, 2020).

O pobre controlo postural e a instabilidade associada encontram-se entre as características mais incapacitantes da DP (Rinalduzzi *et al.*, 2015). O controlo postural constitui uma função multissistémica dedicada a manter o corpo ereto em diferentes posturas e transições, integrando *inputs* provenientes dos sistemas proprioceptivo, vestibular e visual, de modo a gerar respostas neuromusculares e ajustes motores finais (Rinalduzzi *et al.*, 2015). As perturbações do equilíbrio resultam do deslocamento do centro de gravidade, que pode ter origem em fatores internos (como a oscilação natural do corpo ou o movimento dos membros) ou externos (por exemplo, um empurrão súbito ou a travagem repentina de um veículo). Nestas circunstâncias, défice na interpretação e integração dos sistemas sensoriais, no planeamento de respostas adequadas ou na ativação dos músculos sinérgistas, o indivíduo torna-se suscetível a quedas (Barbosa *et al.*, 2016).

Estima-se que aproximadamente 60% dos indivíduos com DP experienciem pelo menos uma queda por ano, sendo que 40% apresentam episódios recorrentes. Estas quedas podem estar associadas à incapacidade de efetuar ajustes posturais compensatórios para recuperar o equilíbrio quando o centro de gravidade se desloca para fora da base de sustentação, a qual se encontra reduzida nesta doença (Arroyo-Ferrer *et al.*, 2020). De acordo com Barbosa *et al.* (2016), indivíduos com história de quedas revelam ainda menor tempo de reação e velocidade de resposta.

O tempo de reação, definido como o intervalo entre a apresentação de um estímulo e a produção de uma resposta intencional, tem-se mostrado significativamente prejudicado em função do défice no transporte de dopamina, estando este associado a um aumento das alterações posturais (Arroyo-Ferrer *et al.*, 2020), devido à bradicinesia característica da DP.

Na avaliação destes pacientes, é crucial proceder a uma avaliação detalhada do equilíbrio, atendendo a que a sua deterioração se manifesta através de limitações biomecânicas,

1. INTRODUCTION

PD is the second most prevalent neurodegenerative condition (Cabreira & Massano, 2019), affecting approximately 1% of individuals over 60 years old (Tysnes & Storstein, 2017). Characterized by nigrostriatal dopaminergic degeneration and corticostriatal dysfunction (M. E. Johansson et al., 2022), the disease disrupts critical movement and cognition neural networks. Its prevalence has risen steadily over the past three decades, due to both environmental and genetic factors (Cabreira & Massano, 2019), with 5–10% of cases displaying a hereditary predisposition (Zafar & Yaddanapudi, 2023).

Disease onset is typically characterized by mild symptoms, with slow progression over the first three to five years. Most patients do not experience significant disability during this period, although some interference with activities of daily living (ADLs) may occur. The cardinal motor features of PD, which include bradykinesia, resting tremor, and rigidity, collectively impair balance and compromise functional mobility. Non-motor manifestations are equally relevant, involving sleep disturbances, anxiety, depression, dementia, and autonomic dysfunction (Balestrino & Schapira, 2020).

Poor postural control and the resulting instability rank among the most disabling features of PD (Rinalduzzi *et al.*, 2015). Postural control is a multisystemic function dedicated to maintaining an upright position across a range of postures and transitions, integrating proprioceptive, vestibular, and visual inputs to generate neuromuscular responses and motor adjustments (Rinalduzzi *et al.*, 2015). Balance perturbations arise from displacement of the center of gravity, which may result from internal factors (such as physiological body sway or limb movement) or external forces (for instance, a sudden push or unexpected vehicle braking). In these circumstances, deficits in sensory integration, in the planning of appropriate responses, or in the recruitment of synergist muscles render the individual vulnerable to falls (Barbosa *et al.*, 2016).

Approximately 60% of individuals with PD experience at least one fall per year, and 40% report recurrent episodes. Falls often arise from an inability to generate compensatory postural adjustments to recover balance when the center of gravity is displaced beyond the base of support, which is already reduced in PD (Arroyo-Ferrer *et al.*, 2020). Barbosa *et al.* (2016) further note that individuals with a history of falls display diminished reaction time and response speed.

Reaction time, defined as the interval between stimulus presentation and the initiation of a voluntary response, is significantly impaired in PD as a consequence of disrupted dopaminergic transmission, and is closely associated with the postural alterations driven by bradykinesia (Arroyo-Ferrer *et al.*, 2020).

The clinical assessment of these patients warrants a comprehensive evaluation of balance, given that its deterioration manifests across multiple domains: biomechanical constraints, reduced stability limits, deficits in anticipatory and compensatory postural adjustments, inadequate reactive responses, as well as impaired sensory orientation and dynamic gait control (Qian *et al.*, 2023).

Balance may be assessed using the Mini-BESTest, recognized as the strongest independent predictor of falls in

redução dos limites de estabilidade, défices nos ajustes posturais antecipatórios e compensatórios, respostas posturais inadequadas, bem como prejuízos na orientação sensorial e no controlo dinâmico da marcha (Qian *et al.*, 2023).

Assim, o equilíbrio pode ser avaliado através do Mini-BESTest, sendo este o melhor preditor independente de quedas em indivíduos com DP, estando validada para esta população (Lopes *et al.*, 2020). Outro aspeto fundamental a avaliar é a mobilidade funcional, tendo em conta o seu comprometimento, devido ao diagnóstico de DP. O teste *Time Up and Go* (TUG), é uma ferramenta clínica válida e fidedigna em indivíduos com DP (Luque-Casado *et al.*, 2021). Para além disso, a adição de uma tarefa cognitiva ao teste TUG (TUG com dupla tarefa cognitiva) aumenta a validade preditiva relacionada com o risco de queda (Çekok *et al.*, 2020).

A base do tratamento da DP consiste na combinação entre terapia medicamentosa e fisioterapia. A medicação sintomática (antagonistas da dopamina ou levodopa) aumenta as concentrações de dopamina ou estimula diretamente os recetores de dopamina (Qian *et al.*, 2023), assegurando o controlo contínuo dos sinais da doença ao longo do dia (Ferreira & Levy, 2003). A fisioterapia desempenha um papel fundamental na recuperação funcional e na melhoria dos sintomas e da qualidade de vida do indivíduo com DP (Israni *et al.*, 2024; Qian *et al.*, 2023), recorrendo a modalidades como treino de marcha (*treadmill* e marcha nórdica), equilíbrio, dupla tarefa, fortalecimento muscular, hidroterapia, pilates e estratégias inovadoras (*exergaming*, dança e artes marciais) que demonstraram benefícios na melhoria dos sintomas motores e não motores da DP (Qian *et al.*, 2023; Mak & Wong-Yu, 2019; Radder *et al.*, 2020; Ellis *et al.*, 2021). Estas intervenções auxiliam a manter a independência funcional, reduzir o risco de queda e melhorar a postura e a marcha.

Entre as intervenções validadas para melhorar o equilíbrio em indivíduos com DP, constam métodos como o treino de passos reativos e volitivos, o treino de dupla tarefa e pistas visuais dinâmicas, desafiando os mecanismos neuromotores envolvidos no equilíbrio. Para além disso, exercício aeróbio e fortalecimento muscular têm mostrado melhorar a funcionalidade física e reduzir sintomas da doença (Radder *et al.*, 2017).

Os passos reativos são respostas motoras a perturbações inesperadas do equilíbrio, enquanto passos volitivos referem-se a movimentos intencionais e controlados. O treino destes padrões de movimento visa aprimorar os ajustes compensatórios e antecipatórios, através de exercícios como caminhar sobre alvos ou realizar sequências estruturadas. O estudo de Pelicioni *et al.* (2023) demonstra que a combinação de treino de passos reativos e volitivos pode melhorar a recuperação do equilíbrio após uma perturbação induzida e o tempo de reação do passo voluntário, sugerindo uma redução do número de quedas em indivíduos com DP.

Por sua vez, a dupla tarefa refere-se à capacidade de realizar duas ou mais atividades cognitivas e físicas em simultâneo. Vários estudos indicam que o treino de dupla tarefa pratica simultaneamente a alocação de atenção e a adaptação a desafios dinâmicos, potenciando respostas eficazes a imprevistos diários. Além disso, esta abordagem melhora a capacidade de redistribuição do peso corporal, o tempo de reação e a capacidade de adaptação a superfícies instáveis, o que contribui

individuals with PD and validated for this population (Lopes *et al.*, 2020). The assessment of functional mobility is equally relevant, given its frequent impairment in PD. The Timed Up and Go (TUG) test is a valid and reliable clinical measure in this context (Luque-Casado *et al.*, 2021). Hence, the addition of a cognitive task to the TUG (dual-task TUG) further enhances its predictive validity with respect to fall (Çekok *et al.*, 2020).

The cornerstone of PD management consists of a combination of pharmacological therapy and physiotherapy. Symptomatic medication (dopamine agonists or levodopa) increases dopaminergic availability or directly stimulates dopamine receptors (Qian *et al.*, 2023), ensuring continuous symptom control throughout the day (Ferreira & Levy, 2003). Physiotherapy plays a central role in functional recovery and quality-of-life improvement in PD (Israni *et al.*, 2024; Qian *et al.*, 2023), leaning on modalities such as treadmill and Nordic walking, balance training, dual-task practice, muscle strengthening, hydrotherapy, Pilates, and innovative approaches including exergaming, dance, and martial arts, all of which have demonstrated benefits in attenuating both motor and non-motor PD symptoms (Qian *et al.*, 2023; Mak & Wong-Yu, 2019; Radder *et al.*, 2020; Ellis *et al.*, 2021). These interventions contribute to preserving functional independence, reducing fall risk, and improving posture and gait.

Among the evidence-based interventions for balance improvement in PD, reactive and volitional step training, dual-task training, and dynamic visual cueing are well-established strategies, each targeting distinct neuromotor mechanisms underlying balance. Additionally, aerobic exercise and muscle strengthening have similarly demonstrated improvements in physical function and symptom reduction (Radder *et al.*, 2017).

Reactive steps represent motor responses to unexpected balance perturbations, whereas volitional steps refer to intentional, controlled movements. Training these movement patterns aims to refine compensatory and anticipatory adjustments through exercises such as stepping onto targets or performing structured sequences. Pelicioni *et al.* (2023) showed that combined reactive and volitional step training can enhance balance recovery following induced perturbations and reduce voluntary step reaction time, with implications for fall reduction in individuals with PD.

Dual tasking refers to the ability to perform two or more cognitive and physical activities simultaneously. A growing body of evidence indicates that dual-task training simultaneously addresses attentional allocation and adaptation to dynamic challenges, facilitating effective responses to everyday unpredictable situations. This approach has also been shown to improve weight-redistribution capacity, reaction time, and adaptability to unstable surfaces, collectively contributing to greater safety and reduced fall risk in PD population (Park, 2022; García-López *et al.*, 2023; Xiao *et al.*, 2023).

Given the established efficacy of conventional approaches, there is growing interest in exploring new strategies capable of increasing balance training in PD. A recent study demonstrated that interventions based on dynamic visual stimuli, incorporating individualized progression and gamification, enhance neuromotor rehabilitation with measurable impacts on balance and reactive response efficiency to external stimuli

para uma maior segurança e redução do risco de queda nesta população (Park, 2022; García-López *et al.*, 2023; Xiao *et al.*, 2023).

Dado o impacto positivo das abordagens convencionais, torna-se relevante explorar novas estratégias que potencializem o treino do equilíbrio em indivíduos com DP. Um estudo recente demonstrou que intervenções baseadas em estímulos visuais dinâmicos, ao integrarem a personalização individual e gamificação, potenciam a reabilitação neuromotora com impacto no equilíbrio e na eficácia do treino reativo a estímulos externos (Wallin *et al.*, 2025).

De acordo com Giorgi *et al.* (2024), o recurso a pistas visuais demonstra-se particularmente eficaz no equilíbrio dinâmico e orientação espacial, o que justifica a sua utilização em protocolos de treino funcional. Este estudo enfatiza que intervenções supervisionadas e estruturadas, como sessões com ajuste progressivo de dificuldade, tendem a gerar maiores benefícios.

Tecnologias como os BlazePod® emergem como estratégias viáveis para traduzir a evidência recente em protocolos clínicos adaptáveis. Trata-se de uma plataforma de treino inteligente que utiliza pistas visuais reativas, estimulando a atividade física e cognitiva com pequenos *pods* iluminados e controlados através de uma aplicação interativa, permitindo o acompanhamento em tempo real e ajudando os fisioterapeutas a monitorizar e ajustar o progresso do indivíduo (*Revolutionize Recovery With BlazePod*, 2024). A sua fidedignidade foi demonstrada num estudo recente (ICC=0,82) para o tempo de reação, evidenciando uma boa consistência de teste/reteste (de-Oliveira *et al.*, 2021). Adicionalmente, esta tecnologia encontra-se validada para a população geriátrica (Ilin & Kalron, 2025).

Indivíduos com DP apresentam dificuldades na execução de tarefas simultâneas, devido à redução na capacidade de dividir a atenção entre tarefas motoras e cognitivas. Deste modo, a integração destes dispositivos na fisioterapia possibilita a criação de exercícios dinâmicos e desafiantes, focados no equilíbrio, coordenação e função cognitiva, já que combinam componentes motores e cognitivos em simultâneo, exigindo não só respostas motoras (por exemplo, tocar nos *pods* iluminados), como também processamento cognitivo contínuo (como seguir sequências específicas, reagir a estímulos visuais, discriminar cores e nomear categorias), proporcionando uma plataforma ideal para implementar o treino de dupla tarefa e simular situações reais em que a execução de ações se dá paralelamente ao processamento de informação.

Deste modo, a exploração de novas tecnologias na intervenção do treino de equilíbrio em indivíduos com DP torna-se relevante, na medida em que o treino com BlazePod® apresenta potencial para complementar e reforçar estratégias convencionais de reabilitação. Embora promissor, este tipo de abordagem ainda carece de estudos de alta evidência que validem a sua eficácia no contexto da DP. Assim sendo, o objetivo deste estudo de caso é descrever um protocolo de intervenção, que integrou treino de equilíbrio com recurso à tecnologia BlazePod®, na intervenção de um indivíduo com DP.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo de caso pretende descrever a evolução clínica e funcional observada durante a aplicação de um protocolo de intervenção que integrou treino de equilíbrio, com recurso

(Wallin *et al.*, 2025).

Giorgi *et al.* (2024), further highlighted that visual cueing is particularly effective in promoting dynamic balance and spatial orientation, justifying its inclusion in functional training protocols. That study also states that supervised, structured interventions with progressive difficulty tend to yield greater benefits.

Technologies such as BlazePod® emerge as viable tools for translating recent evidence into adaptable clinical protocols. BlazePod® is an intelligent training platform that employs reactive visual cues to stimulate physical and cognitive activity through illuminated pods controlled via an interactive application, enabling real-time performance monitoring and allowing physiotherapists to track and adjust individual progress (*Revolutionize Recovery With BlazePod*, 2024). Its reliability has been demonstrated in a recent study (ICC=0,82) for reaction time, indicating good test-retest consistency (de-Oliveira *et al.*, 2021). Additionally, this technology has been validated for use in geriatric population (Ilin & Kalron, 2025).

Individuals with PD experience difficulties with simultaneous task performance, attributable to a reduced capacity for dividing attention between concurrent motor and cognitive demands. The integration of such devices into physiotherapy settings enables the design of dynamic, challenging exercises targeting balance, coordination, and cognitive function, as they combine motor and cognitive components simultaneously, requiring not only motor responses (such as deactivating illuminated pods) but also continuous cognitive processing (for instance, following specific sequences, reacting to visual stimuli, discriminating colors, and naming categories). This provides an ideal platform for implementing dual-task training and simulating real-life situations in which actions must be performed alongside information processing.

Thus, the use of new technologies in balance training interventions for individuals with PD becomes relevant, as BlazePod® training has the potential to complement and reinforce conventional rehabilitation strategies. Despite its promise, this type of approach still lacks high-quality evidence validating its efficacy in the context of PD. The aim of this case report is therefore to describe a physiotherapy intervention protocol integrating BlazePod® balance training in the management of an individual with PD.

2. MATERIAL AND METHODS

This case report aims to describe the clinical and functional evolution observed during the application of an intervention protocol integrating balance training using BlazePod® technology in an individual diagnosed with PD. The methodology is based on a single-case descriptive design, structured to systematically document the patient's initial condition, the implementation of an 8-session program over four weeks, and the changes recorded in motor and functional outcomes.

At the beginning of the intervention, all study details were explained to the participant, who signed an informed consent form after having all his questions addressed.

à tecnologia BlazePod®, num indivíduo com diagnóstico de DP. Assim, a metodologia do estudo centra-se num desenho descritivo de caso único, estruturado para documentar de forma sistemática a condição inicial do paciente, a implementação do programa de 8 sessões ao longo de 4 semanas e as alterações verificadas nos resultados motores e funcionais.

No início do protocolo de intervenção, todos os detalhes do estudo foram explicados ao participante, que assinou o consentimento informado após esclarecer todas as suas dúvidas.

2.1. PARTICIPANTE

Indivíduo do sexo masculino, de 79 anos, reformado, tinha como profissões piloto e professor universitário e reside com a mulher no 2º andar de um prédio com elevador e oito degraus ou uma rampa de acesso, sendo autónomo em ambas as situações.

Diagnosticado com DP em 2014, o primeiro sintoma manifestou-se por tremor no hálux direito, sem perceção do mesmo. O indivíduo apresentava história anterior de Próteses Totais das Ancas (PTA) nas duas ancas (2017, 2020 e 2023, sendo a última por fratura da PTA direita) e intervenção cirúrgica às cataratas em 2025, sem comorbilidades associadas. Atualmente realiza terapia medicamentosa para a DP e para tratamento da hiperplasia benigna da próstata, além de suplementos vitamínicos.

O principal problema referido pelo indivíduo centrou-se na dificuldade em atar os atacadores, em virtude da presença das PTA. O mesmo relatou ainda limitações ao nível da marcha, por necessidade de recorrer a um auxiliar de marcha (andarrilho de quatro rodas) para percorrer longas distâncias, bem como o receio de perder o equilíbrio em espaços apertados ou desconhecidos. Identificou, ainda, dificuldades no equilíbrio em situações dinâmicas e inesperadas. As principais expectativas do indivíduo eram retardar a progressão da doença e manter o seu condicionamento físico.

De acordo com a Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde (CIF), o indivíduo apresenta alterações e limitações, representadas na Tabela 1.

2.1. PARTICIPANT

The participant was a 79-year-old male, retired, with a professional background as an airline pilot and university professor. He lived with his wife on the second floor of a building with an elevator, as well as access via eight stairs or a ramp, and remained independent in both situations.

He had been diagnosed with PD in 2014, with the first symptom manifesting as a right hallux tremor, of which he was unaware at the time. His medical history included bilateral total hip arthroplasty (THA) performed in 2017, 2020, and 2023 (the last of which was due to a right THA fracture) and cataract surgery in 2025, with no additional relevant comorbidities. Current medications consisted of pharmacological treatment for PD, benign prostatic hyperplasia, and vitamin supplementation.

The primary concern reported by the participant was difficulty tying shoelaces due to THA-related constraints. He also described gait limitations requiring the use of a four-wheeled rollator for longer distances, as well as apprehension regarding balance loss in confined or unfamiliar environments. Difficulties with balance in dynamic and unexpected situations were also identified. The participant's principal expectations were to slow disease progression and maintain his physical conditioning.

According to the International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF), the participant presented the limitations and restrictions detailed in Table 1.

Tabela/Table 1: Limitações do indivíduo de acordo com a CIF/Participant limitations according to the ICF.

Restrição da Participação/ Participation Restriction	Limitação da Atividade/ Activity Limitation	Alterações da Estrutura e Função/ Body Structure and Function Alterations
d540.2 – Calçar (dificuldade em atar os atacadores autonomamente, devido às PTA)/d540.2 – Putting on footwear (difficulty tying shoelaces independently due to THA)	<p>d465 – Deslocar-se utilizando um equipamento (recorre a auxiliar de marcha – andariço de quatro rodas – para percorrer longas distâncias)/d465 – Moving around using equipment (uses four-wheeled rollator for long distances)</p> <p>d455.1 – Subir/ descer (dificuldade a subir e descer escadas com autonomia, sem apoio do corrimão)/ d455.1 – Climbing (difficulty ascending/descending stairs without handrail support)</p> <p>d410.6 – Mudar o centro de gravidade do corpo (dificuldade na transferência de peso postero-anterior, apresentando ligeiro sinal de repulsão, devido à instabilidade postural existente)/ d410.6 – Shifting the body's center of gravity (difficulty with anteroposterior weight transfer, presenting a mild repulsion sign due to postural instability)</p> <p>d220 – Realizar tarefas múltiplas (dificuldade na execução da dupla tarefa motora-cognitiva)/d220 – Undertaking multiple tasks (difficulty with motor-cognitive dual-task execution)</p> <p>b455 – Funções de tolerância ao exercício/b455 – Exercise tolerance functions</p>	<p>b755 – Funções de reações motoras involuntárias (apresenta dificuldades nas reações de equilíbrio: ajustes posturais antecipatórios e nas respostas posturais reativas)/b755 – Involuntary movement reaction functions (difficulties with balance reactions: anticipatory postural adjustments and reactive postural responses)</p> <p>b765.0 – Contração involuntária dos músculos (apresenta discinesias no membro superior direito, distalmente)/ b765.0 – Involuntary contractions of muscles (dyskinesias in the right upper limb, distally)</p> <p>b780.0 – Sensação de rigidez muscular (apresenta rigidez ligeira nos membros superiores e rigidez marcada nos membros inferiores, essencialmente devido à colocação de PTA)/b780.0 – Sensation of muscle stiffness (mild upper-limb rigidity and marked lower-limb rigidity, primarily attributable to THA)</p> <p>b715 – Funções da estabilidade das articulações (alterações posturais: postura em flexão do tronco e anteriorização da cervical)/b715 – Stability of joint functions (postural changes: trunk flexion and anterior cervical shift)</p> <p>b720.1 – Mobilidade da pélvis (restrição da mobilidade da bacia, com alterações de mobilidade na relação tronco-pélvis)/b720.1 – Mobility of pelvis (restricted pelvic mobility, with impaired trunk-pelvis relationship)</p> <p>b730 – Funções da força muscular (fraqueza muscular generalizada)/ b730 – Muscle power functions (generalized muscle weakness)</p>
Legenda/Legend: DICF: International Classification of Functioning, Disability and Health; THA: Total Hip Arthroplasty.		

No momento da avaliação inicial, o indivíduo encontrava-se colaborante, bem-disposto e no período ON da medicação. Neste momento, foram aplicados os seguintes instrumentos de medida:

Mini-BESTest: avalia o equilíbrio em quatro parâmetros distintos e específicos do controlo postural: ajustes posturais antecipatórios, respostas posturais reativas, orientação sensorial e estabilidade na marcha, sendo a pontuação total 28 e o valor *cut-off* para risco de queda inferior a 21 pontos (Lopes et al., 2020). Apresenta um total de 14 itens, classificados de 0 (grave) a 2 (normal). Representa uma escala fidedigna, apresentando valores de teste/re-teste excelentes (ICC=0,92-0,98) (Di Carlo et al., 2016) e uma correlação muito significativa com a BESTest (r=0,9555) (Leddy et al., 2011).

Time Up and Go (TUG): avalia a mobilidade funcional, apresentando uma forte associação com a velocidade e com a capacidade funcional global. Constitui uma ferramenta clínica válida em indivíduos com DP, e apresentando valores de fidedignidade e de teste/re-teste excelentes (ICC=0,94-0,96) (Luque-Casado et al., 2021). A adição de uma tarefa cognitiva ao teste, aumenta a validade preditiva relacionada com o risco de queda (Çekok et al., 2020). O valor *cut-off* para risco de queda no teste TUG normal, com dupla tarefa motora (DTM) e dupla tarefa cognitiva (DTC) é de 12; 13,2 e 14,7 segundos, respetivamente. O utente não recorreu ao auxiliar de marcha (andariço), aquando da realização deste teste, uma vez que não necessita do mesmo para deslocações de curta distância, como é o caso do teste TUG. Assim, os resultados obtidos são considerados pertinentes para avaliar a mobilidade funcional em curtas distâncias, não devendo, contudo, ser extrapolados para deslocações mais longas, nas quais o indivíduo requer o uso do andariço.

Os dados obtidos na avaliação inicial encontram-se sistematizados na Tabela 2.

At the initial assessment, the participant was cooperative, in a positive disposition, and in the ON phase of medication. The following outcome measures were applied:

Mini-BESTest: evaluates balance across four distinct domains of postural control: anticipatory postural adjustments, reactive postural responses, sensory orientation, and dynamic gait stability, with a maximum score of 28 and a fall-risk cut-off below 21 points (Lopes et al., 2020). The scale comprises 14 items scored from 0 (severe impairment) to 2 (normal). It demonstrates excellent test-retest reliability (ICC=0.92-0.98) (Di Carlo et al., 2016) and a highly significant correlation with the full BESTest (r=0.9555) (Leddy et al., 2011).

TUG test: assesses functional mobility, with a strong association with walking speed and global functional capacity. It is a valid clinical tool in PD with excellent reliability and test-retest consistency (ICC=0.94-0.96) (Luque-Casado et al., 2021). The addition of a cognitive task increases predictive validity for fall risk (Çekok et al., 2020). Fall-risk cut-off values for the standard TUG, TUG with motor dual task (MDT), and TUG with cognitive dual task (CDT) are 12, 13.2, and 14.7 seconds, respectively. The participant performed the test without the rollator, as this assistive device is not required for short-distance ambulation such as that involved in the TUG. These results are therefore pertinent for assessing functional mobility over short distances and should not be extrapolated to longer-distance ambulation, for which the participant requires the rollator.

Initial assessment data are summarized in Table 2.

The physiotherapy diagnosis was as follows: a 79-year-old male individual presenting difficulty performing ADLs independently, such as tying shoelaces; limitations in independent long distance mobility; difficulty ascending

No que concerne ao diagnóstico em Fisioterapia: Indivíduo do sexo masculino, de 79 anos, com dificuldade em realizar Atividades da Vida Diária (AVD) autonomamente como atar os atacadores, restrição na deslocação autónoma a longas distâncias, subir e descer escadas sem apoio, sentar/ levantar, por risco de queda, devido à instabilidade postural, alterações do equilíbrio e controlo postural, rigidez muscular e fraqueza muscular generalizada, resultantes de um diagnóstico de DP.

and descending stairs without support; and difficulty sitting down and standing up due to fall risk associated with postural instability, impaired balance and postural control, muscle rigidity, and generalized muscle weakness resulting from a diagnosis of PD.

Tabela/Table 2: Dados recolhidos de avaliação inicial e avaliação final do participante/Initial and final assessment data.

Parâmetro/ Parameter	Avaliação Inicial/ Initial Assessment	Avaliação final/ Final Assessment	Varição/ Variation	Valores de Referência/ Reference Values
Mini-BESTest (total)/ Mini-BESTest (total)	19/28 s	21/28 s	+2 pontos/points (7,2%)	> 21 pontos/points
TUG sem dupla tarefa/ TUG (no dual task)	10,05 s	10,60 s	+0,55 s (5,5%)	< 12 s
TUG com DTM/ TUG with MDT	10,58 s	11,02 s	+0,44 s (4,2%)	< 13,2 s
TUG com DTC/ TUG with CDT	11,70 s	12,10 s	+0,40 s (3,4%)	< 14,7 s

Legenda/Legend: TUG :Time Up Go test, DTM: dupla tarefa motora; DTC. Dupla tarefa cognitiva, s. segundos/CDT: Cognitive Dual Task; MDT: Motor Dual Task; s: seconds; TUG: Timed Up and Go test.

2.2. PROTOCOLO DE INTERVENÇÃO

O participante foi submetido a um protocolo de intervenção em Fisioterapia, em contexto ambulatorio, baseado em treino de equilíbrio com recurso à tecnologia BlazePod®, ao longo de 8 sessões com a duração de 50 minutos cada, sessões de 1:1, ao longo de 4 semanas (duas sessões semanais de treino de equilíbrio com BlazePod® e uma de Fisioterapia Convencional (exercícios de alongamento, treino de equilíbrio e fortalecimento muscular). As sessões possuíam a seguinte distribuição semanal:

- Segunda-feira e sexta-feira: Treino Cardiorrespiratório + treino de equilíbrio com recurso aos dispositivos BlazePod®
 1. Treino Cardiorrespiratório: 20 minutos de passadeira (3 km/h, 1% de inclinação);
 2. Treino de equilíbrio com recurso à tecnologia BlazePod® - 17 minutos
 - Dois exercícios, 3 séries de 55 segundos cada (Tabela 3);
 - Tempo de descanso entre séries: 1 minuto em que o indivíduo permanece sentado numa cadeira e bebe água, caso relate necessidade;
 - Tempo de descanso entre os dois exercícios: 5 minutos;
 3. Retorno à calma (alongamentos) – 10 minutos
 - Avaliação e monitorização de sinais vitais no início e fim da sessão (Tensão Arterial (TA) e Frequência Cardíaca (FC)) – 3 minutos
- Quarta-feira: Fisioterapia Convencional
 1. Treino Cardiorrespiratório: 20 minutos de passadeira a uma velocidade de 3-3,5 km/h e 1% de inclinação, ou 15 minutos de elíptica ou bicicleta estática;
 2. Treino de equilíbrio em situações dinâmicas: exercícios de alcance e passo lateral recorrendo a

2.2. INTERVENTION PROTOCOL

The participant underwent an outpatient physiotherapy intervention protocol based on balance training using BlazePod® technology, consisting of 8 individual 1:1 sessions of 50 minutes each over four weeks: two weekly BlazePod® balance-training sessions and one conventional physiotherapy session (stretching, balance training, and muscle strengthening). The weekly distribution was as follows:

- Monday and Friday: Cardiorespiratory training + BlazePod® balance training
 1. Cardiorespiratory training: 20 minutes on the treadmill (3 km/h, 1% incline);
 2. BlazePod® balance training - 17 minutes
 - Two exercises, 3 sets of 55 seconds each (Table 3);
 - 1-minute seated rest between sets; 5-minute rest between exercises.
 3. Cool-down (stretching) – 10 minutes
 - Vital signs monitoring (blood pressure (BP) and heart rate (HR)) – 3 minutes
- Wednesday: Conventional Physiotherapy
 1. Cardiorespiratory training: 20 minutes on the treadmill at 3–3.5 km/h and 1% incline, or 15 minutes on the elliptical trainer or stationary bicycle;
 2. Dynamic balance training: reaching and lateral-stepping exercises on unstable surfaces (hedgehog balls, foam platforms, or mini-trampoline), with progressive incorporation of MDT (e.g., ball handling) and a motor-cognitive triple-task (maintaining a ball in hand while enumerating words from specific categories);

plataformas instáveis (como ouriços, plataformas de espuma ou trampolim), com integração progressiva de DTM (tal como manusear uma bola) e tripla tarefa motora-cognitiva (não deixar cair uma bola enquanto enumera palavras de categorias específicas);

3. Treino de mobilidade e transferências de peso: exercícios de báscula anterior da bacia com extensão do tronco e flexão dos ombros na posição de sentado; treino de transferência de peso pósterio-anterior na transição de sentado para de pé, com recurso a resistência externa (bastão de 2kg) e alcance anterior direcionado a alvos (cones); transferências de peso unilaterais com e sem rotação de tronco na posição de sentado ou na posição ortostática;
4. Treino de marcha: treino focado no aumento do comprimento do passo e da base de sustentação, através da ultrapassagem de obstáculos (cones) no solo e na passadeira, com incorporação de DTC (atribuição de categorias associadas às cores dos cones);
5. Treino de fortalecimento muscular: exercícios focados na musculatura anti gravítica dos membros inferiores, incluindo extensão do joelho em equipamento específico (*leg extension* – 3 séries de 15 repetições), bem como exercícios no solo para ativação do glúteo máximo, quadríceps e isquiotibiais (elevação alternada dos membros inferiores e flexão/extensão do joelho contra gravidade, com progressão para resistência manual do terapeuta).

Avaliação e monitorização de sinais vitais no início e fim da sessão (Tensão Arterial (TA) e Frequência Cardíaca (FC)) – 3 minutos.

O protocolo de intervenção proposto para este estudo de caso encontra-se descrito na Tabela 3.

É importante salientar que este protocolo integra múltiplas componentes de intervenção (treino cardiorrespiratório em passadeira, treino de equilíbrio com BlazePod®, alongamentos e fortalecimento muscular). Desta forma, não é possível isolar e atribuir os efeitos observados exclusivamente ao treino com BlazePod®.

3. Mobility and weight-transfer training: anterior pelvic tilt with trunk extension and shoulder flexion in sitting; anteroposterior weight transfer during sit-to-stand, using external resistance (2 kg pole) and directed anterior reaching towards targets (cones); unilateral weight transfers with and without trunk rotation in sitting and standing positions;
4. Gait training: focused on increasing step length and base of support through obstacle clearance (cones) on the floor and treadmill, with incorporation of CDT (assigning categories to cone colors);
5. Muscle strengthening: exercises targeting lower-limb anti-gravity musculature, including knee extension on a leg extension machine (3 sets of 15 repetitions), and floor exercises for gluteus maximus, quadriceps, and hamstring activation (alternating lower-limb raises and knee flexion/extension against gravity, with progression to manual resistance).

Vital signs monitoring at session start and end: 3 minutes.

The intervention protocol is described in detail in Table 3.

It should be noted that this protocol integrates multiple intervention components (treadmill cardiorespiratory training, BlazePod® balance training, stretching, and muscle strengthening). Given this multicomponent design, it is not possible to isolate and attribute the observed effects exclusively to BlazePod® training.

Tabela/Table 3: Protocolo de intervenção do treino de equilíbrio com recurso aos BlazePod®/BlazePod® balance training intervention protocol.

Semana/ Week	Exercício/ Exercise 1	Exercício/ Exercise 2
Semana/ Week 1	Quatro <i>pods</i> dispostos em quadrado, a 20 cm de uma plataforma instável (espuma quadrada). Modo "Random": uma única cor surgia de forma sequencial e aleatória. O utente apagava os estímulos luminosos localizados à esquerda com o MIE e à direita com o MID/ Four <i>pods</i> arranged in a square, 20 cm away from an unstable platform (square foam pad). "Random" mode: a single color appeared sequentially and randomly. The patient deactivated stimuli on the left with the left lower extremity (LLE) and on the right with the right lower extremity (RLE).	Quatro <i>pods</i> dispostos em arco, a 20 cm da plataforma instável (espuma quadrada). Modo "Random": uma única cor surgia de forma sequencial e aleatória. O indivíduo realizava um passo dentro da plataforma em direção ao estímulo, apagando-o com o MIE (os que surgiam à esquerda) ou MID (os que surgiam à direita)/Four <i>pods</i> arranged in an arc, 20 cm away from the unstable platform (square foam pad). "Random" mode: a single color appeared sequentially and randomly. The patient stepped onto the platform towards the stimulus, deactivating it with the LLE (stimuli appearing on the left) or RLE (stimuli appearing on the right).
Semana/ Week 2	Quatro <i>pods</i> dispostos em linha reta, a 15 cm da plataforma instável (espuma retangular), promovendo deslocações laterais dentro da mesma. Modo "Random": Introdução da permissão do cruzamento da linha média e da DTM: elevar MS contralateral ao MI usado para apagar o estímulo/Four <i>pods</i> arranged in a straight line, 15 cm away from the unstable platform (rectangular foam pad), promoting lateral displacements within it. "Random" mode. Midline crossing was permitted; MDT introduced: raising the contralateral upper extremity (UE) to the limb used to deactivate the stimulus.	Cinco <i>pods</i> dispostos em linha reta, a 15 cm da plataforma instável (espuma retangular). Modo "Random": Introdução de cinta com resistência posterior. Manutenção da DTM. O indivíduo desativava os <i>pods</i> através de deslocações laterais e era permitido o cruzamento da linha média/Five <i>pods</i> arranged in a straight line, 15 cm away from the unstable platform (rectangular foam pad). "Random" mode. Introduction of the posterior resistance belt. MDT maintained. The participant deactivated <i>pods</i> via lateral displacements; midline crossing permitted.

<p>Semana/ Week 3</p>	<p>Quatro <i>pods</i> em semicírculo, a 20 cm da plataforma instável (espuma quadrada). Modo "Focus": um pod azul (a desativar) e dois vermelhos (distrativos). Uso da cinta com resistência posterior. Deslocamentos dentro da plataforma e cruzamento da linha média eram permitidos/ Four pods in a semicircle, 20 cm away from the unstable platform (square foam pad). "Focus" mode: one blue pod (to deactivate) and two red distractors. Posterior resistance belt used. Lateral displacements within the platform and midline crossing permitted.</p>	<p>Seis <i>pods</i> dispostos em arco, à frente da plataforma instável – espuma quadrada – (a 20 cm, exceto o mais próximo a 10 cm). Modo "Focus": um pod azul (a desativar) e dois vermelhos (distrativos). Introdução da DTC: nomear um objeto ao apagar a luz azul quando a mesma surgisse no dispositivo mais dianteiro. Uso da cinta de resistência posterior/Six <i>pods</i> in an arc in front of the unstable platform – square foam pad – (20 cm away, except the nearest at 10 cm). "Focus" mode: one blue pod (to deactivate) and two red distractors. CDT introduced: naming an object when deactivating the blue light as it appeared on the most anterior pod. Posterior resistance belt used.</p>
<p>Semana/ Week 4</p>	<p>Cinco <i>pods</i> em semicírculo, a 20 cm da plataforma instável (espuma quadrada). Modo "Random": duas cores surgiam alternada e aleatoriamente. Introdução de DTC com categorias semânticas: Azul – países; Verde – frutas. Com sinal sonoro de uma palma emitida pelo avaliador, invertia-se as categorias associadas às cores/Five pods in a semicircle, 20 cm away from the unstable platform (square foam pad). "Random" mode: two colors appeared alternately and randomly. Introduction of CDT with semantic categories: Blue – countries; Green – fruits. Upon an auditory cue (handclap from the assessor), the category-color associations were reversed.</p>	<p>Mesma disposição e número de <i>pods</i> do exercício 2 da semana anterior. Modo "Random": duas cores surgiam alternada e aleatoriamente; Azul – números ímpares; Verde – profissões. Manutenção da DTC e cinta de resistência posterior. Aumento do desafio: ao colocar um pino no dispositivo mais dianteiro, o indivíduo nomeava uma marca iniciada pela letra indicada pelo avaliador/Same pod arrangement and number as Exercise 2 from the previous week. "Random" mode: two colors appeared alternately and randomly; Blue – odd numbers; Green – professions. CDT and posterior resistance belt maintained. Increased challenge: when stepping onto the most anterior pod, the participant named a brand beginning with a letter indicated by the assessor.</p>
<p>Legenda/Legend: MIE: Membro Inferior Esquerdo; MID: Membro Inferior Direito; DTM: Dupla Tarefa Motora; MS: Membro Superior; MI: Membro Inferior; DTC: Dupla Tarefa Cognitiva/CDT: Cognitive Dual Task; LE: Lower Extremity; LLE: Left Lower Extremity; MDT: Motor Dual Task; RLE: Right Lower Extremity; UE: Upper Extremity.</p>		

3. RESULTADOS

A reavaliação foi realizada após as 4 semanas de intervenção. Os resultados da avaliação inicial e da final encontram-se representados na Tabela 2.

O Mini-BESTest revelou aumento do *score* total de 19/28 (67,85%) para 21/28 (75%), ultrapassando o *cut-off* para risco de queda. Destacaram-se aumentos nos ajustes posturais compensatórios para trás (classificação de 0 para 1, necessitando agora de apenas três passos para recuperar o equilíbrio) e na orientação sensorial, que atingiu a pontuação total. Por outro lado, o *subscore* da Estabilidade na Marcha apresentou ligeira redução devido à interferência de dupla tarefa cognitiva.

Na mobilidade funcional, o teste TUG em todas as suas variantes revelou um ligeiro aumento no tempo total de realização da tarefa, porém nunca superior a 0,55 segundos, mantendo-se consistentemente abaixo do *cut-off* para risco de queda.

Durante as sessões com BlazePod®, foram ainda monitorizados parâmetros como sinais vitais no início e fim das sessões, número de *hits* nos dispositivos e tempo de reação em cada série, bem como o número de respostas erradas e não nomeadas quando incorporada a DTC (Tabela 4).

A monitorização dos sinais vitais revelou valores de FC basal (antes do treino na passadeira) que variaram entre 56 e 73 bpm. É importante notar que o aquecimento realizado na passadeira pode ter influenciado os valores de FC registados antes do treino com BlazePod®.

3. RESULTS

Reassessment was conducted following the four-week intervention. Initial and final assessment results are presented in Table 2.

Mini-BESTest revealed an increase in the total score from 19/28 (67.85%) to 21/28 (75%), exceeding the fall-risk cut-off. Notable improvements were recorded in backward compensatory postural adjustments (shifting from a score of 0 to 1, with the participant now requiring only three steps to regain balance) and in sensory orientation, which reached the maximum subscore. In contrast, the gait stability subscore showed a slight reduction attributable to cognitive dual-task interference.

Regarding functional mobility, the TUG test across all conditions showed a marginal increase in total task completion time, never exceeding 0.55 seconds, and remained consistently below the fall-risk cut-off across all variants.

During the BlazePod® sessions, additional parameters were monitored, including vital signs at session start and end, number of device hits and reaction time per set, as well as the number of incorrect or unnamed responses under CDT conditions (Table 4).

Vital signs monitoring revealed resting HR values (recorded prior to the treadmill warm-up) ranging from 56 to 73 bpm. It should be noted that the treadmill warm-up may have influenced the HR values recorded prior to the BlazePod®.

Tabela/Table 4: Parâmetros monitorizados durante as sessões com BlazePod®/Parameters monitored during BlazePod® sessions.

Semana/ Week 1	Semana/ Week 2	Semana/ Week 3	Semana/ Week 4
<p>Dia 1 (segunda-feira)/ Day 1 (Monday) TA e FC/BP and HR: Início/Start: 149/63 mmHg; 65 bpm Fim/End: 156/85mmHg; 74 bpm</p> <p>Exercício 1: Hits: 28; 15; 32. Tempo de reação (s)/ Reaction Time (s): 1,9; 3,5; 1,7.</p> <p>Exercício 2: Hits: 25; 28; 26. Tempo de reação (s)/ Reaction Time (s): 2,1; 2,1; 2,0.</p>	<p>Dia 3 (segunda-feira)/ Day 3 (Monday) TA e FC/BP and HR: Início/Start: 117/76 mmHg; 61 bpm Fim/End: 123/69 mmHg; 96 bpm</p> <p>Exercício 1: Hits: 17; 25; 28 Tempo de reação (s)/ Reaction Time (s): 3,2; 2,1; 1,9</p> <p>Exercício 2: Hits: 19; 24; 23 Tempo de reação (s)/ Reaction Time (s): 2,8; 2,2; 2,3</p>	<p>Dia 5 (segunda-feira)/ Day 5 (Monday) TA e FC/BP and HR: Início/Start: 125/72 mmHg; 64 bpm Fim/End: 130/75 mmHg; 84 bpm/</p> <p>Exercício 1: Hits: 16; 18; 23. Tempo de reação (s)/ Reaction Time (s): 2,9; 2,8; 2,3. Nº de luzes vermelhas (proibidas) tocadas/ No. of red (forbidden) lights activated: 5, 4, 2.</p> <p>Exercício 2: Hits: 23; 27; 24 Tempo de reação (s)/ Reaction Time (s): 2,3; 2,0; 2,1 Nº de luzes vermelhas (proibidas) tocadas/ No. of red (forbidden) lights activated: 3, 2, 3 Nº de respostas erradas na DTC/No. of incorrect CDT responses: 3</p>	<p>Dia 7 (segunda-feira)/ Day 7 (Monday) TA e FC/BP and HR: Início/Start: 125/66 mmHg; 65 bpm Fim/End: 127/76 mmHg; 76 bpm</p> <p>Exercício 1: Hits: 15; 17; 18. Tempo de reação (s)/ Reaction Time (s): 3,3; 3,2; 2,9. DTC: 4 respostas erradas e 5 não nomeadas/ CDT: 4 incorrect, 5 unnamed</p> <p>Exercício 2: Hits: 14; 14; 12. Tempo de reação (s)/ Reaction Time (s): 4,4; 4,4; 3,3. DTC: 4 respostas erradas e 2 não nomeadas/ CDT: 4 incorrect, 2 unnamed.</p>
<p>Dia 2 (sexta-feira)/ Day 2 (Friday) TA e FC/BP and HR: Início/Start: 108/65 mmHg; 64 bpm Fim/End: 113/74 mmHg; 86 bpm</p> <p>Exercício/Exercise 1: Hits: 22; 21; 18. Tempo de reação (s)/ Reaction Time (s): 2,3; 2,5; 3,0.</p> <p>Exercício/Exercise 2: Hits: 20; 25; 24. Tempo de reação (s)/ Reaction Time (s): 2,7; 2,1; 2,1.</p>	<p>Dia 4 (sexta-feira)/ Day 4 (Friday) TA e FC/BP and HR: Início/Start: 131/83 mmHg; 64 bpm Fim/End: 133/74 mmHg; 84 bpm</p> <p>Exercício/Exercise 1: Hits: 21; 23; 25 Tempo de reação (s)/ Reaction Time (s): 2,6; 2,3; 2,2</p> <p>Exercício/Exercise 2: Hits: 24; 27; 32 Tempo de reação (s)/ Reaction Time (s): 2,3; 2,0; 1,7</p>	<p>Dia 6 (sexta-feira)/ Day 6 (Friday) TA e FC/BP and HR: Início/Start: 128/79 mmHg; 73 bpm Fim: 113/75 mmHg; 70 bpm</p> <p>Exercício/Exercise 1: Hits: 19; 21; 24. Tempo de reação (s): 2,8; 2,4; 2,0. Nº de luzes vermelhas (proibidas) tocadas/ No. of red (forbidden) lights activated: 2, 1, 6.</p> <p>Exercício/Exercise 2: Hits: 24; 26; 25. Tempo de reação (s)/ Reaction Time (s): 2,3; 2,0; 2,0. Nº de luzes vermelhas (proibidas) tocadas/ No. of red (forbidden) lights activated: 1, 6, 6. Nº de respostas erradas na DTC/No. of incorrect CDT responses: 2</p>	<p>Dia 8 (quarta-feira)/ Day 8 (Friday) TA e FC/BP and HR: Início/Start: 129/71 mmHg; 56 bpm Fim/End: 138/82 mmHg; 70 bpm</p> <p>Exercício/Exercise 1: Hits: 12; 14; 16. Tempo de reação (s): 4,0; 3,6; 3,4. DTC: 3 respostas erradas e 3 não nomeadas/ CDT: 3 incorrect and 3 unnamed.</p> <p>Exercício/Exercise 2: Hits: 9; 10; 9. Tempo de reação (s)/ Reaction Time (s): 6,1; 8,8; 8,3. DTC: 3 respostas erradas e 2 não nomeadas/ CDT: 3 incorrect and 2 unnamed.</p>

4. DISCUSSÃO

O presente estudo de caso teve como objetivo descrever um protocolo de intervenção, que integrou treino de equilíbrio com tecnologia BlazePod®, na intervenção de um indivíduo com DP.

O protocolo implementado é composto por várias componentes, integrando treino cardiorrespiratório em passadeira, treino de equilíbrio com BlazePod® e fisioterapia convencional. Tal como o estudo foi delineado, não é possível assegurar que os efeitos observados sejam atribuíveis especificamente ao BlazePod®. A ausência de uma condição de controlo ou de uma análise isolada de cada componente limita a validade das conclusões sobre a eficácia específica do treino com BlazePod®.

Assim, cada componente do protocolo possui fundamentação científica própria que pode ter contribuído para os resultados observados. O treino cardiorrespiratório em passadeira demonstra benefícios na função motora e plasticidade cerebral na DP (M. E. Johansson *et al.*, 2022), promovendo neurogénese e angiogénese. O fortalecimento muscular e treino de equilíbrio em superfícies instáveis (fisioterapia convencional) são eficazes na melhoria da estabilidade postural (Radder *et al.*, 2017). Os alongamentos contribuem para a manutenção da amplitude de movimento, frequentemente comprometida pela rigidez característica da DP

training component.

4. DISCUSSION

The aim of this case report was to describe a physiotherapy intervention protocol integrating BlazePod® balance training in an individual with PD.

The implemented protocol comprised multiple components, including treadmill cardiorespiratory training, BlazePod® balance training, and conventional physiotherapy. As designed, the study does not allow attribution of the observed effects specifically to BlazePod® training. The absence of a control condition or an isolated analysis of each component limits the validity of conclusions regarding the specific efficacy of BlazePod® based training.

Each protocol component has its own scientific rationale that may have contributed to the observed outcomes. Treadmill cardiorespiratory training has demonstrated benefits in motor function and neuroplasticity in PD (M. E. Johansson *et al.*, 2022), promoting neurogenesis and angiogenesis. Muscle strengthening and balance training on unstable surfaces (conventional physiotherapy) are effective in improving postural stability (Radder *et al.*, 2017). Stretching contributes to the maintenance of range of motion, which is frequently compromised by the rigidity characteristic of PD (Borrione *et al.*, 2014). The improvements observed are therefore likely to reflect the synergistic effect of these components and cannot

(Borrione *et al.*, 2014). Assim, as melhorias observadas refletem, provavelmente, o efeito sinérgico destes componentes, não podendo ser atribuídas isoladamente ao treino com BlazePod®.

A realização de avaliações subjetivas e objetivas permitiu identificar os principais problemas e definir os objetivos de intervenção. O protocolo de intervenção foi estruturado de acordo com os objetivos do presente estudo e fundamentado na evidência científica atualmente disponível. O mesmo teve a duração de quatro semanas, com três sessões de fisioterapia semanais (duas de treino de equilíbrio com BlazePod® e uma de fisioterapia convencional), cada uma com a duração de 50 minutos.

Após a reavaliação, verificaram-se melhorias na medida primária, uma vez que o indivíduo deixou de apresentar risco de queda, evidenciado por uma pontuação total de 21/28 no Mini-BESTest (Lopes *et al.*, 2020). O aumento da pontuação evidenciou-se pela obtenção do valor máximo no *subscore* da orientação sensorial e pela melhoria na resposta do passo compensatório para trás, sendo que na reavaliação, o indivíduo demonstrou capacidade de executar três passos para restabelecer o equilíbrio, face à avaliação inicial, na qual não era capaz de dar um único passo. Na medida secundária, referente à mobilidade funcional, não se observaram variações relevantes nos resultados do teste TUG sem dupla tarefa nem na versão com DTM. Contudo, foi registada uma variação negativa de 0,4 segundos na versão com DTC, sugerindo um ligeiro aumento da interferência cognitiva na execução da tarefa. A comparação entre os resultados obtidos e os *cut-off* (Vance *et al.*, 2015) do teste TUG, sugerem que o indivíduo não apresenta risco de queda.

No exercício 1 do dia 2 da intervenção, observou-se uma diminuição do número de acertos (*hits*) e um aumento progressivo do tempo de reação ao longo das séries, possivelmente associado a um quadro de fadiga. Esta pode ter origem multifatorial, incluindo fatores extrínsecos à intervenção (como qualidade de sono ou estado emocional) ou intrínsecos ao próprio protocolo (acumulação de fadiga ao longo das séries). A não monitorização destes fatores constitui uma limitação do presente estudo, dificultando a interpretação precisa destas variações. Na semana 3, registou-se um decréscimo gradual no número de estímulos luminosos vermelhos tocados com a repetição das séries. Contudo, esse número nunca se aproximou de zero, o que poderá ser justificado pela presença de bradicinesia, sintoma motor característico do estágio 3 da DP, segundo a classificação de Hoehn e Yahr.

Já na semana 4, no segundo dia de intervenção, não foi possível iniciar a sessão com o treino cardiorrespiratório na passarela, em virtude da indisponibilidade temporária do equipamento no horário previsto. Assim, iniciou-se a sessão pelos exercícios de treino de equilíbrio com BlazePod®. Esta alteração poderá ter influenciado negativamente o desempenho do indivíduo com DP face ao primeiro dia de intervenção da mesma semana, refletindo-se numa diminuição do número *hits* e num aumento significativo do tempo de reação. Observou-se também maior interferência cognitiva durante a execução da tarefa de DTC no segundo exercício, nomeadamente na nomeação de marcas, que se agravava com a repetição, possivelmente também associada à fadiga

be attributed to BlazePod® training in isolation.

The application of subjective and objective assessments enabled identification of the primary presenting problems and establishment of intervention objectives. The protocol was structured in accordance with the study aims and grounded in the best available evidence, delivered over four weeks comprising three weekly physiotherapy sessions (two of BlazePod® balance training and one of conventional physiotherapy), each lasting 50 minutes.

Following reassessment, improvements were observed in the primary outcome: the participant no longer met the criteria for fall risk, as evidenced by a Mini-BESTest total score of 21/28 (Lopes *et al.*, 2020). Score improvements were attributable to obtaining the maximum sensory orientation subscore and to improved backward compensatory step response – the participant demonstrated the capacity to take three steps to restore balance at reassessment, compared to an inability to take even a single step at baseline. Regarding the secondary outcome of functional mobility, no meaningful changes were observed in TUG performance under single-task or MDT conditions. A negative variation of 0.4 seconds was recorded under the CDT condition, suggesting a slight increase in cognitive interference during task execution. Comparison with established cut-off values (Vance *et al.*, 2015) suggested the absence of fall risk across all TUG variants.

In exercise 1 on day 2, a decrease in the number of hits and a progressive increase in reaction time across sets were observed, potentially indicative of fatigue. This may have had a multifactorial origin, including extrinsic factors (e.g., sleep quality or emotional state) and protocol-intrinsic factors (e.g., cumulative fatigue across sets). The absence of systematic monitoring for these variables constitutes a limitation of the present study. In week 3, a gradual decrease in the number of red inhibitory stimuli successfully avoided was noted across repeated sets; however, this number never approached zero, which may be partly explained by bradykinesia – a cardinal motor feature of stage 3 PD according to the Hoehn and Yahr classification.

In week 4, on the second session day, it was not possible to start the session with the treadmill cardiorespiratory component due to temporary equipment unavailability. The session therefore began directly with the BlazePod® balance exercises. This alteration may have adversely affected performance relative to the first session of that week, reflected in a reduced number of hits and a marked increase in reaction time. Greater cognitive interference was also observed during CDT performance in the second exercise, particularly in the brand-naming task, which worsened with set repetition, potentially also attributable to accumulated fatigue.

Progressive exercise modifications were introduced to incrementally increase task difficulty and integrate components relevant to the targeted objectives. The introduction of a long, rectangular unstable platform aimed to challenge dynamic postural control, requiring continuous center-of-mass adjustments during lateral displacement while simultaneously counteracting the tendency for short steps. The posterior resistance belt was particularly relevant in mitigating the participant's retropulsive tendency, actively

acumulada.

Foram introduzidas progressões nos exercícios, com o intuito de aumentar gradualmente o nível de dificuldade e integrar componentes relevantes para o alcance dos objetivos delineados. A introdução de uma plataforma instável, de formato retangular e comprido, teve como finalidade desafiar o controlo postural dinâmico, exigindo ajustes contínuos do centro de massa durante movimentos de deslocação lateral, contrariando simultaneamente a tendência para passos curtos. A utilização da cinta com resistência posterior demonstrou ser particularmente relevante, ao contribuir para a mitigação da tendência do indivíduo para retropulsão, enquanto promoveu respostas de ajuste postural compensatório (APC). A adição de um dispositivo em determinados exercícios, teve como objetivo aumentar a complexidade sensorio-motora da tarefa, implicando maior exigência na integração visuoespacial e na capacidade de atenção seletiva. A alteração do modo de funcionamento do sistema, passando de "Random" para "Focus", isto é, passando de um modo com uma só luz de uma só cor para um modo em que é possível introduzir mais do que uma cor no desafio, possibilitou a introdução de estímulos distrativos, exigindo a capacidade de selecionar o estímulo relevante, promovendo assim a atenção seletiva e a discriminação visual. Por fim, a implementação de tarefas em DTC visou simular contextos funcionais do quotidiano, nos quais os domínios do equilíbrio e da cognição são simultaneamente solicitados (Kiss *et al.*, 2018).

De acordo com Fernandes *et al.* (2021), exercícios de dupla tarefa envolvem a execução de uma atividade principal, que é o principal foco de atenção, e uma atividade secundária em simultâneo. Neste contexto, os sistemas motor e cognitivo atuam reciprocamente para garantir efeitos mais pronunciados. Adicionalmente, este estudo sobre os efeitos do exercício físico de dupla tarefa demonstrou impactos positivos sobre a instabilidade postural em indivíduos com DP, através da integração multissensorial durante tarefas complexas, permitindo ajustes corporais mais eficazes face a perturbações do equilíbrio (Ferrè *et al.*, 2015; Gabriel *et al.*, 2022). O treino de dupla tarefa desafia o sistema nervoso central a processar e integrar simultaneamente *inputs* de diferentes sistemas sensoriais, promovendo a plasticidade neural e a eficiência dos mecanismos compensatórios (Gabriel *et al.*, 2022). Este quadro teórico auxilia na interpretação dos resultados obtidos no presente estudo de caso, particularmente nas melhorias observadas na integração sensorial. A pontuação máxima alcançada pelo indivíduo no *subscore* de Orientação Sensorial da Mini-BESTest pode ser compreendida como resultado direto desta interação recíproca entre os sistemas motor e cognitivo durante o treino.

O protocolo implementado neste estudo de caso, que combinou estímulos visuais reativos com progressões de complexidade, alinha-se com o estudo de Rosa *et al.* (2024), que destacou que a dupla tarefa representa uma maior exigência no planeamento do movimento. Esta pode explicar a ligeira variação negativa observada no teste TUG com DTC, sugerindo que, apesar da melhoria global no equilíbrio, a integração de tarefas cognitivas e motoras simultâneas continua a representar um desafio para o sistema de controlo motor do indivíduo com DP.

facilitating compensatory postural adjustment (CPA) responses. The addition of a pod in certain exercises aimed to increase the sensorimotor complexity of the task, placing greater demands on visuospatial integration and selective attention. Transitioning the system mode from "Random" to "Focus", that is, from a single-color, single-light mode to one admitting multiple colors, introduced distracting stimuli, requiring discrimination of the relevant cue and thereby promoting selective attention and visual discrimination. Finally, the implementation of CDT conditions was designed to simulate functional real-world contexts in which balance and cognition are simultaneously engaged (Kiss *et al.*, 2018).

According to Fernandes *et al.* (2021), dual-task exercises involve the concurrent execution of a primary activity and a secondary activity. In this context, the motor and cognitive systems interact reciprocally to produce more pronounced effects. The same study demonstrated positive impacts of dual-task physical exercise on postural instability in PD through multisensory integration during complex tasks, enabling more effective body adjustments in response to balance perturbations (Ferrè *et al.*, 2015; Gabriel *et al.*, 2022). Dual-task training challenges the central nervous system to simultaneously process and integrate inputs from multiple sensory systems, promoting neural plasticity and the efficiency of compensatory mechanisms (Gabriel *et al.*, 2022). This theoretical framework assists in interpreting the results of this case report, particularly the improvements in sensory integration. The maximum score achieved on the sensory orientation subscore of the Mini-BESTest may be understood as a direct consequence of this reciprocal motor-cognitive interaction during training.

The protocol implemented in this case report, combining reactive visual stimuli with progressive complexity, aligns with the findings of Rosa *et al.* (2024), who highlighted that dual-task conditions impose greater demands on movement planning. This may account for the slight negative variation observed in the TUG with CDT, suggesting that, despite the overall improvement in balance, the concurrent engagement of cognitive and motor processes remains a significant challenge for the motor control system of individuals with PD.

The intersection of dual-task training and visual cueing represents a potentially clinically relevant area of investigation, although the available evidence, including the ones of the present study, does not yet permit definitive conclusions regarding its efficacy. Nevertheless, the improvement observed in backward reactive postural responses is consistent with the findings of a perturbation-based balance training study, which reported more stable postural responses in individuals with PD (Souza *et al.*, 2023). That study documented reductions in center-of-pressure displacement, velocity, and directional reversal time, as well as a reduction in near-falls following the intervention.

This body of evidence on the efficacy of visual cueing in PD rehabilitation establishes the theoretical basis for understanding the mechanisms underlying the improvements observed in this study, particularly with respect to postural adjustments. CPAs are reactive responses triggered by sensory feedback signals following a balance perturbation (Yelshyna *et al.*, 2016), and are critical for fall prevention, though their efficacy is diminished in

A interseção entre treino de dupla tarefa e pistas visuais constitui uma área de investigação com potencial relevância clínica, embora os dados disponíveis, incluindo os do presente estudo, não permitam ainda conclusões definitivas sobre a sua eficácia. Ainda assim, a melhoria observada nas respostas posturais reativas para trás vai ao encontro dos resultados de um estudo sobre treino de equilíbrio baseado em perturbação, que demonstrou respostas posturais mais estáveis em indivíduos com DP (Souza *et al.*, 2023). Este estudo relatou uma diminuição do deslocamento do centro de pressão, velocidade e tempo para reversão da direção, bem como redução no número de quase-quedas após a intervenção.

Este conjunto de evidências sobre a eficácia das pistas visuais na intervenção em DP estabelece a fundamentação teórica para compreender os mecanismos subjacentes às melhorias observadas no presente estudo, particularmente nos ajustes posturais. Os APC são respostas reativas desencadeadas por sinais de *feedback* sensorial que ocorrem após uma perturbação no equilíbrio (Yelshyna *et al.*, 2016), sendo cruciais para evitar quedas, embora menos eficazes em indivíduos com DP, possivelmente devido à bradicinesia e rigidez dos mesmos, o que reduz os seus limites de estabilidade.

No presente estudo, a utilização dos dispositivos BlazePod® proporcionou estímulos visuais dinâmicos e imprevisíveis que desafiaram o sistema de controlo postural do indivíduo. A melhoria observada na pontuação total do Mini-BESTest (de 67,85% para 75%) pode ser compreendida à luz desta relação entre estímulos visuais e ajustes posturais. A utilização da cinta com resistência posterior durante os exercícios foi particularmente relevante para contrariar a tendência de retropulsão do indivíduo, promovendo ativamente respostas de APC.

Adicionalmente, o estudo de Pelicioni *et al.* (2023) demonstra que a combinação de treino de passos reativos e volitivos pode melhorar a recuperação do equilíbrio após uma perturbação induzida e o tempo de reação do passo voluntário, sugerindo redução do número de quedas em utentes com DP. Nesse sentido, a implementação dos BlazePod® exige respostas rápidas a estímulos visuais inesperados (por exemplo, tocar no *pod* iluminado após uma perturbação) e movimentos intencionais controlados, como deslocar-se até um *pod* iluminado ou mudar de direção conforme os estímulos visuais surgem. Paralelamente, este equipamento permite delinear tarefas que desafiem a estabilidade postural (alcançar *pods* iluminados durante deslocações dinâmicas), estimulando os sistemas neuromusculares responsáveis pelo controlo postural e, assim, compensando os tempos de reação mais lentos frequentemente observados na DP.

Para indivíduos com déficit de equilíbrio, como idosos e indivíduos com DP, os BlazePod® podem ser estrategicamente posicionados a diferentes distâncias, incentivando a transferência do peso para além da base de sustentação. Esta dinâmica promove um treino que desafia o equilíbrio e controlo postural, estimulando os APC e os ajustes posturais antecipatórios, necessários para a manutenção da estabilidade. Esta combinação de tecnologia avançada e cuidados personalizados reflete a evolução da fisioterapia ao oferecer abordagens inovadoras que aprimoram a experiência e os

PD, possivelmente devido à bradicinesia e rigidez, que reduzem os limites de estabilidade do indivíduo.

Neste estudo, os dispositivos BlazePod® forneceram estímulos visuais dinâmicos e imprevisíveis que desafiaram o sistema de controlo postural do participante. A melhoria na pontuação total do Mini-BESTest (de 67,85% para 75%) pode ser compreendida no âmbito desta relação entre estímulos visuais e ajustes posturais. O cinto de resistência posterior utilizado durante os exercícios foi particularmente relevante para contrariar a tendência de retropulsão do participante, facilitando ativamente as respostas de CPA.

Pelicioni *et al.* (2023) demonstraram que o treino combinado de passos reativos e volitivos pode melhorar a recuperação do equilíbrio após perturbações induzidas e reduzir o tempo de reação voluntária, sugerindo uma redução na frequência de quedas em PD. Neste âmbito, o treino com BlazePod® exige respostas rápidas a estímulos visuais inesperados (por exemplo, desativar um *pod* iluminado após uma perturbação) e controlar movimentos intencionais, como mover-se para um *pod* iluminado ou mudar de direção em resposta a pistas visuais. Além disso, este equipamento permite o design de tarefas que desafiem a estabilidade postural (alcançar *pods* iluminados durante deslocamentos dinâmicos), estimulando os sistemas neuromusculares responsáveis pelo controlo postural e, assim, compensando os tempos de reação mais lentos frequentemente observados em PD.

Em indivíduos com déficits de equilíbrio, como idosos e aqueles com PD, os dispositivos BlazePod® podem ser estrategicamente posicionados a diferentes distâncias para incentivar a transferência de peso para além da base de sustentação. Isto promove o treino que desafia o equilíbrio e o controlo postural, estimulando tanto as respostas de CPA quanto as respostas de ajuste postural antecipatório necessárias para manter a estabilidade. Esta combinação de tecnologia avançada e cuidados personalizados reflete a evolução da fisioterapia ao oferecer abordagens inovadoras que melhoram a experiência e os resultados (Upstream Rehabilitation, 2025).

Embora a literatura recomenda sessões semanais para intervenções de pistas visuais (Han *et al.*, 2023; Kearney *et al.*, 2019), este caso relata que um protocolo multicomponente administrado três vezes por semana pode, apesar disso, gerar melhorias significativas no equilíbrio.

Os resultados deste caso relata ilustram como o BlazePod® pode servir como uma ferramenta promissora para operacionalizar princípios baseados em evidências de treino de equilíbrio em PD. Ao integrar estímulos visuais, desafios de ajuste postural e condições de dupla tarefa, o protocolo implementado abordou múltiplos déficits associados com instabilidade postural em PD simultaneamente. Esta abordagem centrada no participante resultou em melhorias clinicamente significativas no equilíbrio geral e, especificamente, na capacidade de gerar respostas posturais reativas eficazes.

A interpretação dos resultados deve considerar o perfil funcional do participante na linha de base. Apesar da classificação de estágio 3 na escala de Hoehn e Yahr, o participante exibiu valores relativamente preservados de TUG (10,05 segundos na linha de base), abaixo do limiar de risco de queda (>12 segundos). Este bom desempenho funcional na linha de base pode ter limitado o potencial para melhorias adicionais, considerando as modestas mudanças observadas no desempenho de TUG. Em contraste, a pontuação inicial do Mini-BESTest (19/28) ficou abaixo do limiar (21 pontos),

resultados da reabilitação (Upstream Rehabilitation, 2025).

Embora a literatura recomende cinco sessões semanais para pistas visuais (Han *et al.*, 2023; Kearney *et al.*, 2019), o presente estudo sugere que um protocolo multicomponente aplicado três vezes por semana pode originar melhorias no equilíbrio.

Os resultados deste estudo de caso evidenciam como os BlazePod® constituem uma ferramenta promissora para a operacionalização dos princípios de treino de equilíbrio baseados em evidência na DP. Ao integrar estímulos visuais, desafios aos ajustes posturais e dupla tarefa, o protocolo implementado conseguiu abordar simultaneamente múltiplos défices subjacentes à instabilidade postural, característica da DP. Esta abordagem personalizada às necessidades específicas do utente, resultou em melhorias clinicamente relevantes no equilíbrio global e, especificamente, na capacidade de gerar respostas posturais reativas eficazes.

A interpretação dos resultados deve considerar o perfil funcional inicial do indivíduo. Apesar do estágio 3 de Hoehn e Yahr, o indivíduo apresentava valores de TUG relativamente preservados (10,05 segundos na avaliação inicial), inferiores ao *cut-off* de risco de queda (>12 segundos). Este bom desempenho funcional de base pode ter limitado a margem de melhoria possível, o que explica as alterações modestas observadas no teste TUG. Por outro lado, a pontuação inicial no Mini-BESTest (19/28) situava-se abaixo do *cut-off* (21 pontos), sugerindo maior margem para progressão neste domínio, o que efetivamente se verificou.

Apesar das melhorias evidentes na estabilidade postural, salienta-se a discrepância observada entre os instrumentos de avaliação, nomeadamente a estagnação (e ligeiro agravamento com DTC) no teste TUG, em contraste com a evolução positiva no Mini-BESTest. Esta divergência pode ser explicada pelas diferentes dimensões que cada instrumento avalia. O teste TUG é uma medida global de mobilidade funcional e velocidade, estando fortemente dependente da locomoção linear e de transferências rápidas. Por outro lado, o Mini-BESTest avalia o controlo postural de forma multifatorial, sendo capaz de identificar ganhos em sistemas específicos que não se refletem necessariamente no tempo de marcha (Caronni *et al.*, 2023). No presente caso, o paciente apresentou melhorias expressivas na orientação sensorial e nas respostas posturais reativas, sendo estes domínios nos quais o Mini-BESTest demonstrou recentemente ser o preditor clínico mais forte e sensível a pequenas alterações na DP, não apresentando o efeito teto (*ceiling effect*) que frequentemente limita outras ferramentas em estágios iniciais e intermédios da doença (Löfgren *et al.*, 2014).

Adicionalmente, os resultados no teste TUG devem ser interpretados à luz de variáveis intrínsecas ao participante, nomeadamente a presença de comorbilidades e o impacto da dupla tarefa. O paciente possui um historial de PTA bilaterais, cuja alteração biomecânica pode limitar o ganho de velocidade e agilidade exigido no teste TUG, mascarando potenciais ganhos no equilíbrio. Estudos recentes em indivíduos com DP demonstram que as fases de transição e rotação do teste TUG são as mais severamente penalizadas pela introdução de uma DTC, prolongando significativamente a duração total do teste

indicating greater scope for progression in this domain, which was indeed observed.

Despite the evident improvements in postural stability, it is important to highlight the discrepancy observed between the assessment tools, namely the stagnation (and slight deterioration under DTC conditions) in the TUG test, in contrast to the positive progression observed in the Mini-BESTest. This divergence may be explained by the different dimensions each instrument captures. The TUG is a global measure of functional mobility and speed, heavily dependent on linear locomotion and rapid transfers. The Mini-BESTest, by contrast, assesses postural control in a multifactorial manner, capable of detecting gains in specific subsystems that do not necessarily manifest in walking speed (Caronni *et al.*, 2023). In this case, the participant showed marked improvements in sensory orientation and reactive postural responses – domains in which the Mini-BESTest has recently been demonstrated to be the most clinically sensitive predictor of small changes in PD, without the ceiling effect that frequently limits other tools in early-to-intermediate disease stages (Löfgren *et al.*, 2014).

Furthermore, TUG results must be interpreted in the context of participant-specific intrinsic variables, particularly comorbidities and the impact of dual-task demands. The participant's history of bilateral THA, and the associated biomechanical alterations, may have constrained gains in the speed and agility required for TUG performance, thereby masking potential balance improvements. Recent evidence in PD indicates that the turning and transition phases of the TUG are most severely affected by CDT introduction, significantly prolonging total test duration (Caronni *et al.*, 2025; H. Johansson *et al.*, 2025). Additionally, the adoption of a more cautious gait as a compensatory strategy, particularly under dual-task conditions where cognitive interference amplifies motor fluctuations, justifies the maintenance of execution times, suggesting that the intervention impacted reactive control subsystems without altering overall functional speed (Nonnekens *et al.*, 2018).

The methodological limitations inherent to this study must be acknowledged. As a case report, the absence of a control group precludes the establishment of causal-effect relationships between BlazePod® intervention and the observed improvements. With only a single participant, the results cannot be generalized to the broader PD population, as individual response to intervention may vary according to disease stage, age, fall history, and associated comorbidities. The absence of validated protocols for BlazePod® balance training in the scientific literature, combined with the limited generalizability inherent to case-report designs, reinforces the need for studies with greater methodological rigor, specifically randomized controlled trials with representative samples, to inform evidence-based clinical decisions and to validate the long-term retention of intervention gains. Despite this gap in validated specific protocols, BlazePod® intervention represents a promising future area of investigation.

5. CONCLUSIONS

This case report described a protocol integrating balance training using BlazePod® technology. The combination of

(Caronni *et al.*, 2025; H. Johansson *et al.*, 2025). Associado a isto, fatores como a adoção de uma marcha mais cautelosa como estratégia compensatória, especialmente em situações de dupla tarefa onde a interferência cognitiva agrava as flutuações motoras, justificam a manutenção dos tempos de execução, concluindo-se que a intervenção impactou os subsistemas de controlo reativo sem alterar a velocidade funcional global (Nonnekes *et al.*, 2018).

Não obstante, é fundamental reconhecer as limitações metodológicas inerentes a este estudo. Por se tratar de um estudo de caso, a ausência de um grupo controlo impossibilita estabelecer relações de causa-efeito entre a intervenção com BlazePod® e as melhorias observadas. Por se tratar de um único participante, os resultados não podem ser generalizados para toda a população com DP, uma vez que a resposta à intervenção pode variar entre indivíduos, dependendo de fatores como estágio da doença, idade, histórico de quedas e comorbidades associadas. A ausência de protocolos validados para treino de equilíbrio com tecnologia BlazePod® na literatura científica, aliada às limitações inerentes aos estudos de caso em termos de generalização de resultados, reforça a necessidade de desenvolver estudos com maior rigor metodológico, como ensaios clínicos randomizados com amostras representativas, para fundamentar decisões clínicas baseadas em evidência consistente e validar a eficácia desta intervenção na retenção de ganhos a longo prazo. Assim, apesar da lacuna no que concerne a protocolos validados específicos, a intervenção com BlazePod® poderá ser uma futura área de estudo promissora.

5. CONCLUSÕES

Este estudo de caso descreveu um protocolo que integrou treino de equilíbrio com recurso à tecnologia BlazePod®. A combinação de estímulos visuais, desafios de ajustes posturais e dupla tarefa sugere uma abordagem que possibilita diminuir a instabilidade postural associada à DP, reduzindo possivelmente o risco de queda.

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram não existir conflitos de interesse. Não receberam qualquer tipo de financiamento para a realização do presente caso clínico.

O consentimento informado, devidamente preenchido pelo doente, foi entregue à revista *RevSALUS* como material suplementar a não publicar.

CONTRIBUIÇÕES AUTORAIS

Conceptualização, M.J., B.S. e C.S.; metodologia, M.J., B.S. e C.S.; software, M.J. e B.S.; validação, M.J., B.S. e C.S.; análise formal, M.J. e C.S.; investigação, M.J.; recursos, M.J. e B.S.; curadoria de dados, M.J. e C. S.; redação - preparação do draft original, M.J.; redação - revisão e edição, M.J., B.S., C.S.; visualização, M.J., B.S. e C.S.; supervisão, C.S.; coordenação do projeto, B.S. e C.S.; Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

visual stimuli, postural adjustment challenges, and dual-task conditions suggests an approach capable of attenuating the postural instability associated with PD, with potential to reduce fall risk.

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no conflicts of interest. No funding was received for the execution of this clinical case. The informed consent form, duly completed by the patient, was submitted to the journal *RevSALUS* as supplementary material not intended for publication.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization, M.J., B.S. e C.S.; methodology, M.J., B.S. e C.S.; software, M.J. e B.S.; validation, M.J., B.S. e C.S.; formal analysis, M.J. e C.S.; investigation, M.J.; resources, M.J. e B.S.; data curation, M.J. e C. S.; writing - original draft preparation, M.J.; writing - review and editing, M.J., B.S., C.S.; visualization, M.J., B.S. e C.S.; supervision, C.S.; project coordination, B.S. e C.S.. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS/REFERENCES

- Arroyo-Ferrer A, Andreo J, Periañez J. A, Ríos-Lago M, Lubrini G, Herreros-Rodríguez J, García-Caldentey J, Romero J. P. Computerized Simple Reaction Time and Balance in Nondemented Parkinson's Patients. *Neurodegenerative Diseases*, 20(5–6), 193–199, 2020.
- Balestrino R, Schapira A. H. V. Parkinson disease. *European Journal of Neurology*, 27(1), 27–42, 2020.
- Barbosa A. F, Chen J, Freitag F, Valente D, Souza C. D. O, Voos M. C, Chien H. F. Gait, posture and cognition in Parkinson's disease. *Dementia & Neuropsychologia*, 10(4), 280–286, 2016.
- Borrione P, Tranchita E, Sansone P, Parisi A. Effects of physical activity in Parkinson's disease: A new tool for rehabilitation. *World Journal of Methodology*, 4(3), 133–143, 2014.
- Cabreira V, Massano J. Doença de Parkinson: Revisão Clínica e Atualização. *Acta Médica Portuguesa*, 32(10), 661–670, 2019.
- Caronni A, Amadei M, Diana L, Sangalli G, Scarano S, Perucca L, Rota V, Bolognini N. In Parkinson's disease, dual-tasking reduces gait smoothness during the straight-walking and turning-while-walking phases of the Timed Up and Go test. *BMC Sports Science, Medicine & Rehabilitation*, 17(1), 42, 2025.
- Caronni A, Picardi M, Scarano S, Malloggi C, Tropea P, Gilardone G, Aristidou E, Pintavalle G, Redaelli V, Antoniotti P, Corbo M. Pay attention: You can fall! The Mini-BESTest scale and the turning duration of the TUG test provide valid balance measures in neurological patients: a prospective study with falls as the balance criterion. *Frontiers in Neurology*, 14, 1228302, 2023.
- Çekok K, Kahraman T, Duran G, Dönmez Çolakoğlu B, Yener G, Yerlikaya D, Genç, A. Timed Up and Go Test With a Cognitive Task: Correlations With Neuropsychological Measures in People With Parkinson's Disease. *Cureus*, 2020.
- de-Oliveira L. A, Matos M. V, Fernandes I. G. S, Nascimento D. A, Da Silva-Grigoletto, M. E. Test-Retest Reliability of a Visual-Cognitive Technology (BlazePod™) to Measure Response Time. *Journal of Sports Science and Medicine*, 179–180, 2021.
- Di Carlo S, Bravini E, Vercelli S, Massazza G, Ferriero G. The Mini-BESTest: A review of psychometric properties. *International Journal of Rehabilitation Research*, 39(2), 97–105, 2016.
- Ellis T. D, Colón-Semenza C, DeAngelis T. R, Thomas C. A, Hilaire M-H. S, Earhart G. M, Dibble L. E. Evidence for Early and Regular Physical Therapy and Exercise in Parkinson's Disease. *Seminars in Neurology*, 41(02), 189–205, 2021.
- Fernandes H. S, Tuon T, Rosado M, Lino P. R, Pinho R. A. Efeitos do exercício físico de dupla tarefa sobre a instabilidade postural e parâmetros respiratórios em pacientes com doença de Parkinson. *Revista Brasileira de Fisiologia do exercício*, 20(1), 52–63, 2021.
- Ferrè E. R, Walther L. E, Haggard P. Multisensory Interactions between Vestibular, Visual and Somatosensory Signals. *PLOS ONE*, 10(4), e0124573, 2015.
- Ferreira J, Levy A. *Doença de Parkinson: Manual Prático*. Lidel, Edições Técnicas LDA, Lisboa, 2003.
- Gabriel G. A, Harris L. R, Henriques D. Y. P, Pandi M, Campos J. L. Multisensory visual-vestibular training improves visual heading estimation in younger and older adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 14, 816512, 2022.
- García-López H, De Los Angeles Castillo-Pintor M, Castro-Sánchez A. M, Lara-Palomo I. C, Obrero-Gaitán E, Cortés-Pérez I. Efficacy of Dual-Task Training in Patients with Parkinson's Disease: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Movement Disorders Clinical Practice*, 10(9), 1268–1284, 2023.
- Giorgi F, Donati D, Tedeschi R. Cueing Interventions for Gait and Balance in Parkinson's Disease: A Scoping Review of Current Evidence. *Applied Sciences*, 14(24), 11781, 2024.
- Han T, Liu Q, Hu Y, Wang Y, Xue K. Effect of Pro-kin visual feedback balance training on balance function of individuals with early Parkinson's disease: A randomized controlled pilot trial. *African Health Sciences*, 23(2), 582–588, 2023.
- Ilin D, Kalron A. Reproducibility and convergent validity of the blazePod stepping reaction test in older people. *Gait & Posture*, 119, 1–6, 2025.
- Israni P. D, Yadav V, Sasun A. R. Effectiveness of Neurorehabilitation in Improving the Functional Recovery and Quality of Life of Patients With Parkinson's Disease: A Case Report. *Cureus*, 2024.
- Johansson H, Peterson D. S, Sedhed J, Leavy B. Dual-task performance during the Timed Up and Go test in Parkinson's disease—The impact of freezing and cognition. *Gait & Posture*, 115, 14–20, 2025.
- Johansson M. E, Cameron I. G. M, Van Der Kolk N. M, De Vries N. M, Klimars E, Toni I, Bloem B. R, Helmich R. C. Aerobic Exercise Alters Brain Function and Structure in Parkinson's Disease: A Randomized Controlled Trial. *Annals of Neurology*, 91(2), 203–216, 2022.
- Kearney E, Shellikeri S, Martino R, Yunusova Y. Augmented visual feedback-aided interventions for motor rehabilitation in Parkinson's disease: A systematic review. *Disability and Rehabilitation*, 41(9), 995–1011, 2019.
- Kiss R, Brueckner D, Muehlbauer T. Effects of Single Compared to Dual Task Practice on Learning a Dynamic Balance Task in Young Adults. *Frontiers in Psychology*, 9, 311, 2018.
- Leddy A. L, Crowner B. E, Earhart G. M. Utility of the Mini-BESTest, BESTest, and BESTest Sections for Balance Assessments in Individuals With Parkinson Disease. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 35(2), 90–97, 2011.
- Liang H, Kaewmanee T, Aruin A. S. Older adults can rely on an auditory cue to generate anticipatory postural adjustments prior to an external perturbation. *Experimental Brain Research*, 240(4), 1279–1292, 2022.
- Löfgren N, Lenholm E, Conradsson D, Ståhle A, Franzén E. The Mini-BESTest—A clinically reproducible tool for balance evaluations in mild to moderate Parkinson's disease? *BMC Neurology*, 14, 235, 2014.
- Lopes L. K. R, Scianni A. A, Lima L.O, De Carvalho Lana R, Rodrigues-De-Paula F. The Mini-BESTest is an independent predictor of falls in Parkinson Disease. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 24(5), 433–440, 2020.
- Luque-Casado A, Novo-Ponte S, Sánchez-Molina J. A, Sevilla-Sánchez M, Santos-García D, Fernández-del-Olmo M. Test-Retest Reliability of the Timed Up and Go Test in Subjects with Parkinson's Disease: Implications for Longitudinal Assessments. *Journal of Parkinson's Disease*, 11(4), 2047–2055, 2021.
- Mak M. K. Y, Wong-Yu I. S. K. Exercise for Parkinson's disease. *International Review of Neurobiology*, 147, 1–44, 2019.
- Nonnekes J, Goselink R. J. M, Růžička E, Fasano A, Nutt J. G, Bloem B. R. Neurological disorders of gait, balance and posture: A sign-based approach. *Nature Reviews Neurology*, 14(3), 183–189, 2018.
- Park J.-H. Is Dual-Task Training Clinically Beneficial to Improve Balance and Executive Function in Community-Dwelling Older Adults with a History of Falls? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(16), 10198, 2022.
- Pelicioni P. H. S, Lord S. R, Menant J. C, Chaplin C, Canning C, Brodie M. A, Sturnieks D. L, Okubo Y. Combined Reactive and Volitional Step Training Improves Balance Recovery and Stepping Reaction Time in People With Parkinson's Disease: A Randomised Controlled Trial. *Neurorehabilitation*

- and Neural Repair, 37(10), 694–704, 2023.
- Qian Y, Fu X, Zhang H, Yang Y, Wang G. Comparative efficacy of 24 exercise types on postural instability in adults with Parkinson's disease: A systematic review and network meta-analysis. *BMC Geriatrics*, 23(1), 2023.
- Radder D. L. M, Lígia Silva De Lima A, Domingos J, Keus S. H. J, Van Nimwegen M, Bloem B. R, De Vries N. M. Physiotherapy in Parkinson's Disease: A Meta-Analysis of Present Treatment Modalities. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 34(10), 871–880, 2020.
- Radder D. L. M, Sturkenboom I. H, Van Nimwegen M, Keus S. H, Bloem B. R, De Vries N. M. Physical therapy and occupational therapy in Parkinson's disease. *International Journal of Neuroscience*, 127(10), 930–943, 2017.
- Revolutionize Recovery With BlazePod. Disponível em: <https://blazepod.eu/pages/physiotherapy>, consultado em 12-04-2025, 2024.
- Ribeiro de Souza C, Ávila de Oliveira J, Takazono P. S, da Silva Rezende L, Silva-Batista C, Coelho D. B, Teixeira L. A. Perturbation-based balance training leads to improved reactive postural responses in individuals with Parkinson's disease and freezing of gait. *The European Journal of Neuroscience*, 57(12), 2174–2186, 2023.
- Rinalduzzi S, Trompetto C, Marinelli L, Alibardi A, Missori P, Fattapposta F, Pierelli F, Currà A. Balance Dysfunction in Parkinson's Disease. *BioMed Research International*, 2015, 1–10, 2015.
- Rosa M, Pedrosa A, Magalhães B, Nagiller L, Ferreira D. Impacto da utilização de pistas auditivas, visuais e táteis na dupla tarefa na Doença de Parkinson- uma revisão sistemática. *Retos*, 59, 172–186, 2024.
- Tysnes O-B, Storstein A. Epidemiology of Parkinson's disease. *Journal of Neural Transmission*, 124(8), 901–905, 2017.
- Upstream Rehabilitation. *Revolutionizing Rehab: BlazePods*. Disponível em: <https://yourfuture.urpt.com/blog/revolutionizing-rehab-blazepods/>, consultado em 12-04-2025, 2025.
- Vance R. C, Healy D. G, Galvin R, French H. P. Dual Tasking With the Timed "Up & Go" Test Improves Detection of Risk of Falls in People With Parkinson Disease. *Physical Therapy*, 95(1), 95–102, 2015.
- Wallin A, Franzén E, Studsgaard J, Hansen M. B, Johansson S, Brincks J. K. Balance exercise interventions in Parkinson's disease: A systematic mapping review of components, progression, and intensity. *Parkinsonism & Related Disorders*, 133, 107310, 2025.
- Xiao Y, Yang T, Shang H. The Impact of Motor-Cognitive Dual-Task Training on Physical and Cognitive Functions in Parkinson's Disease. *Brain Sciences*, 13(3), 437, 2023.
- Yelshyna D, Gago M. F, Bicho E, Fernandes V, Gago N. F, Costa L, Silva H, Rodrigues M. L, Rocha L, Sousa N. Compensatory postural adjustments in Parkinson's disease assessed via a virtual reality environment. *Behavioural Brain Research*, 296, 384–392, 2016.
- Zafar S, Lui F, Yaddanapudi S. *Parkinson Disease*. StatPearls Publishing, 2023.