

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

BRENO CARNEIRO MACEDO

**DESENVOLVIMENTO DE ESTRATÉGIA DE  
CONTROLE PARA REABILITAÇÃO DA  
MARCHA ASSISTIDA EM ESTEIRA  
ERGOMÉTRICA**

Vitória  
2024



BRENO CARNEIRO MACEDO

**DESENVOLVIMENTO DE ESTRATÉGIA DE  
CONTROLE PARA REABILITAÇÃO DA MARCHA  
ASSISTIDA EM ESTEIRA ERGOMÉTRICA**

Dissertação de mestrado apresentada ao departamento de Engenharia Elétrica, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Orientador: Prof. Dr. Anselmo Frizera Neto  
Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Carminati de Mello

Vitória

2024

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de  
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

---

M141d Macedo, Breno Carneiro, 1984-  
Desenvolvimento de Estratégia de Controle Para  
Reabilitação da Marcha Assistida em Esteira Ergométrica / Breno  
Carneiro Macedo. - 2024.  
76 f. : il.

Orientador: Anselmo Frizera Neto.  
Coorientador: Ricardo Carminati de Mello.  
Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) -  
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. População idosa. 2. Mobilidade humana. 3. Inteface  
humano-máquina. 4. Jogos sérios. 5. Autonomia. I. Neto,  
Anselmo Frizera. II. Mello, Ricardo Carminati de. III.  
Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. IV.  
Título.

CDU: 621.3

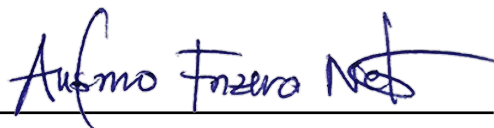
---

BRENO CARNEIRO MACEDO

# DESENVOLVIMENTO DE ESTRATÉGIA DE CONTROLE PARA REABILITAÇÃO DA MARCHA ASSISTIDA EM ESTEIRA ERGOMÉTRICA

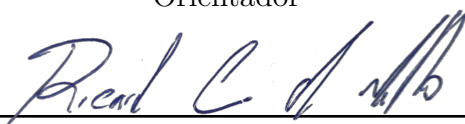
Dissertação de mestrado apresentada ao departamento de Engenharia Elétrica, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Trabalho aprovado. Vitória, 30 de abril de 2024:



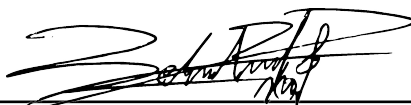
---

**Prof. Dr. Anselmo Frizera Neto**  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Orientador



---

**Prof. Dr. Ricardo Carminati de Mello**  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Coorientador



---

**Prof. Dr. Camilo Arturo Rodríguez  
Díaz**  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Membro Interno



---

**Prof. Dr. Samuel Lourenço Nogueira**  
Universidade Federal de São Carlos  
Membro Externo

Vitória  
2024

*A Deus, à minha mãe, à irmã, à meu filho e à Bárbara.  
In memoriam de Manoel.*

# Agradecimentos

Gostaria de expressar meus mais profundos agradecimentos a todos aqueles que contribuíram para a realização deste trabalho de dissertação.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao meu orientador, Prof. Dr. Anselmo Frizera Neto, e coorientador, Prof. Dr. Ricardo Carminati de Mello, pelo suporte, orientação e paciência durante todo o processo. Seus conselhos, conhecimentos e experiência foram fundamentais para o sucesso deste projeto.

Gostaria de agradecer a todos os meus colegas e amigos de laboratório, em especial Brayan Moreno, Carla Zimerer, Fabiana Machado, Marcos Reich, Paula Cardoso e Welton Duque. A troca de experiências foi incrível, todos os momentos de aprendizagem em conjunto. Agradeço pela ajuda nos momentos de dificuldade, pelos conselhos e incentivos. Sou grato por ter tido a oportunidade de conviver e aprender com pessoas especiais.

Agradeço à minha família pelo apoio, compreensão, incentivo e companheirismo ao longo da minha jornada acadêmica. Em especial, agradeço à minha mãe, irmã e meu filho por estarem sempre ao meu lado, me apoiando em todas as decisões e compartilhando as alegrias e dificuldades dessa trajetória.

Dedico este trabalho de dissertação à memória de meu pai Manoel, que infelizmente não pode participar dessa conquista. Meu pai sempre dedicou sua vida às conquistas dos filhos e foi fundamental para meu desenvolvimento como pessoa, seu legado continuará a me inspirar e guiar nas próximas fases de minha vida.

Não posso deixar de agradecer ao amor da minha vida, Bárbara, minha companheira fiel, pela paciência, pelos conselhos, incentivos constantes e por me ajudar a passar por momentos de dificuldade, tornando minha jornada acadêmica mais leve e feliz.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFES, pela oportunidade de participar de um programa de excelência e pela infraestrutura que me permitiram realizar essa pesquisa. Agradeço a todos os professores, coordenadores e demais funcionários envolvidos no programa, por sua dedicação, empenho e apoio constante aos alunos. O conhecimento e a experiência que adquiri durante o programa foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa e pessoal.

Por fim, gostaria de agradecer à FAPES (2022-C5K3H, 2022-D48XB e 2023-XDHHW) e ao CNPq (403753/2021-0 e 308155/2023-8), pela generosidade e suporte financeiro que me possibilitaram realizar este trabalho.

*"Nada é impossível a menos que você pense que é."  
Paramahansa Yogananda*



# Resumo

A previsão da Organização Mundial da Saúde (OMS) é de que a população idosa ultrapasse 2,0 bilhões até 2050, o que pode resultar em desafios na sociedade. A redução das capacidades físicas e cognitivas nessa faixa etária pode impactar a habilidade dos idosos no autogerenciamento e na participação ativa na sociedade. A mobilidade humana, essencial para a coordenação e realização de movimentos como a marcha, enfrenta desafios em virtude do aumento demográfico da população idosa. Este estudo descreve o desenvolvimento e a integração de uma esteira ergométrica instrumentada com uma interface humano-máquina, projetada para extrair parâmetros dinâmicos da marcha do usuário e ajustar automaticamente a velocidade da esteira de maneira síncrona, conforme a marcha detectada. Esta abordagem é complementada pela incorporação de elementos de jogos sérios, visando enriquecer a experiência de reabilitação da mobilidade, tornando-a mais acessível, eficiente e estimulante para os pacientes. O método integra um jogo sério ao sistema de captura de movimentos de membros inferiores instalado em uma esteira ergométrica, criando assim um ambiente interativo que otimiza o treinamento de marcha com o objetivo de potencializar a eficácia da reabilitação física. O sistema foi inicialmente validado com doze voluntários em tarefas variadas, oferecendo diferentes níveis de autonomia ao interagir com a esteira ergométrica. A eficácia da estratégia de controle foi investigada utilizando o Sistema de Usabilidade (SUS), que revelou alta aceitabilidade com um índice ( $>75$ ). Além disso, as análises estatísticas não revelaram diferenças significativas entre os experimentos, indicando consistência na aceitação da estratégia de controle. Os resultados evidenciam a adaptabilidade da esteira à velocidade dos indivíduos, promovendo seu uso em conjunto com jogos sérios, ampliando a experiência do usuário sem aumentar a complexidade. Investigando mais a fundo os efeitos da autonomia em relação ao usuário, outro aspecto abordado no estudo, destacou as respostas afetivas durante o jogo sério de caminhada em esteira controlada por *feedback*. Com isso, foi demonstrando que a autonomia nesse contexto favorece as respostas afetivas, embora não tenham sido observadas diferenças em várias métricas entre os experimentos. Os participantes, contudo, perceberam que um dos experimentos foi mais desafiador. Em conclusão, a integração de jogos sérios e a consideração da autonomia em sistemas de treinamento de marcha oferecem uma abordagem promissora para melhorar a reabilitação física, proporcionando uma experiência mais envolvente e adaptável para os usuários.

**Palavras-chave:** *População idosa, Mobilidade humana, Interface humano-máquina, Jogos sérios, Autonomia.*

# Abstract

The World Health Organization (WHO) forecasts that the elderly population will exceed 2.0 billion by 2050, potentially leading to societal challenges. The decline in physical and cognitive abilities in this age group may affect the elderly's capacity for self-management and active participation in society. Human mobility, essential for coordinating and executing movements such as walking, faces challenges due to the demographic increase of the elderly population. This study describes the development and integration of an instrumented treadmill with a human-machine interface, designed to extract dynamic walking parameters of the user and automatically adjust the treadmill speed in sync with the detected gait. This approach is enhanced by the incorporation of serious game elements, aimed at enriching the mobility rehabilitation experience, making it more accessible, efficient, and stimulating for patients. The method integrates a serious game into the motion capture system of lower limbs installed on a treadmill, thus creating an interactive environment that optimizes gait training with the goal of enhancing the effectiveness of physical rehabilitation. The system was initially validated with twelve volunteers performing various tasks, offering different levels of autonomy in interacting with the treadmill. The effectiveness of the control strategy was investigated using the Usability System (SUS), which showed high acceptability with an index ( $>75$ ). Moreover, statistical analyses revealed no significant differences between the experiments, indicating consistency in the acceptance of the control strategy. The results demonstrate the treadmill's adaptability to individual speeds, promoting its use in conjunction with serious games, broadening the user experience without increasing complexity. Further investigating the effects of user autonomy, another aspect covered in the study, highlighted affective responses during the serious game of treadmill walking controlled by feedback. This demonstrated that autonomy in this context favors affective responses, although no differences were observed in various metrics across the experiments. However, participants perceived one of the experiments as more challenging. In conclusion, the integration of serious games and the consideration of autonomy in gait training systems offer a promising approach to improve physical rehabilitation, providing a more engaging and adaptable experience for users.

**Keywords:** *Elderly population, human mobility, human-machine interface, serious games, autonomy*

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Dispositivos aumentativos: (a) órtese de tornozelo, (b) órtese de quadril e pernas, (c) bengala, (d) bengala de quatro pontas, (e) muleta axilar, (f) muleta canadense, (g) andador, (h) andador com rodas. . . . .	19
Figura 2 – Dispositivos robóticos: (a) Lokomat, (b) ExoAtlet. . . . .	21
Figura 3 – Esteira utilizada na prisão da Grã-Bretanha . . . . .	22
Figura 4 – Componentes do sistema proposto para esteira ergométrica. . . . .	28
Figura 5 – Interface gráfica desenvolvida para controle de velocidade, inclinação, início e parada da esteira ergométrica. . . . .	31
Figura 6 – Parâmetros de detecção de pernas: (a) uma visão conceitual da esteira que ilustra a zona de detecção de membros inferiores e suas variáveis de formação; (b) um gráfico de varredura a laser que demonstra a detecção das pernas, em que os pontos localizados dentro da zona de detecção das pernas são agrupados para a identificação das pernas e medição das distâncias correspondentes. . . . .	32
Figura 7 – Fluxograma da composição integral do sistema implementado na esteira ergométrica. . . . .	33
Figura 8 – Diagrama de fluxo do sistema representa o controle em baixo nível, o processamento de controle e a interação com o ambiente virtual. . . . .	34
Figura 9 – Esquema de funcionamento do sistema de controle e interação com o ambiente virtual. . . . .	35
Figura 10 – (a) Variações temporais típicas no comportamento da velocidade da esteira, dentro da zona verde marcada pelo drone, e (b) velocidade de caminhada durante o Experimento 1 realizado pelo participante número 7 ao longo de um período de 6 minutos. Em (c), são mostradas todas as variações temporais no comportamento da velocidade da marcha demonstradas pelos grupos A e B. . . . .	41
Figura 11 – Variações temporais típicas no comportamento da velocidade da esteira (a), dentro da área marcada pelo drone, e velocidade de caminhada (b) durante o Experimento 2 conduzido pelo participante número 7 ao longo de um período de 6 minutos. Em (c), são mostradas todas as variações temporais no comportamento da velocidade da esteira demonstradas pelos grupos A e B. . . . .	43
Figura 12 – Distribuição dos dados de cada grupo para as cinco variáveis. No eixo horizontal, os grupos são identificados como "Grupo A - cor azul" e "Grupo B - cor vermelha". As caixas verticais representam os intervalos interquartis. . . . .	44

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Resultados dos grupos nos experimentos, escala SUS. . . . .	40
Tabela 2 – Comparação de variáveis entre os dois experimentos. . . . .	45

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1	Motivação	13
1.2	Objetivos	14
1.3	Justificativa	15
1.4	Publicações	16
1.5	Estrutura do Trabalho	16
<b>2</b>	<b>DISPOSITIVOS DE REABILITAÇÃO DA MARCHA</b>	<b>18</b>
2.1	Visão Geral dos Dispositivos de Reabilitação da Marcha	18
2.2	Aplicações das Esteiras Ergométricas	21
2.3	Controle Autônomo do Ritmo em Esteiras Ergométricas	24
2.4	Reabilitação de Marcha Utilizando Jogos Sérios	25
<b>3</b>	<b>ARQUITETURA DO SISTEMA</b>	<b>28</b>
3.1	Proposta do Sistema	28
3.2	Detalhamento do Sistema de Controle	29
3.2.1	Instrumentação da Esteira	29
3.2.2	Monitoramento dos Membros Inferiores	31
3.2.3	Funcionamento do Sistema de Controle da Esteira Ergométrica	33
3.3	Interação do Sistema ao Jogo Sério	34
<b>4</b>	<b>VALIDAÇÃO DO SISTEMA</b>	<b>36</b>
4.1	Protocolo Experimental	36
4.2	Questionários Aplicados	37
4.3	Métodos Estatísticos Utilizados	39
4.4	Resultados e Discussões	40
4.4.1	Resultados	40
4.4.2	Discussão	45
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>49</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>51</b>
	<b>APÊNDICES</b>	<b>59</b>
	<b>APÊNDICE A – QUESTIONÁRIOS APLICADOS</b>	<b>60</b>

# 1 Introdução

## 1.1 Motivação

A Organização Mundial da Saúde (OMS) prevê que a população idosa ultrapasse 2,0 bilhões até 2050 [1]. Esse aumento previsto pode gerar desafios na sociedade, uma vez que a redução das capacidades físicas e cognitivas pode influenciar a habilidade dos idosos de autogerenciamento e participação ativa na sociedade [2]. Além disso, distúrbios relacionados à marcha representam uma das questões mais comuns nas comunidades idosas [3]. Esses distúrbios afetam as capacidades motoras do indivíduo para se deslocar adequadamente de um lugar a outro e, conseqüentemente, reduz a sua independência.

Cerca de 62% das quedas de idosos são consequência de problemas de marcha, enquanto 29% são desencadeadas por distúrbios de equilíbrio [4]. O restante das quedas é atribuído a fatores externos ao indivíduo. Esses eventos podem ser precipitados por fatores intrínsecos, como desordens na marcha, diminuição do tônus muscular, neuropatia periférica, ortostase, doenças articulares degenerativas, problemas de visão, noctúria e deformidades nos pés [5].

Durante as últimas décadas, pesquisas sobre tecnologias assistivas têm avançado, sobretudo em resposta às necessidades de pessoas com deficiência de mobilidade [6]. Especificamente, a pesquisa em robótica possibilitou avanços na integração de sensores e atuadores, o que permitiu o desenvolvimento de dispositivos de suporte estáveis e seguros. Esses dispositivos podem ser generalizados para uma população diversificada, abrangendo diferentes níveis de disfunções relacionadas à locomoção [7].

Estudos apontam que, para melhorar a qualidade de vida dos idosos, é importante garantir o acesso à reabilitação, às tecnologias assistivas e aos ambientes inclusivos [8, 9]. Considerando a necessidade de melhorar a qualidade de vida dos idosos e a importância de reabilitação, tecnologias assistivas e ambientes inclusivos, a pesquisa em mobilidade enfatiza a crescente demanda por avanços no desenvolvimento tecnológico [10, 11]. Enquanto as tecnologias de reabilitação da marcha avançam, destacam-se os sistemas completos de treinamento [12, 13, 14]. Estes integram interfaces humano-máquina a esteiras ergométricas interligadas a jogos sérios. Jogos sérios, neste contexto, referem-se a aplicações interativas que combinam entretenimento e propósitos educacionais ou terapêuticos, proporcionando uma abordagem lúdica e eficaz para a reabilitação [15, 16, 17].

Por esse motivo, uma variedade de estudos exploram soluções inovadoras envolvendo a integração de esteiras ergométricas a jogos sérios, para reabilitação da marcha [18, 19]. Esses estudos incluem análises comparativas do progresso dos pacientes em diferentes

contextos, como superfícies estáticas, esteiras convencionais e esteiras *self-paced* (ritmo próprio, em português) [20, 21]. As esteiras de ritmo próprio permitem que o usuário ajuste o ritmo do exercício de acordo com suas necessidades, proporcionando uma abordagem personalizada à reabilitação. Nesse contexto, referem-se a dispositivos que concedem ao usuário controle total sobre a velocidade do treinamento, levando em consideração o grau de limitação motora individual [22].

Os jogos sérios, especialmente aqueles aplicados à realidade virtual para fins de reabilitação, são concebidos não com o propósito de entretenimento, mas sim com o intuito de promover a motivação, expandir o conhecimento e fomentar a saúde, constituindo objetivos secundários que complementam sua aplicação [23]. Esses jogos facilitam a aquisição de habilidades físicas e cognitivas, minimizando a percepção da carga de trabalho [24]. Além disso, a gamificação da reabilitação torna o processo mais agradável, reduzindo esforço e monotonia [25, 26].

Na reabilitação, os jogos sérios digitais têm se destacado, integrando simulação e treinamento para fins sérios, como educação, exercício e saúde [26, 27]. Em comparação aos jogos digitais convencionais, os jogos sérios também abordam de forma direta aspectos como diversão, motivação, imersão e desafio [28].

A investigação da interação humano-máquina se destaca como um caminho para a compreensão das respostas emocionais em jogos sérios voltados para a reabilitação [29]. Estudos sugerem que respostas emocionais positivas durante o processo de reabilitação estão diretamente relacionadas a uma maior adesão ao programa [30, 31, 32]. Adicionalmente, a Teoria do Modo Duplo enfatiza a influência da intensidade do exercício na modulação dessas respostas emocionais [33, 34].

Esta dissertação explora os desafios e as oportunidades associadas à integração humano-máquina, concentrando-se especificamente na monitorização da marcha através de um sistema de controle integrado a uma esteira ergométrica. Este sistema, por sua vez, integra-se a um ambiente virtual, utilizando um jogo sério como interface interativa. O sistema desenvolvido propõe-se detectar e analisar os padrões de movimento das pernas do usuário, assim como à avaliação de parâmetros relacionados à dinâmica espaço-temporal dos membros inferiores. Os dados adquiridos foram processados em tempo real para orientar as ações de controle referente ao movimento da esteira ergométrica.

## 1.2 Objetivos

O objetivo geral deste estudo é desenvolver um protótipo de sistema de controle, acoplado a uma esteira ergométrica, que interage com um ambiente virtual (jogo sério), com o intuito de otimizar o treinamento de marcha.

Para atingir o objetivo geral, foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- Realizar o estudo do estado da arte em sistemas de reabilitação, com foco em esteiras instrumentadas, capazes de interagir com ambientes virtuais.
- Projetar um sistema de controle de velocidade integrado à uma esteira ergométrica para reabilitação da marcha.
- Integrar o sistema de controle com um ambiente virtual, utilizando um jogo sério como plataforma de interação.
- Avaliar o desempenho do sistema desenvolvido e conduzir testes.

### 1.3 Justificativa

A reabilitação da marcha é importante para indivíduos que enfrentam desafios de locomoção, seja decorrente de lesões, condições neuromusculares ou outras condições médicas [35]. A marcha, como habilidade motora essencial para a mobilidade humana, e sua alteração ou perda, pode impactar na qualidade de vida e independência funcional. Além disso, a capacidade de se locomover influencia diretamente a participação social, trabalho, educação e lazer. A ausência ou modificação da marcha pode culminar em isolamento social, afetando adversamente a saúde mental e emocional dos pacientes. Nesse cenário, a restauração ou aprimoramento da capacidade de locomoção constitui um dos principais objetivos da fisioterapia e reabilitação [36].

Contudo, as abordagens convencionais de reabilitação da marcha, executadas em ambientes clínicos sobre a supervisão de fisioterapeutas [37], enfrentam críticas devido à sua onerosidade, inacessibilidade e eficácia limitada. O custo elevado, especialmente para tratamentos prolongados, e a falta de acessibilidade para pacientes em áreas rurais ou com recursos financeiros limitados, são desafios notáveis. Diante dessas limitações, soluções tecnológicas como interfaces humano-máquina e jogos sérios para reabilitação física em esteiras ergométricas emergem como alternativas promissoras [15, 16, 17]. Essas inovações têm o potencial de democratizar o acesso à reabilitação, tornando-a não apenas mais eficiente, mas também mais envolvente e agradável. A integração de interfaces humano-máquina proporciona um controle preciso da esteira ergométrica, fornecendo *feedback* sobre a marcha do paciente e acelerando o processo de recuperação. Jogos sérios, adaptados às necessidades individuais, têm o poder de tornar a reabilitação mais motivadora, promovendo adesão consistente com resultados promissores [38, 39].

Os exercícios de caminhada em esteira ergométrica são reconhecidos como uma estratégia eficaz para a reabilitação, oferecendo um ambiente seguro e controlado, que promove a recuperação da força e mobilidade dos pacientes [14].



Adicionalmente, a realidade virtual surge como estratégia na reabilitação, integrando estímulos sensoriais por meio da criação de um ambiente personalizado de interação do usuário com a interface [18]. Nesse contexto, os jogos sérios de realidade virtual, não só proporcionam entretenimento, mas também têm como propósito incentivar a motivação, ampliar o conhecimento e promover a saúde do jogador [23]. Assim, esses jogos possibilitam a aquisição e consolidação de novas habilidades físicas e cognitivas, enquanto minimizam a percepção da carga de trabalho, propiciando um avanço na melhoria da mobilidade e uma contribuição eficaz para uma recuperação mais rápida e sustentável.

Esta dissertação apresenta o desenvolvimento de uma interface humano-máquina, integrando um sistema de controle a uma esteira ergométrica, com interatividade em um ambiente virtual (jogo sério). Essa abordagem visa não apenas tornar a reabilitação da marcha mais acessível e eficiente, mas também mais envolvente e prazerosa para os pacientes. O êxito desta pesquisa pode introduzir uma nova alternativa de tratamento para indivíduos com comprometimento da marcha, promovendo contribuições para o campo da reabilitação.

## 1.4 Publicações

Durante a elaboração desta dissertação, o artigo a seguir foi apresentado em congresso e publicado em seus anais.

- **MACEDO, Breno et al. AUTOMATED TREADMILL CONTROL STRATEGY FOR GAIT REHABILITATION BASED ON HUMAN-MACHINE INTERACTION.** In: 5 a 7 de dezembro 2023, Valdivia, região de Los Rios, Chile. IEEE ChileCon 2023 Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/10418721>>. Acesso em 25 de fevereiro de 2024.

O artigo a seguir foi aceito no congresso e está em processo de submissão final.

- **MACEDO, Breno et al. EFFECT OF AUTONOMY ON AFFECTIVE RESPONSES TO SERIOUS TREADMILL WALKING GAME FEEDBACK-CONTROLLED.** In: 15 a 19 de julho 2024, Orlando, EUA. 46ª Conferência Internacional Anual da IEEE Engineering in Medicine and Biology Society.

## 1.5 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado nos seguintes capítulos.

No Capítulo 2, é apresentado o conceito de Dispositivos de Reabilitação da Marcha (DRM), com o propósito de examinar as tecnologias envolvidas e fornecer uma visão dos avanços recentes nessa área. Além disso, são apresentados projetos contemporâneos de esteiras para reabilitação, que incorporam a interação com jogos sérios, enfatizando a pertinência e a atualidade do tema.

O Capítulo 3 delinea a proposta do sistema de controle de velocidade, abrangendo desde os componentes empregados até o processo de fabricação e o seu funcionamento integral. Também é apresentada uma descrição detalhada do software utilizado para a aquisição e filtragem dos dados coletados.

No Capítulo 4, apresenta o protocolo e os resultados dos experimentos. São expostos os resultados, destacando-se as tendências observadas. Adicionalmente, são realizadas discussões pertinentes a esses resultados, visando interpretar e contextualizar os dados coletados. São discutidas as capacidades e limitações do sistema proposto.

Para concluir o documento, o Capítulo 5 apresenta as conclusões e considerações finais, juntamente com possíveis direcionamentos para futuras pesquisas relacionadas ao tema. São sugeridas ideias para a continuidade deste estudo em investigações subsequentes, como a exploração de métodos de controle de velocidade na esteira, incluindo inclinações durante o processo de caminhada e a replicação das técnicas para o desenvolvimento de um sistema de reabilitação multimodal.

## 2 Dispositivos de Reabilitação da Marcha

No transcorrer deste capítulo, almeja-se proporcionar uma visão dos dispositivos de reabilitação, delineando suas múltiplas aplicações. Em seguida, é feita uma discussão sobre as esteiras ergométricas na reabilitação, explorando suas contribuições para o aprimoramento da mobilidade e independência em indivíduos enfrentando desafios neuromotores. Adicionalmente, aborda-se o controle autônomo do ritmo em esteiras ergométricas, analisando de que forma essa funcionalidade pode potencializar a eficácia do processo de reabilitação. Ao possibilitar que os usuários ajustem o ritmo conforme as suas necessidades individuais, esses sistemas oferecem um desempenho personalizado para o treinamento da marcha. Ao final do capítulo, descreve-se o campo da reabilitação da marcha através de jogos sérios. Além de fomentar o engajamento dos pacientes, esses jogos proporcionam uma abordagem lúdica e motivadora para a prática da marcha, contribuindo, assim, para alcançar resultados no processo de reabilitação.

### 2.1 Visão Geral dos Dispositivos de Reabilitação da Marcha

A reabilitação da marcha constitui um processo fundamental para restaurar a capacidade de andar em indivíduos que enfrentam desafios neuromotores. Esses desafios podem ter origem em diversas condições, como lesões na medula espinhal, paralisia cerebral e acidente vascular cerebral. Ademais, a reabilitação da marcha contribui para o tratamento desses indivíduos, visando não apenas à recuperação da independência funcional, mas também à melhoria significativa da qualidade de vida [40].

Considerando as disfunções na marcha, surge uma diversidade de dispositivos de reabilitação concebidos para aprimorarem as habilidades motoras individuais. Esses dispositivos são importantes para otimizar a locomoção de usuários, preservando a capacidade residual de mobilidade e os seus movimentos [41]. Em contrapartida, existem dispositivos específicos destinados a indivíduos com incapacidade total de mobilidade, proporcionando suporte e substituindo as funções dos membros inferiores [41].

Alguns dispositivos manuais são conhecidos pela sua funcionalidade de suporte para estabilidade e equilíbrio durante a marcha, como bengalas e muletas. Estes dispositivos são adaptáveis a diferentes níveis de mobilidade e podem ser usados por indivíduos com uma variedade de condições. Portanto, as bengalas e muletas podem ser usadas para redistribuir o peso corporal, melhorar o equilíbrio e a confiança, e facilitar a locomoção [41].

Outro dispositivo manual de suporte mais robusto são os andadores, que oferecem maior estabilidade em relação as bengalas ou muletas. Eles são usados por indivíduos com

maior grau de comprometimento da mobilidade, fornecendo um apoio seguro e estável, facilitando a locomoção e prevenindo quedas [41].

Existe, também, um dispositivo utilizado em clínicas de reabilitação, conhecido como barras paralelas. São dispositivos, caracterizados por seu suporte fixo e operação manual, são projetados para criar um ambiente seguro e controlado, facilitando a prática e o aprimoramento da marcha. Além disso, as barras paralelas podem ajudar a melhorar o equilíbrio, a coordenação e a confiança, facilitando a transição para a marcha independente [41].

Também conhecidas nos ambientes de reabilitação, as órteses são dispositivos de suporte utilizados para auxiliarem o movimento dos membros inferiores. Elas podem ser usadas para fornecer suporte, estabilidade e controle, e podem ajudar a melhorar a função e a independência. Órteses manuais podem ser usadas por indivíduos com uma variedade de condições, incluindo lesões na medula espinhal, paralisia cerebral e acidente vascular cerebral [41].

Na Figura 1, estão expostos os dispositivos manuais citados.



Figura 1 – Dispositivos aumentativos: (a) órtese de tornozelo, (b) órtese de quadril e pernas, (c) bengala, (d) bengala de quatro pontas, (e) muleta axilar, (f) muleta canadense, (g) andador, (h) andador com rodas.

Por volta de 1960, foi desenvolvido o primeiro dispositivo robótico para reabilitação da marcha, chamado de exoesqueleto robótico, cuja finalidade foi auxiliar militares na recuperação da mobilidade, após lesões na medula espinhal [42]. Esse dispositivo atuava baseado na aplicação de força ou suporte aos membros inferiores.

Ainda na década de 60, Luttwak criou um exoesqueleto composto por cintos e suportes projetados para melhorar a locomoção de pacientes na época [43].

Desde então, foi testemunhado a evolução dos Dispositivos Robóticos (DR), que atuam no tratamento de condições que afetam a locomoção. Estudos evidenciam o crescente aprimoramento em eficácia, segurança e usabilidade dos DR [44].

Os avanços tecnológicos relacionados aos exoesqueletos robóticos mais modernos destacam-se pela abordagem promissora na reabilitação da marcha. Estes exoesqueletos são motorizados e oferecem suporte a indivíduos com paraplegia, permitindo a realização de movimentos naturais. O HAL (Hybrid Assistive Limb), por exemplo, é um exoesqueleto que utiliza sinais bioelétricos para sincronizar os movimentos do usuário, com a assistência robótica [45].

As versões atuais dos DR demonstram uma capacidade aprimorada para executarem movimentos complexos e precisos, em comparação com os seus predecessores (Figura 2). Esta evolução representa um potencial para diversas aplicações, como.

- Reabilitação de Marcha. O Lokomat (Figura 2a) [46], por exemplo, destaca-se como sistema robótico de treinamento de marcha. Por meio de exoesqueletos, esses dispositivos oferecem suporte ao peso do usuário e fornecem *feedback* sobre o movimento, auxiliando indivíduos com paralisia a recuperarem a capacidade de caminhar.
- Assistência em Atividades da Vida Diária. O ExoAtlet (Figura 2b) [47] desempenha um papel facilitador em tarefas cotidianas, para pessoas com deficiência física. Este exoesqueleto, por exemplo, permite que indivíduos com paralisia levantem-se da cadeira e caminhem, contribuindo diretamente para a independência e a qualidade de vida.

Em contrapartida, as órteses inteligentes, munidas de sensores e atuadores, têm contribuído para o progresso da reabilitação da marcha. A órtese de pé e tornozelo (OPTE), equipada com sensores de movimento, por exemplo, ajusta dinamicamente o suporte com base na fase da marcha, promovendo uma locomoção mais fluida. Além disso, órteses equipadas com *feedback* háptico proporcionam uma sensação tátil ao usuário, melhorando a propriocepção [48].

A integração de sistemas de realidade virtual na reabilitação da marcha oferece uma abordagem inovadora. Dispositivos como o Gait Real-Time Analysis Interactive Lab (GRAIL) utilizam plataformas de realidade virtual, para simular ambientes desafiadores, proporcionando um contexto motivador para a prática de movimentos específicos da marcha. Essa abordagem não só melhora a eficácia da reabilitação, mas também torna o processo mais envolvente para os pacientes [49].

Avanços em dispositivos vestíveis têm permitido o monitoramento contínuo da marcha durante as atividades diárias. Sensores, como acelerômetros e giroscópios são



(a)



(b)

Figura 2 – Dispositivos robóticos: (a) Lokomat, (b) ExoAtlet.

incorporados em calçados ou braceletes, fornecendo dados precisos sobre a qualidade de passo, do equilíbrio e dos padrões de movimento. Essas informações são úteis para terapeutas e médicos, permitindo ajustes personalizados no plano da reabilitação [50].

A seleção do dispositivo apropriado é fundamentada no nível de comprometimento motor do indivíduo. Portanto, os dispositivos que recebem essa classificação de reabilitação da marcha, em sua maioria, aproveitam as capacidades residuais de mobilidade do indivíduo, visando aprimorá-las. Esses são preferíveis, uma vez que buscam melhorar a locomoção de forma mais próxima à natural, potencializando as capacidades físicas e cognitivas do usuário [50].

Recentemente, o progresso das pesquisas em dispositivos robóticos voltados para a reabilitação da locomoção tem emergido como uma inovação, prometendo um futuro mais inclusivo e independente ao potencializar a melhoria da qualidade de vida de indivíduos com limitações físicas e abrir novas perspectivas que delineiam um horizonte repleto de esperança e progresso na área [50].

## 2.2 Aplicações das Esteiras Ergométricas

As esteiras ergométricas surgiram por volta do século XXI. Desde então, sofreram inovações, tornando-se equipamentos de ginástica versáteis, capazes de proporcionar benefícios para a saúde dos usuários. Em 1817, o engenheiro britânico William Cubitt criou uma esteira movida por um sistema de pesos, preparada para a prática de exercícios físicos (Figura 3). Esta criação foi inicialmente utilizada por pessoas em privação de

liberdade, como parte de um programa destinado a manter a forma física [51].



Figura 3 – Esteira utilizada na prisão da Grã-Bretanha [51].

Ao longo das décadas, as esteiras evoluíram, passando pelo lançamento em massa na década de 1950, pela inclusão de motores elétricos nos anos 1960, pela adição de recursos, como ajuste de velocidade e inclinação na década de 1970, incorporação de materiais mais avançados nos anos 1980, a inserção de monitoramento de frequência cardíaca nos anos 1990 e oferta de programas de treinamento personalizados a partir dos anos 2000 [51].

A esteira ergométrica é definida como um equipamento de exercício estacionário, que permite uma pessoa caminhar ou correr no mesmo lugar [52]. Este equipamento é composto por uma superfície em movimento (lona) acionada por um motor elétrico, proporcionando um espaço para o usuário caminhar ou correr. As esteiras podem ser equipadas com funcionalidades que permitem o ajuste da velocidade e da inclinação, possibilitando a simulação de diferentes níveis de intensidade de exercício. Portanto, são utilizadas em treinos cardiovasculares, de resistência e na reabilitação. Além disso, são populares em ambientes domésticos, academias e Centros Especializados em Reabilitação, oferecendo eficácia nos exercícios aeróbicos [53].

A variedade de esteiras ergométricas ofertadas no mercado pode atender a diferentes necessidades dos usuários. Além disso, grupos de pesquisa também desenvolvem o equipamento em laboratório. Esses dispositivos se distinguem pela composição dos materiais, configuração estrutural, acessórios e funcionalidades oferecidas [53].

Assim, as esteiras ergométricas são máquinas multifuncionais em constante evolução. Nesse contexto, elas emergem como uma ferramenta na busca por estratégias na recuperação da mobilidade e independência de indivíduos. Elas oferecem um ambiente controlado para a prática de atividades específicas, proporcionando avaliação e aprimoramento das habilidades motoras, além disso, podem contribuir para reabilitação de pacientes, que necessitam recuperar a capacidade de andar após lesões ou cirurgias ortopédicas [54, 55].

A implementação de um programa de reabilitação precoce, complementado com tratamento específico para a marcha, demonstrou aprimoramentos significativos em parâmetros-chave como o comprimento do passo, a velocidade da caminhada, o equilíbrio e a amplitude da base de sustentação da marcha. Uma pesquisa investigou os efeitos do treinamento em esteira convencional com *feedback* visual na reabilitação precoce da marcha após um acidente vascular cerebral (AVC) subagudo. O treinamento de *biofeedback* visual na esteira provou ser um método eficaz ( $p < 0,05$ ) de reeducação da marcha em pacientes pós-AVC, em comparação com o treinamento convencional. Essa abordagem pode contribuir para melhorar o equilíbrio corporal e reduzir a necessidade de auxiliares de marcha [56].

Por outro lado, as esteiras ergométricas instrumentadas representam um avanço em relação às convencionais. Equipadas com instrumentação de ponta, que inclui sensores, atuadores e dispositivos de coleta de dados, esses proporcionam a obtenção de informações objetivas acerca do desempenho dos pacientes, ao longo do processo de caminhada [57].

Atualmente, estudos apontam que a instrumentação de esteiras ergométricas foram introduzidas no contexto da reabilitação da marcha, devido à necessidade de viabilizar ambientes controlados e monitorados [57]. Em comparação com as esteiras convencionais, as esteiras instrumentadas proporcionam um controle mais preciso sobre variáveis, como velocidade, inclinação e padrões de movimento dos usuários [58].

Ademais, os dados coletados incluem parâmetros de velocidade, comprimento da passada e distribuição de pressão nos pés, entre outros indicadores relevantes. Além disso, a capacidade de monitorar o progresso de forma quantitativa é uma das principais vantagens das esteiras instrumentadas [59].

Uma estratégia que aprimora a experiência com a esteira instrumentada, para a reabilitação da marcha, é a integração de jogos sérios. Esses jogos interativos incorporam elementos lúdicos nos ambientes de reabilitação. Enquanto os pacientes realizam exercícios na esteira, podem se envolver em jogos que incentivam o movimento e o esforço. Além de tornar a reabilitação mais motivadora, essa abordagem também demonstra melhorias na aderência ao tratamento [60]. Nas seções subsequentes, será explicado em detalhe a reabilitação da marcha por meio de jogos sérios.

Com base nos argumentos apresentados, as esteiras ergométricas desempenham



um papel importante na reabilitação da marcha, podendo fornecer um ambiente seguro e controlado para a prática da caminhada. Tanto as esteiras convencionais quanto as instrumentadas proporcionam benefícios para a reabilitação, permitindo uma abordagem personalizada que, ao ser complementada pela inclusão de jogos sérios, pode fomentar uma recuperação mais eficaz e melhorar significativamente a qualidade de vida de indivíduos com disfunções motoras.

## 2.3 Controle Autônomo do Ritmo em Esteiras Ergométricas

A integração do controle autônomo do ritmo em esteiras ergométricas tem sido um tema de interesse da literatura científica. Essa implementação capacita os usuários a personalizarem a intensidade do exercício de acordo com as suas preferências e habilidades individuais, fomentando uma abordagem adaptável e personalizada na prática de atividade física [61].

O termo *self-paced*, refere-se à capacidade de o usuário de determinar e ajustar, autonomamente, a velocidade do exercício. Nas esteiras ergométricas, isso representa uma evolução, proporcionando maior controle aos indivíduos durante a atividade física [62].

O controle autônomo emerge como um fator determinante nas respostas afetivas ao exercício. Conforme preconizado pela Teoria da Autodeterminação (TA), a autonomia é considerada uma das necessidades psicológicas fundamentais do ser humano, refletindo o sentimento de "liberdade" para manifestar comportamentos de escolha pessoal. Uma pesquisa indicou que, ao permitir que os participantes tenham a sensação de liberdade na escolha da intensidade do exercício, observam-se respostas afetivas mais positivas, impulsionando a motivação dos pacientes e, por conseguinte, tornando o processo de reabilitação mais atrativo [63].

O desenvolvimento de protocolos personalizados de reabilitação, que incorporam a flexibilidade da esteira *Self-Paced*, pode permitir que os profissionais de saúde adaptem os treinamentos da melhor forma, além de permitir o uso de sistemas integrados de monitoramento para acompanhar o progresso dos pacientes [64, 65].

A literatura científica revela alguns exemplos de aplicações em reabilitação, que incorporam esses sistemas integrados para o tratamento de lesões musculares e articulares. A habilidade de ajustar a intensidade do exercício, conforme a tolerância individual do paciente, facilita a recuperação dessas lesões [66]. Em relação à reabilitação cardiovascular, indivíduos após eventos cardiovasculares, podem experimentar benefícios significativos ao empregar o controle autônomo do ritmo, para a realização de exercícios adaptados às suas condições cardíacas [67].

A incorporação de tecnologias e recursos específicos, como os sensores de monito-

ramento integrados em esteiras ergométricas, viabiliza um acompanhamento preciso do desempenho do paciente, além de fornecer *feedback* instantâneo e em tempo real sobre o desempenho, esses recursos estimulam uma participação ativa do paciente no processo de reabilitação [68].

A importância do controle autônomo do ritmo em esteiras ergométricas para a reabilitação é destacada, devido à sua aplicação prática e aos benefícios observados em diversos contextos clínicos [69]. A flexibilidade proporcionada por essa abordagem pode promover uma recuperação mais personalizada, atendendo melhor às necessidades.

## 2.4 Reabilitação de Marcha Utilizando Jogos Sérios

Um jogo representa uma atividade estruturada, realizada com o intuito de proporcionar entretenimento ou lazer, contudo, também podendo ser aplicado com propósitos educacionais ou de treinamento [70]. Os jogos se apresentam em diversas modalidades, abrangendo desde atividades físicas, jogos de tabuleiro e cartas, até videogames e jogos *online*. A concepção do termo "jogo" varia, compartilhando algumas similaridades, mas também apresentando distinções significativas [71].

Os jogos digitais, exemplificados por experiências interativas em dispositivos eletrônicos equipados com microprocessadores, representam uma forma de entretenimento amplamente difundida, cativando não apenas crianças e jovens, mas também uma ampla faixa etária [70]. No entanto, os jogos digitais parecem gerar controvérsias tanto na comunidade científica quanto na sociedade em geral. Por outro lado, eles são vistos como opções viáveis para aprimorar habilidades cognitivas, sensório-motoras, emocionais, pessoais e sociais [72].

Jogos sérios são definidos como jogos projetados com um propósito que transcende o mero entretenimento. O objetivo desses jogos é alcançar metas específicas em contextos como educação, treinamento ou promoção da saúde [73, 74]. A arquitetura desses jogos incorpora a fusão de elementos lúdicos com simulação e atividades de aprendizagem ou treinamento, aplicados em ambientes sérios. Tais ambientes incluem, mas não se limitam a, educação, exercício físico, saúde, prevenção, reabilitação e publicidade [75, 76].

O uso crescente de terapias baseadas em jogos na área da saúde destaca-se pela promoção da motivação, engajamento e manutenção de hábitos saudáveis. Nos estudos de saúde, a gamificação e os jogos sérios surgem como modalidades de tratamentos fundamentados em jogos [77].

Na área da reabilitação, foram observadas aplicações de jogos sérios [78, 79, 80]. Geralmente o processo de reabilitação ocorre em um período de tempo determinado e envolve intervenções conduzidas por um profissional ou uma equipe de saúde, podendo

abranger desde a fase inicial até a aguda, imediatamente após o diagnóstico de uma condição de saúde, até a fase de recuperação e manutenção [81]. Em situações apropriadas, os jogos sérios podem oferecer suporte adicional a esse processo. No entanto, vale destacar que nem todos os jogos são adequados para fins de reabilitação.

Na busca por aprimorar a reabilitação da marcha em idosos, Scheidig *et al.* [82] criaram o ROGER, uma plataforma robótica dedicada, desenvolvida para auxiliar idosos que passaram por cirurgia de endoprótese de quadril, com a função de guiar os pacientes durante as sessões terapêuticas, registrando os seus padrões de marcha. Os resultados indicaram que a plataforma foi suficiente para realizar avaliações da marcha. Adicionalmente, o ROGER revelou-se uma boa ferramenta para a equipe clínica, desempenhando funções de gerenciamento e controle da marcha durante as sessões. No entanto, em relação à navegação, os resultados indicaram a necessidade de melhorias para alcançar um treinamento totalmente autônomo [83].

No estudo de Proença, Quaresma e Vieira [84], um paciente passou por um programa de reabilitação da marcha, o qual incluiu exercícios em uma esteira ergométrica instrumentada com integração de um jogo sério. O programa teve duração de seis semanas, com três sessões de 30 minutos por semana, totalizando 18 sessões e 9 horas de testes, por indivíduo. Ao término do programa, foi observado melhorias na marcha do paciente, incluindo aumento da velocidade, comprimento da passada e coordenação entre ambas as pernas. Além disso, o paciente relatou uma melhora na qualidade de vida e na independência para a realização de atividades diárias.

O estudo conduzido por Pournajaf *et al.* [85] demonstrou a eficácia do treinamento de equilíbrio, que foi avaliada mediante o uso de jogos sérios não imersivos, baseados em realidade virtual, em comparação com a terapia convencional, em pacientes submetidos à artroplastia total do joelho (ATJ). Verificou-se que o treinamento de equilíbrio com esta técnica foi eficaz, embora não tenha demonstrado superioridade em relação à terapia convencional após ATJ. Contudo, a intervenção do grupo experimental (GE) baseada em realidade virtual foi avaliada como aceitável pelos participantes do grupo, podendo representar uma alternativa viável à terapia convencional. Além disso, o GE apresentou uma marcha mais fisiológica ao término do tratamento, em comparação com o grupo de controle (GC). Essa abordagem, quando combinada com o tratamento convencional, tem o potencial de intensificar o programa de reabilitação, amplificando, assim, os efeitos benéficos do tratamento.

Portanto, a exploração de diferentes contextos de aprendizado, o enfrentamento de tarefas envolventes, e o recebimento de *feedback* imediato, podem potencializar o processo de reabilitação da marcha por meio dos jogos sérios. No entanto, ressalta-se que a seleção cuidadosa dos jogos e a orientação profissional podem contribuir para o aumento da eficácia dos seus resultados.

Concluída a apresentação dos dispositivos e tecnologias de reabilitação da marcha, o próximo capítulo descreverá o sistema de controle de marcha desenvolvido neste trabalho.

## 3 Arquitetura do Sistema

Este capítulo descreve um sistema de esteira ergométrica com controle autônomo, incorporado a um ambiente virtual estruturado como um jogo sério. São apresentadas as funções do sistema, delineando suas características. Na sequência, abordaremos o sistema de controle, realizando uma análise detalhada da instrumentação relacionada à esteira e do monitoramento dos membros inferiores. Essa análise visa aprofundar a compreensão do mecanismo operacional subjacente ao sistema, fornecendo ideias de contribuições para a prática clínica. Por fim, será explicada a sinergia entre o sistema e o jogo sério, evidenciando como essa combinação não só estimula o engajamento do paciente, mas também facilita o processo de reabilitação da marcha.

### 3.1 Proposta do Sistema

A implementação de um sistema de reabilitação que utiliza esteiras ergométricas interativas com jogos sérios requer uma abordagem multidisciplinar, envolvendo a integração de tecnologias conhecidas, supervisão especializada e uma estratégia de gamificação desenvolvida [71, 78, 79, 83]. Portanto, neste trabalho é apresentada uma sistematização, que tem por objetivo oferecer um maior apoio à marcha do usuário, mediante a interação dos membros inferiores com o sistema. Para obter informações sobre a marcha dos pacientes, uma esteira ergométrica foi equipada com componentes eletrônicos instalados em sua base estrutural, que compõem o sistema de controle e processamento (Figura 4).

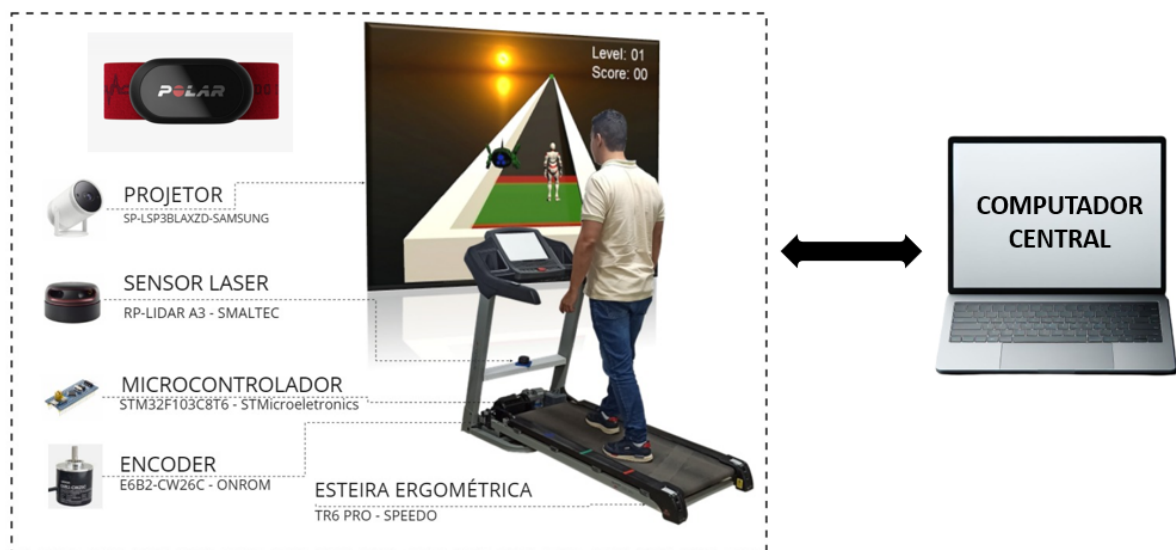


Figura 4 – Componentes do sistema proposto para esteira ergométrica.

O sistema desenvolvimento foi implementado em quatro fases distintas:

- Fase 1. Consistiu na implementação do sistema de baixo nível para controlar a velocidade da esteira (controlador STM32) a partir de uma referência dada pelo sistema, possibilitando ao sistema calcular a velocidade real da lona de caminhada. Essa implementação garantiu a manutenção das velocidades desejadas.
- Fase 2. Introduziu-se um sensor de varredura a laser (RP-LIDAR-A3), para monitorar o movimento das pernas do usuário, possibilitando o controle da velocidade por meio da análise da marcha.
- Fase 3. Envolveu a integração das fases anteriores com o controlador e o supervisório desenvolvido (Figura 5).
- Fase 4. Foi realizada a integração do jogo sério ao sistema desenvolvido, enfatizando a relevância da sincronização das informações entre o controlador e o algoritmo de controle do jogo, com o intuito de prevenir possíveis falhas de informação.

## 3.2 Detalhamento do Sistema de Controle

### 3.2.1 Instrumentação da Esteira

Neste estudo, foi realizado a instrumentação de uma esteira ergométrica (TR6 Pro, Speedo, Brasil) para o controle das funções de velocidade. O sistema incorpora um encoder (E6B2-CWZ6C, OMRON, Japão) acoplado ao eixo do motor da esteira e um microcontrolador (STM32F103C8T6, STMicroelectronics, Suíça) para controlar as funções de baixo nível que corresponde as velocidades da esteira ergométrica, ajustando-a conforme a um *setpoint* de velocidade, gerada pelo computador central (Intel Core i7-8750H CPU @2.20GHz, 1TB SSD, 16GB de RAM, NVIDIA GeForce G1X1060 notebook).

Para implementar o controle de baixo nível, constituído por seis comandos, optou-se pela utilização de comandos pré-existentes no sistema manual, com o objetivo de minimizar as modificações necessárias no hardware original da esteira. O microcontrolador mencionado anteriormente é operacionalizado através do supervisório desenvolvido (Figura 5). Uma vez ativado, ele emite um sinal digital que aciona os relés encarregados dos comandos físicos, os quais estão integrados ao painel da esteira ergométrica.

Adicionalmente, para aprimorar a precisão e a estabilidade do sistema de controle, foi implementado um controlador proporcional-derivativo (PID) em regime de malha fechada. Esse controlador PID ajusta de forma contínua a velocidade, baseando-se na diferença entre o valor desejado *setpoint* e o valor real medido *feedback*. Esse método de controle permite uma resposta rápida e minimiza o erro, ajustando dinamicamente os parâmetros de controle conforme necessário.

Esse sistema de controle PID garante uma operação mais suave e segura da esteira, adequando-se de maneira eficaz às exigências de diferentes perfis de usuários e a variáveis condicionantes, como a resistência ao movimento impostas pelo peso e pelo passo do usuário. A integração de tal sistema em um ambiente de controle supervisionado, reforça a eficácia do controle aplicado e suporta um monitoramento mais robusto e confiável da atividade na esteira.

Na Figura 5, apresentamos a interface gráfica de controle do dispositivo, que pode ser operada por um técnico especializado ou por um terapeuta. O botão identificado como "1" na Figura 5 permite a busca das portas seriais detectadas pelo sistema. O botão "2" é utilizado para estabelecer a comunicação serial entre a interface e o microcontrolador. Já o botão "3" acessa o formulário de identificação do usuário que está utilizando a esteira ergométrica no momento.

Os botões identificados como "4" e "5" na Figura 5 controlam a velocidade da esteira, enquanto os botões "6" e "7" ajustam a inclinação. O botão "8" é utilizado para iniciar a esteira e o botão "9" para pará-la; ambos estão localizados no painel manual da esteira. Adicionalmente, a funcionalidade "AUTO", representada pelo botão "10" na mesma figura, permite que, uma vez ativada, desabilite os controles manuais e habilite a operação autônoma do sistema. Essa operação é gerenciada por um algoritmo de controle de baixo nível, cujos detalhes técnicos podem ser encontrados em <http://github.com/brenomcd/Supervisorio-Reabilitacao/>. No modo autônomo, a esteira ajusta automaticamente sua operação com base nos movimentos dos membros inferiores do usuário, visando otimizar a experiência de uso conforme as necessidades específicas de reabilitação.

Por fim, o botão "11", ilustrado na Figura 5, tem a função de limpar os registros de comunicação na interface gráfica, enquanto o botão "12" é destinado ao encerramento da mesma. A "DISTÂNCIA LASER", um parâmetro exibido na interface, monitora a distância entre o usuário e o laser que verifica o posicionamento sobre a lona da esteira. A "VELOCIDADE DA ESTEIRA" indica a velocidade atual à medida que o usuário se movimenta, possibilitando o monitoramento contínuo das condições operacionais do equipamento. Tais funcionalidades são importantes para assegurar tanto a segurança quanto a eficácia da interação do usuário com a esteira ergométrica otimizando a experiência de uso.

Concluída a fase de desenvolvimento da interface gráfica, foram conduzidos testes de comunicação e avaliação individual de cada botão. Os resultados confirmaram a operacionalidade do controlador proporcional-derivativo (PID) em regime de malha fechada, demonstrando sua capacidade de replicar as funções selecionadas para reproduzir as operações executadas através dos botões de controle manual instalados no painel da esteira ergométrica.



Figura 5 – Interface gráfica desenvolvida para controle de velocidade, inclinação, início e parada da esteira ergométrica.

É importante destacar que o desenvolvimento da interface gráfica teve como objetivo facilitar que profissionais de saúde possam monitorar o desempenho do paciente durante o processo de reabilitação. Isso se mantém válido mesmo nos casos em que a esteira ergométrica opera de maneira autônoma, assegurando assim que o acompanhamento do progresso do paciente seja contínuo e eficaz.

### 3.2.2 Monitoramento dos Membros Inferiores

Após a conclusão da primeira fase do projeto, procedeu-se à instalação de um sensor a laser (RP-Lidar A3, SLAMTEC, China) na estrutura da esteira, posicionando-o a uma altura de 30 cm acima do piso. Este dispositivo se destaca por sua precisão e eficácia na identificação de objetos e no mapeamento de ambientes. Por meio da tecnologia Lidar (Light Detection and Ranging), o RP-Lidar A3 é capaz de realizar medições precisas de distância utilizando um feixe de laser, o que facilita a detecção detalhada dos membros inferiores em tempo real. Especificamente, o sensor foi empregado para monitorar os movimentos dos membros inferiores dos usuários. A metodologia adotada para a captura desses movimentos foi desenvolvida pelo grupo de pesquisa do laboratório [86], garantindo um monitoramento eficaz e preciso durante o uso da esteira.

Para definir a delimitação do campo de visão do sensor, foi estabelecido um polígono com base em limites de distância ( $d_{min}$  e  $d_{max}$ ) e um ângulo de abertura desejado  $\theta$  (Figura 6) [87]. O módulo de pré-processamento é responsável por receber os dados



provenientes do sensor e selecionar os pontos que se encontram dentro do polígono de referência. Essa seleção visa à eliminação dos pontos de dados situados fora do polígono, reduzindo, assim, a detecção de objetos indesejados em proximidade, como, por exemplo, pessoas em movimento nas imediações externas da esteira.

Adicionalmente, as leituras obtidas do sensor alimentam um classificador baseado em técnicas de aprendizado de máquina não supervisionado, que realiza o agrupamento dos pontos e subsequentemente os classifica como pernas do usuário ou como ruído. Especificamente, o módulo de agrupamento emprega a técnica denominada DBSCAN, sigla para "Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise" (Agrupamento Espacial Baseado em Densidade de Aplicações com Ruído), ilustrada na Figura 6a [88]. Essa metodologia se destaca por sua capacidade de identificar clusters de pontos próximos baseando-se em suas densidades, mesmo na presença de dados dispersos ou desorganizados. Os resultados obtidos com o DBSCAN delineiam o centro de cada perna em um sistema de coordenadas polares  $(r, \beta)$ , fornecendo informações sobre a distância e direção das pernas em relação à fonte emissora do laser, como apresentado na Figura 6b.

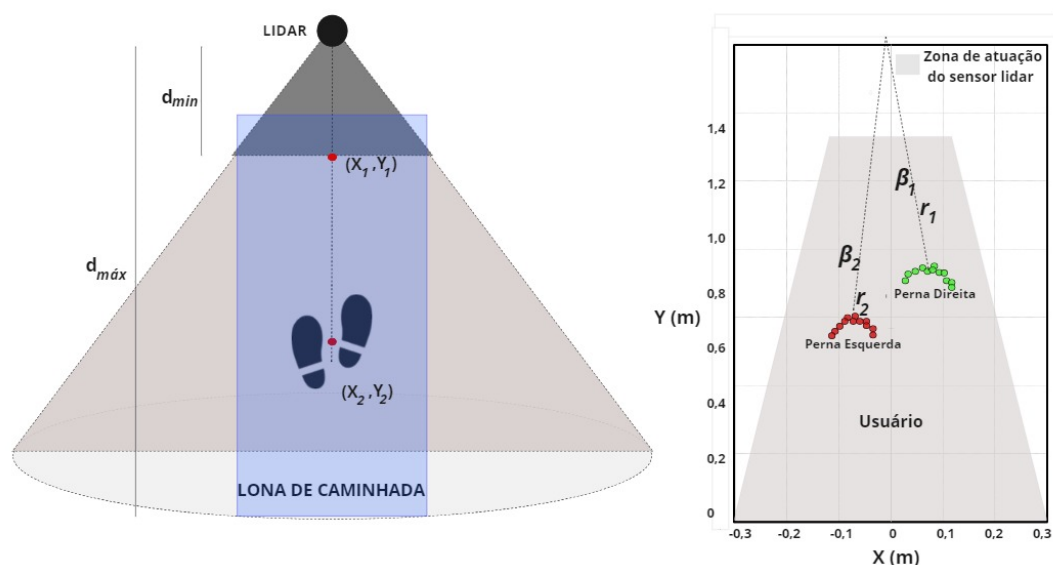


Figura 6 – Parâmetros de detecção de pernas: (a) uma visão conceitual da esteira que ilustra a zona de detecção de membros inferiores e suas variáveis de formação; (b) um gráfico de varredura a laser que demonstra a detecção das pernas, em que os pontos localizados dentro da zona de detecção das pernas são agrupados para a identificação das pernas e medição das distâncias correspondentes.

Para uma compreensão mais abrangente da arquitetura do sistema implementado na esteira, o fluxograma operacional é exibido na Figura 7. Esta representação visual é para elucidar a configuração e o funcionamento do sistema, demonstrando de forma clara a interação entre seus diversos componentes.

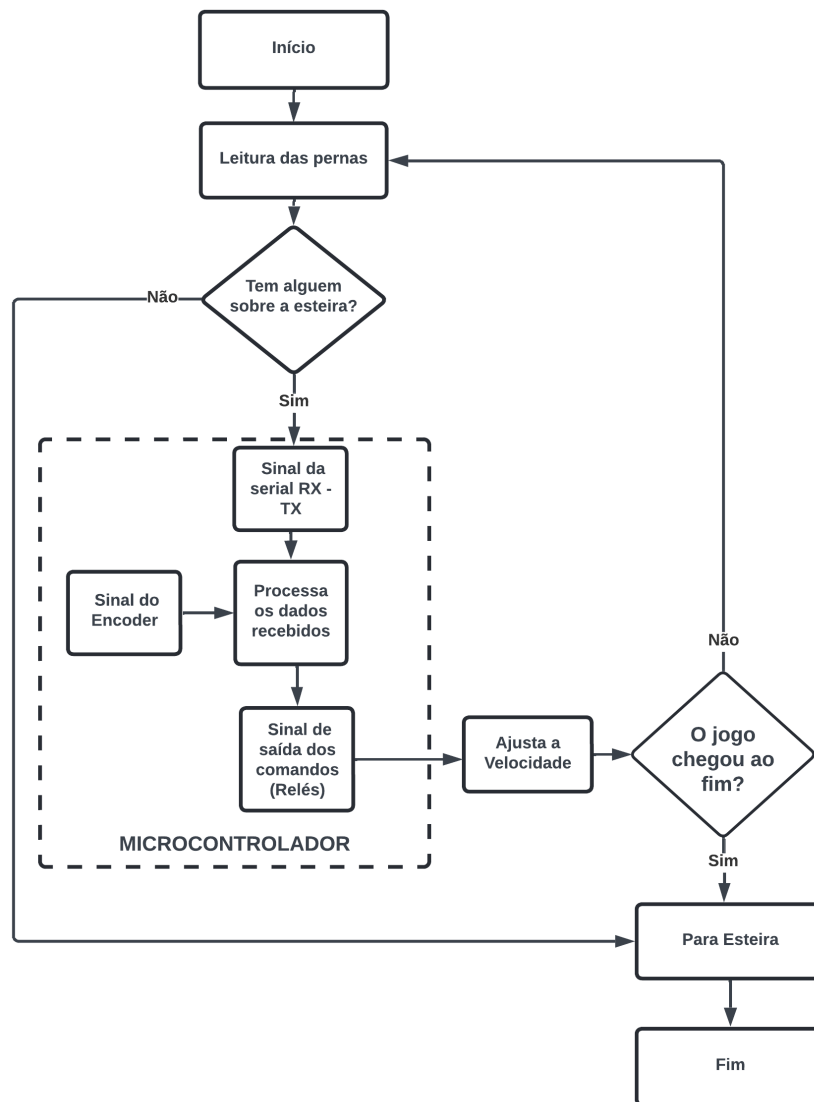


Figura 7 – Fluxograma da composição integral do sistema implementado na esteira ergométrica.

### 3.2.3 Funcionamento do Sistema de Controle da Esteira Ergométrica

A integração dos componentes eletrônicos à esteira ergométrica é apresentada na Figura 8, cujo diagrama de fluxo ilustra a interação dos participantes com o ambiente virtual. Para alcançar esse objetivo, um encoder foi integrado ao motor da esteira, permitindo a medição da sua velocidade ( $V_e$ ). Essa medida possibilitou o envio de  $V_e$  para o microcontrolador ( $\mu C$ ). Ao receber  $V_e$ , o microcontrolador ajusta a velocidade do motor ( $V_m$ ) com base em uma velocidade ( $V_i$ ), fornecida pelo computador central.

O algoritmo DBSCAN foi implementado em um ambiente Robot Operating System (Sistema Operacional de Robô, em português) (ROS) de código aberto, executado em uma máquina virtual Ubuntu instalada no computador central. A saída do algoritmo DBSCAN consiste na posição média de cada perna em coordenadas polares, em relação à posição do sensor a laser. Com base nesse monitoramento, o comprimento e a cadência dos passos

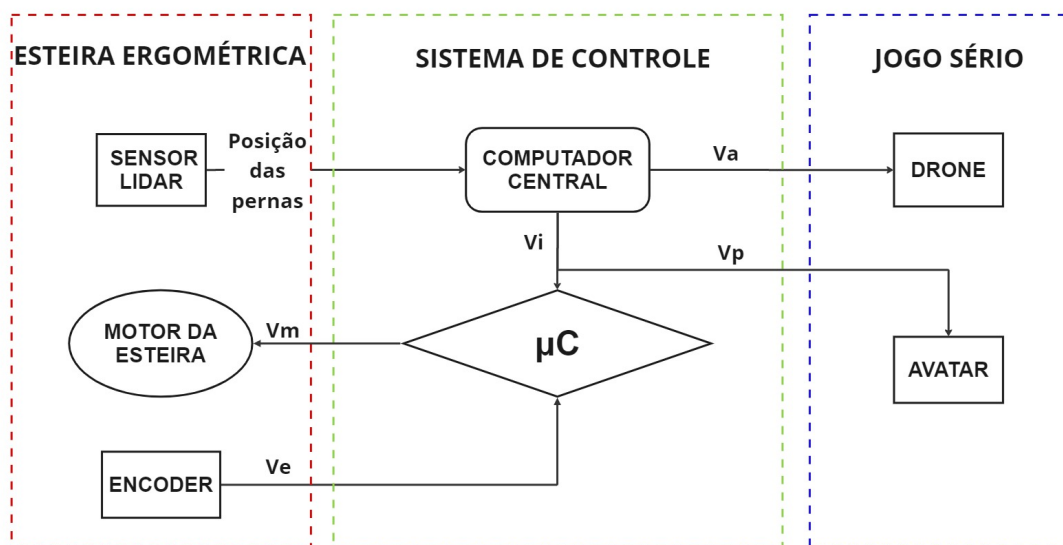


Figura 8 – Diagrama de fluxo do sistema representa o controle em baixo nível, o processamento de controle e a interação com o ambiente virtual.

são usados para se inferir o valor da velocidade de deslocamento ( $V_d$ ). Essa velocidade é comparada com a velocidade do encoder ( $V_e$ ), para regular a velocidade do motor ( $V_m$ ). O computador central, por sua vez, envia comandos de alteração de velocidade para o microcontrolador, que os transmite para a esteira, que aplicará o novo valor na velocidade do motor.

### 3.3 Interação do Sistema ao Jogo Sério

A fim de contextualizar o sistema proposto neste estudo, destaca-se a etapa de interação entre o sistema de controle e o jogo sério. Uma das funções do computador central, é emitir comandos para ajustar a velocidade da esteira por meio de um microcontrolador, o qual, por sua vez, transmite essas instruções para a esteira.

Nesse contexto, foi elaborado um ambiente virtual destinado à reabilitação da marcha, conforme ilustrado na Figura 9. O jogo foi desenvolvido por meio do software Unity (versão 2020.3.28f1), que é amplamente reconhecido como um programa de criação de jogos multiplataforma e experiências interativas em 2D e 3D. Neste ambiente virtual, um avatar se movimenta à mesma velocidade do usuário ( $V_p$ ), enquanto um drone segue velocidades predefinidas ( $V_a$ ). A interação entre o sistema de controle e o jogo é estabelecida de maneira síncrona, utilizando a tecnologia de *websockets* para facilitar uma comunicação bidirecional sem latências perceptíveis.

A tecnologia de *websocket*, implementada por meio da biblioteca "rosharp" do ROS, facilita a comunicação síncrona. *WebSocket* é um protocolo de comunicação bidirecional que estabelece uma conexão persistente entre um navegador web e um servidor web, permitindo

a troca de mensagens em tempo real sem a necessidade de recarregar a página web [89]. A biblioteca "rosharp" é uma implementação específica para o ROS em ambientes .NET, utilizando a linguagem C#. Ela facilita a integração entre o ambiente virtual e o sistema de controle, permitindo a comunicação de dados entre eles [90, 91]. Esta tecnologia baseia-se no Protocolo de Controle de Transmissão (TCP), assegurando uma conexão persistente entre o navegador e o servidor. Essa característica possibilita o envio e o recebimento de mensagens a qualquer momento, eliminando a necessidade de se estabelecer uma nova conexão para cada interação [92].

O objetivo do jogo é que o indivíduo acumule o maior número de pontos. Os pontos são registrados quando o drone e o avatar não se distanciam mais de três metros, representando o tamanho da zona verde ao redor do drone, no ambiente virtual (6 metros). Isso permite uma flexibilidade configurável, em que a velocidade do indivíduo não precisa corresponder exatamente à do drone. Para aprimorar a experiência de navegação no jogo, uma plataforma móvel de cor verde (zona verde) fornece estímulos visuais de movimento, profundidade e distância, em relação ao drone. Além disso, o drone muda de cor para vermelho quando o personagem ultrapassa os limites da zona verde. Vale ressaltar que a velocidade do avatar é atualizada com base na velocidade do usuário ( $V_p$ ), enquanto a do drone é autônoma ( $V_a$ ).

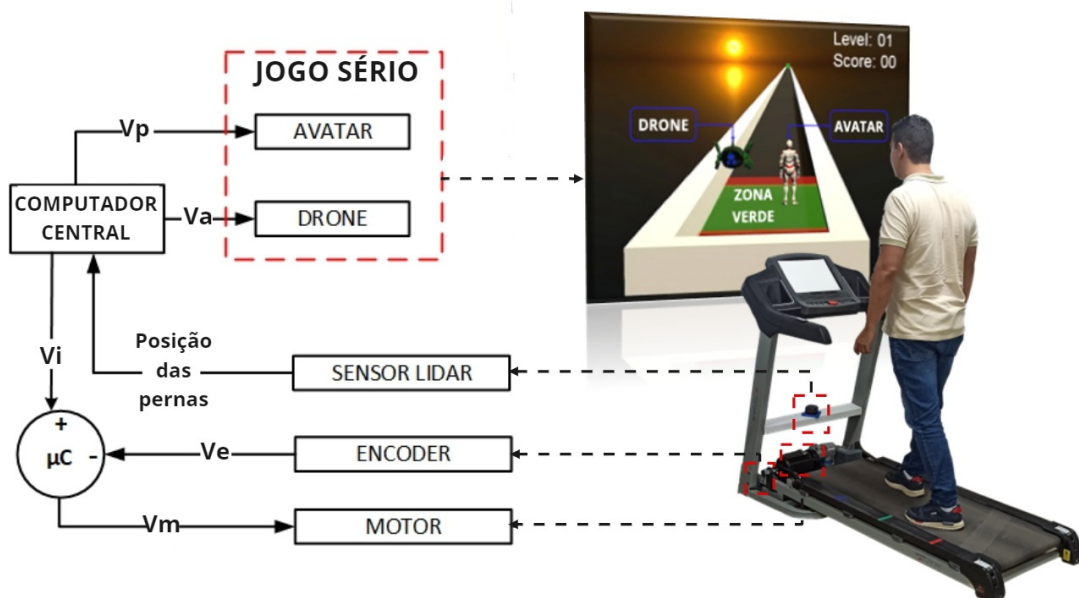


Figura 9 – Esquema de funcionamento do sistema de controle e interação com o ambiente virtual.

## 4 Validação do Sistema

Este capítulo apresenta uma etapa no escopo desta dissertação, fornecendo uma análise do sistema proposto. Inicialmente, será delineado o protocolo experimental adotado, visando às condições e procedimentos específicos, utilizados para avaliar o desempenho do sistema. Adicionalmente, tratará dos métodos estatísticos aplicados para analisar os resultados, alcançando uma abordagem objetiva na interpretação dos dados coletados. Os resultados obtidos durante as experimentações serão discutidos, destacando as observações e as predisposições identificadas. A discussão será centrada na relação entre os resultados obtidos e as expectativas iniciais, abordando possíveis limitações e propondo considerações para futuras melhorias.

### 4.1 Protocolo Experimental

Dose participantes saudáveis (6 mulheres e 6 homens), com uma média de idade de  $30,2 \pm 7,3$  anos, peso médio de  $63,5 \pm 15,0$  kg e altura média de  $1,68 \pm 0,08$  m foram recrutados. Para garantir a inclusão de todos os participantes de maneira criteriosa, foi estabelecido critérios de elegibilidade. Estes incluíam a ausência de experiência prévia com sistemas que integram esteiras ergométricas e jogos sérios. Adicionalmente, foi requisitada a participação de pessoas saudáveis, definida pela ausência de condições neuromusculares, cardiovasculares, ortopédicas ou visuais relatadas, que pudessem restringir sua capacidade de engajamento pleno no estudo.

Para a coleta de dados, os participantes foram conduzidos a uma única visita ao laboratório, dividida em três etapas: familiarização (testar o sistema e entender o funcionamento), Experimento 1 e Experimento 2. A etapa de familiarização teve como propósito instruir os participantes sobre o funcionamento do sistema. Inicialmente, eles foram orientados a subir na esteira e a caminhar em seu próprio ritmo. Posteriormente, receberam instruções sobre como controlar a velocidade da esteira e foram incentivados a experimentar diferentes velocidades, observando as alterações refletidas no avatar do jogo sério.

Após a etapa de familiarização, metade dos participantes realizaram o Experimento 1, seguido do Experimento 2, enquanto a outra metade fez a ordem inversa, ou seja, primeiro o Experimento 2 e depois o Experimento 1. Essa estratégia foi adotada com o intuito de mitigar possíveis influências decorrentes da ordem de execução dos dois experimentos sobre os resultados. Durante os dois experimentos realizados em cada grupo, os participantes responderam ao final de cada experimento um questionário contendo várias perguntas, e foram orientados a acreditar que tinham controle sobre a velocidade da esteira,

porém, os participantes só exerceram controle no Experimento 1, já que foi o sistema que estabeleceu o controle no Experimento 2, sem que o usuário soubesse disso. Cada experimento teve a duração de seis minutos, com intervalos de ajuste de velocidade de aproximadamente 15 segundos.

No Experimento 1, o algoritmo atribuiu níveis de velocidade predefinidos (1,2; 1,9; 2,3; 1,9; 2,4; 1,6; 1,9; 2,3; 2,0; 2,6 km/h) ao drone, no ambiente virtual. No entanto, as velocidades da esteira e do avatar refletem diretamente a velocidade que o usuário está imprimindo ao sistema, ou seja, é o usuário quem comanda a esteira (o sistema atua como não autônomo). Esta abordagem foi projetada para criar uma correlação direta entre a atividade do usuário na esteira e as ações do avatar no jogo, proporcionando uma experiência personalizada.

No Experimento 2, o usuário será induzido (olhando o avatar no ambiente virtual) a diminuir a sua velocidade sobre a esteira, mas a esteira não responde e se mantém firme na velocidade do drone, as velocidades adotadas seguiram os parâmetros predefinidos pelo algoritmo, tanto para o drone (1,2; 1,9; 2,3; 1,9; 2,4; 1,6; 1,9; 2,3; 2,0; 2,0 km/h) quanto para o avatar (1,2; 2,3; 1,9; 1,9; 2,6; 1,6; 1,9; 2,3; 1,9; 2,6 km/h) no ambiente virtual. Nesse cenário, a velocidade da esteira foi automaticamente forçada em alguns momentos a coincidir com a velocidade do drone, simulando a sensação de controle da esteira pelo participante (o sistema atua como autônomo). Portanto, no Experimento 2, a velocidade de caminhada do participante não teve influência na determinação do controle sobre a esteira, proporcionando uma abordagem distinta em relação ao Experimento 1.

É importante destacar a diferenciação entre os modos de operação do sistema implementado: o modo não autônomo, concebido para o Experimento 1, e o modo autônomo, atribuído ao Experimento 2. Na configuração do modo não autônomo, permite-se que o usuário, ao caminhar sobre a esteira ergométrica, tenha o controle sobre a velocidade tanto da esteira quanto do jogo. Contrariamente, no contexto do sistema autônomo, especificamente no âmbito do Experimento 2, a autonomia do usuário é limitada durante a atividade na esteira ergométrica, de modo que ele não tem influência sobre a velocidade da esteira. Sua interação se restringe exclusivamente ao controle da dinâmica do avatar no jogo. Esta distinção entre os sistemas não autônomo e autônomo visa investigar o impacto do grau de controle do usuário sobre a eficácia do treinamento e a experiência global, tanto em termos de desempenho físico quanto de engajamento com o jogo.

## 4.2 Questionários Aplicados

Durante a realização dos Experimentos 1 e 2, procedeu-se à avaliação de diferentes aspectos, incluindo a autoeficácia, a intenção de participar em sessões subsequentes, o

prazer experimentado, a motivação intrínseca e a usabilidade do sistema. Essa avaliação foi realizada por meio de questionários, os quais estão detalhados no Apêndice (A). Após o término de cada experimento, os participantes foram convidados a preencher os questionários para fornecer *feedback* sobre esses aspectos, permitindo uma análise da experiência do usuário e do desempenho do sistema.

A autoeficácia foi medida por meio de uma pergunta baseada nos conceitos de [Bandura e Watts \[93\]](#): "Quão confiante você se sentiu ao participar do jogo na esteira?"; Os voluntários responderam utilizando uma escala de 0 (nada confiante) a 100% (totalmente confiante). Para avaliar a intenção de participação futura, foi utilizada a pergunta: "Qual é sua intenção de repetir uma sessão deste jogo na esteira?" As respostas foram registradas em uma escala de 0% (nenhuma intenção) a 100% (forte intenção).

O prazer foi mensurado através da versão abreviada de 8 itens do questionário de Escala de Prazer em Atividade Física (PACES) [94], que possui uma escala de 1 (menos prazeroso) a 7 (mais prazeroso). A pontuação total representa uma medida unidimensional de prazer, onde valores mais altos indicam maior satisfação.

A motivação intrínseca foi avaliada empregando oito questões cuidadosamente selecionadas do Inventário de Motivação Intrínseca (IMI), que originalmente contém 45 itens [95]. As questões escolhidas exploraram diversas dimensões, incluindo interesse/empolgação (exemplos: "Gostei muito de fazer essa atividade", "Essa atividade não prendeu minha atenção", "Durante a atividade eu percebia o quanto estava gostando dela"), competência percebida ("Eu acho que sou muito bom nesta atividade", "Estou satisfeito com o meu desempenho nesta tarefa"), esforço/importância ("Eu me esforcei muito nessa atividade") e pressão/tensão ("Eu me senti muito tenso ao fazer esta atividade", "Eu estava muito relaxado em fazer isso"). As respostas foram dadas em uma escala Likert de 1 (não verdadeiro) a 7 (muito verdadeiro).

Conforme as diretrizes do IMI, certos itens foram pontuados de maneira inversa. Para estes itens, a resposta foi subtraída de 8, com o resultado sendo utilizado como a pontuação do item. Esse procedimento foi aplicado para itens como "Essa atividade não prendeu minha atenção" e "Eu estava muito relaxado em fazer isso". A pontuação total da motivação intrínseca foi obtida pela soma dos valores de todos os itens respondidos [95].

Adicionalmente, a usabilidade do sistema foi mensurada empregando o questionário de Escala de Usabilidade do Sistema (SUS) [96], que contém 10 itens e fornece uma visão abrangente sobre a usabilidade de uma ferramenta ou sistema. A pontuação do SUS é obtida subtraindo 1 das respostas ímpares e 5 das pares, somando os resultados e multiplicando o total por 2,5. Valores do SUS acima de 70 são considerados aceitáveis de acordo com o estudo de [Bangor, Kortum e Miller \[97\]](#).

Ao término dos experimentos, foi solicitado aos participantes que preenchessem um

questionário avaliando a eficácia do controle automático da velocidade da esteira, assim como a dificuldade percebida ao longo dos experimentos. Para uma análise complementar, os valores médios e os picos de frequência cardíaca foram monitorados por meio do monitor de frequência cardíaca Polar  $\text{®}$ H10 HR (Polar Electro OY, Kempele, Finlândia). Estes valores foram posteriormente calculados como um percentual da frequência cardíaca máxima prevista, utilizando a fórmula de 220 menos a idade do participante [98], proporcionando uma métrica padronizada para avaliar o esforço cardiovascular em resposta à atividade física realizada.

### 4.3 Métodos Estatísticos Utilizados

Esta pesquisa concentrou-se na avaliação e validação da usabilidade do sistema de controle integrado à esteira ergométrica e nas percepções e reações emocionais dos usuários em relação a ele, buscando identificar melhorias em termos de acessibilidade, eficiência e satisfação. Para alcançar esse objetivo, dois grupos de seis participantes, totalizando doze indivíduos, foram submetidos a dois experimentos de análise de marcha, cada um com duração de seis minutos. A fim de realizar uma análise, questionários foram aplicados, cujos detalhes podem ser encontrados no Apêndice (A). Além disso, a avaliação do desempenho do sistema foi conduzida utilizando-se a Escala de Usabilidade do Sistema (SUS) [96], permitindo uma investigação detalhada sobre a usabilidade e a eficácia do sistema proposto.

Em seguida, foi conduzida uma análise estatística utilizando o software MATLAB (versão R2023a), para identificar possíveis diferenças estatísticas entre grupos e experimentos. Para esse fim, foi empregado o teste não paramétrico de Wilcoxon-Mann-Whitney, adotando um nível de significância de 5% [99].

O teste de Wilcoxon-Mann-Whitney é um método estatístico não paramétrico utilizado para comparar duas amostras independentes [100]. Este teste é útil quando os dados analisados não seguem uma distribuição normal ou quando não é possível assumir que as variâncias dos grupos são iguais. Simplificando, oferece uma alternativa para avaliar diferenças entre duas amostras sob condições menos restritivas, tornando-o uma escolha em pesquisas onde as premissas de testes paramétricos não são atendidas.

Para a análise estatística nas respostas afetivas foi utilizado o software SPSS (Statistical Package for the Social Science) versão 20.0 (Chicago, IL, EUA). O objetivo foi identificar as diferenças nas respostas afetivas (autoeficácia, intenção de participar, PACES, IMI, SUS, Frequência Cardíaca média [FCmédia] e Frequência Cardíaca pico [FCpico]), ao comparar os dois experimentos.

A análise estatística dos dados das respostas afetivas foi apresentada por meio das médias  $\pm$  desvio padrão, medianas e frequências relativas (%). Optou-se pela utilização



de médias e medianas como medidas de tendência central devido à não observância de uma distribuição normal nos dados. Em tais circunstâncias, a mediana é frequentemente considerada a medida mais adequada. A avaliação da normalidade dos dados foi realizada utilizando o teste de *Shapiro-Wilk*.

O teste de *Shapiro-Wilk* é empregado como uma ferramenta estatística para avaliar se um conjunto de dados segue uma distribuição normal. Sua finalidade é verificar se os dados são consistentes com a suposição de normalidade, o que é importante para a aplicação de diversos métodos estatísticos [101].

## 4.4 Resultados e Discussões

### 4.4.1 Resultados

Os dados foram analisados de forma segmentada, resultando na obtenção de valores médios e desvios padrão por meio da aplicação da escala SUS, para cada grupo A e B em cada experimento conduzido. (Tabela 1).

Tabela 1 – Resultados dos grupos nos experimentos, escala SUS.

Experimento	Grupo A (média $\pm$ desvio padrão)	Grupo B (média $\pm$ desvio padrão)
Experimento 1	76,7 $\pm$ 23,8	91,2 $\pm$ 14,2
Experimento 2	75,8 $\pm$ 20,0	80,4 $\pm$ 14,4

Pela hipótese nula ( $H_0$ ) de que não existem diferenças significativas entre os efeitos do sistema de controle sobre a variação na marcha dos participantes nos dois experimentos (Grupo A - Experimento 1 = 76,7, Grupo A - Experimento 2 = 75,8, Grupo B - Experimento 1 = 91,2, e Grupo B - Experimento 2 = 80,4), ao comparar os dois experimentos sem realizar a categorização por grupos, não foi observado diferenças estatisticamente significantes (p-valor=0,17). Da mesma forma, não foi identificado discrepâncias significativas entre o Experimento 1 e o Experimento 2 em relação aos participantes de um mesmo grupo (Grupo A: p-valor=0,91 e Grupo B: p-valor=0,06, respectivamente). Por fim, não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas ao compararmos os participantes de ambos os grupos nos Experimentos 1 e 2 (Experimento 1: p-valor=0,91 e Experimento 2: p-valor=0,06, respectivamente). Com o propósito de validar a eficácia do sistema de controle frente às variações na marcha, a Figura 10 ilustra o comportamento da esteira e a velocidade de caminhada em relação ao Drone durante o Experimento 1.

A Figura 10a oferece uma análise das variações na velocidade de caminhada de um dos participantes durante o Experimento 1. O objetivo é acompanhar a tendência estabelecida pelo drone virtual no jogo sério. Foi evidente que o sistema de controle da esteira identifica essas variações causadas por alterações na velocidade de caminhada do participante e gera uma resposta para se adequar a essa tendência. Além disso, na

Figura 10b, é possível observar como o comportamento do participante está limitado ao tamanho da zona verde virtual ao redor do Drone, mantendo-se dentro de uma margem de  $\pm 3$  metros. Isso é feito com o intuito de permanecer na zona de alcance e, conseqüentemente, obter o maior número de pontos possível.

Por fim, a Figura 10c demonstra como a velocidade de caminhada de todos os participantes dos Grupos A e B segue a mesma tendência gerada pela velocidade do drone. Em contraste, no Experimento 2 (Figura 11), foi observado um padrão de comportamento distinto por parte dos participantes. Esse padrão é detalhado na Figura 11a, caracterizando-se por mudanças inesperadas na velocidade do usuário, que não se alinham com a tendência do drone virtual no jogo sério ou com a velocidade da esteira.

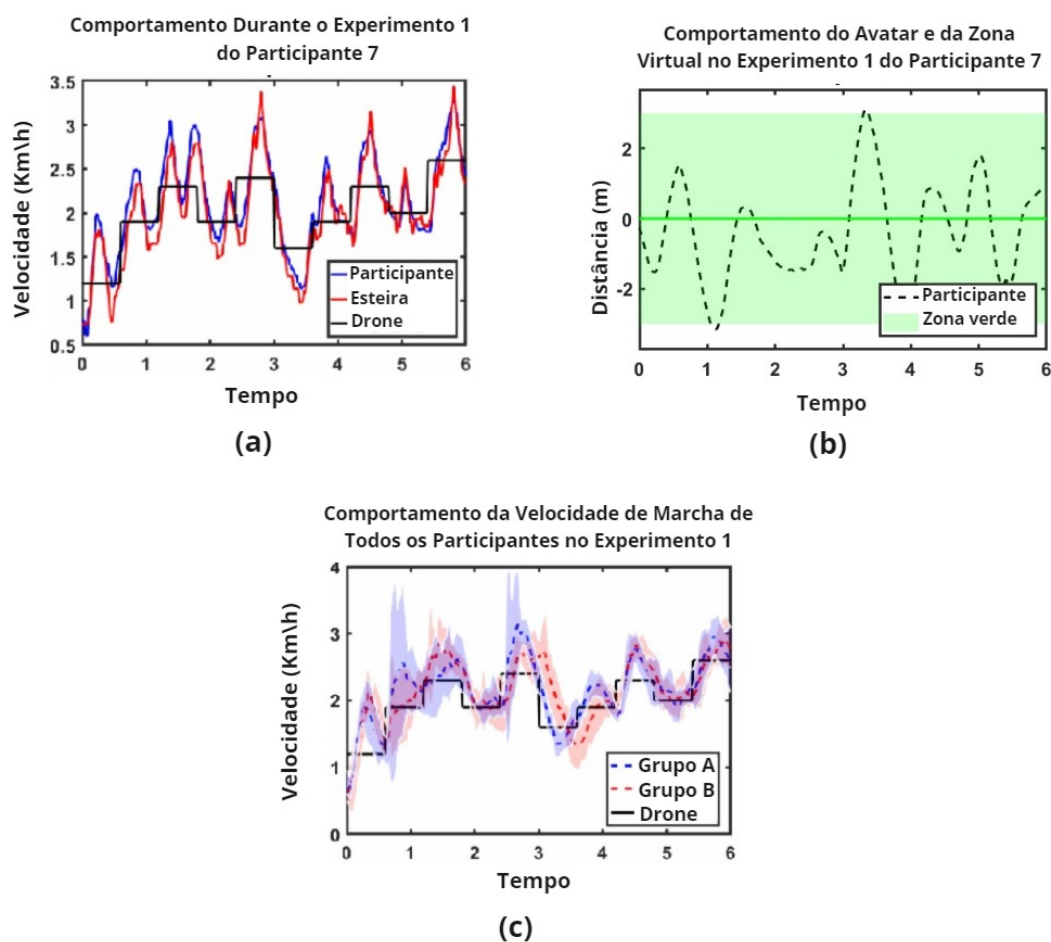


Figura 10 – (a) Variações temporais típicas no comportamento da velocidade da esteira, dentro da zona verde marcada pelo drone, e (b) velocidade de caminhada durante o Experimento 1 realizado pelo participante número 7 ao longo de um período de 6 minutos. Em (c), são mostradas todas as variações temporais no comportamento da velocidade da marcha demonstradas pelos grupos A e B.

A partir da Figura 11b, torna-se evidente que essas mudanças abruptas de velocidade ocorrem quando o avatar está intencionalmente fora da zona verde, sugerindo que a intenção

do participante era induzir ajustes de velocidade na marcha sobre a esteira, semelhante ao que foi observado no Experimento 1.

Entretanto, visto que o sistema opera de forma autônoma no Experimento 2, ou seja, por mais que o usuário tente aumentar ou diminuir a velocidade da marcha sobre a esteira, essa mudança não acontece. Ademais, o sistema bloqueia o usuário de enviar comandos para alterar a velocidade do avatar no jogo sério ou à esteira. Em vez disso, ele impõe ao usuário a manutenção da mesma velocidade definida pelo algoritmo à esteira. Essa imposição resulta na discrepância de padrões de comportamento observada. A Figura 11c ilustra como os participantes restantes exibem uma tendência semelhante em ambos os grupos. Além disso, no intervalo entre 2 e 3 minutos do Experimento 2, conforme ilustrado na Figura 11c, observou-se o comportamento dos participantes diante da programação autônoma da esteira, isto é, sem intervenção direta do participante. Essa configuração incentivou os indivíduos a ajustar sua velocidade de marcha para aumentando ou diminuindo conforme necessário para permanecer dentro da zona verde, a área designada que contribui para a pontuação no jogo.

Posteriormente, foi validada a interação dos participantes com o sistema exposto na Figura 12, que representa a distribuição dos valores médios entre todos os participantes dos Grupos A e B durante o Experimento 1. Foi observado que as medianas para ambos os grupos são similares em todas as variáveis. Contudo, nas Figuras 12b, 12c e 12d, foi identificado valores atípicos correspondentes às variáveis de velocidade do participante, comprimento da passada e contagem de passos.

Posteriormente, empregou-se o teste não paramétrico de Wilcoxon-Mann-Whitney para examinar a possível dependência estatística entre os dois experimentos, adotando um nível de significância de 5% [102]. Nessa análise, não foram observadas diferenças significativas entre os dois experimentos, em termos de velocidade da esteira, velocidade de caminhada e comprimento da passada (p-valor=1,0; p-valor=0,33 e p-valor=0,19, ou seja, a hipótese nula  $H_0$  não foi rejeitada). Em contrapartida, as variáveis que apresentaram diferenças significativas, ou seja, a hipótese nula  $H_0$  foi rejeitada, sendo a pontuação final e a contagem de passos (p-valor=0,0216 e p-valor=0,0486, respectivamente).

A fim de investigar a percepção de autonomia manifestada nas respostas afetivas durante atividades de caminhada em uma esteira controlada por *feedback* inspirado em jogos sérios, procedeu-se com uma análise adicional.

As comparações entre as condições (Experimento 1 e Experimento 2) foram conduzidas utilizando-se o teste t-Student para amostras independentes, quando os dados eram paramétricos (Inventário de Motivação Intrínseca (IMI) e frequência cardíaca média [FCmédia]), e o teste de Mann-Whitney U, quando os dados não eram paramétricos (autoeficácia, intenção em participar, Escala de Prazer em Atividade Física (PACES), escala de usabilidade do sistema (SUS) e frequência cardíaca pico [FCpico]).

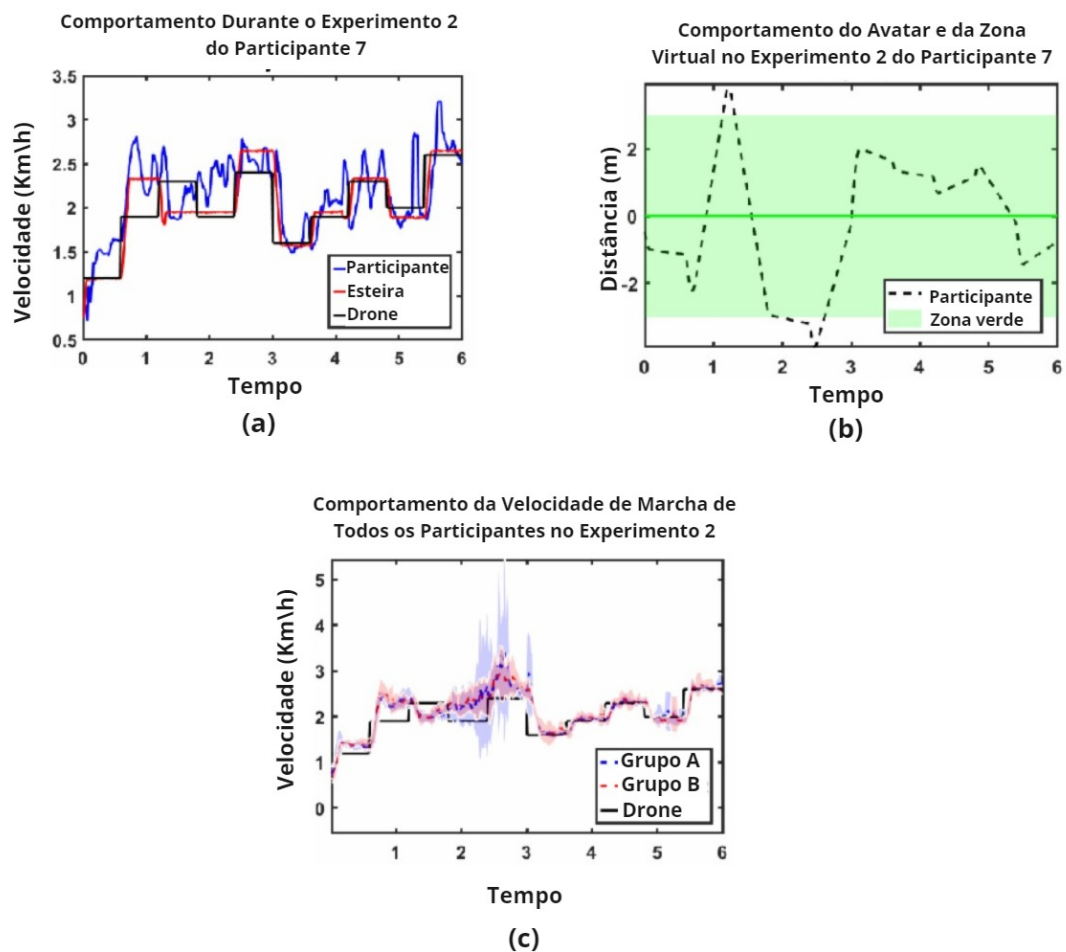


Figura 11 – Variações temporais típicas no comportamento da velocidade da esteira (a), dentro da área marcada pelo drone, e velocidade de caminhada (b) durante o Experimento 2 conduzido pelo participante número 7 ao longo de um período de 6 minutos. Em (c), são mostradas todas as variações temporais no comportamento da velocidade da esteira demonstradas pelos grupos A e B.

Todas as análises estatísticas citadas foram realizadas com o auxílio do software SPSS, estabelecendo-se o nível de significância estatística em  $p\text{-valor} < 0.05$ , ou seja, como  $p\text{-valor} > 0,05$  em todos os casos, então a hipótese nula  $H_0$  não foi rejeitada (Tabela 2).

Em relação à questão do questionário que foi aplicado, todos os participantes 100% afirmaram que não perceberam que a velocidade da esteira foi controlada pelo sistema em nenhum dos experimentos. Quanto à outra questão do questionário, a maioria dos participantes (92.3%) avaliou o Experimento 2 como mais desafiador, ou seja, relataram que havia algo diferente, mas nenhum participante suscitou a hipótese de estar sendo controlado. O sistema manteve o controle da esteira e o participante achou que estava no controle.

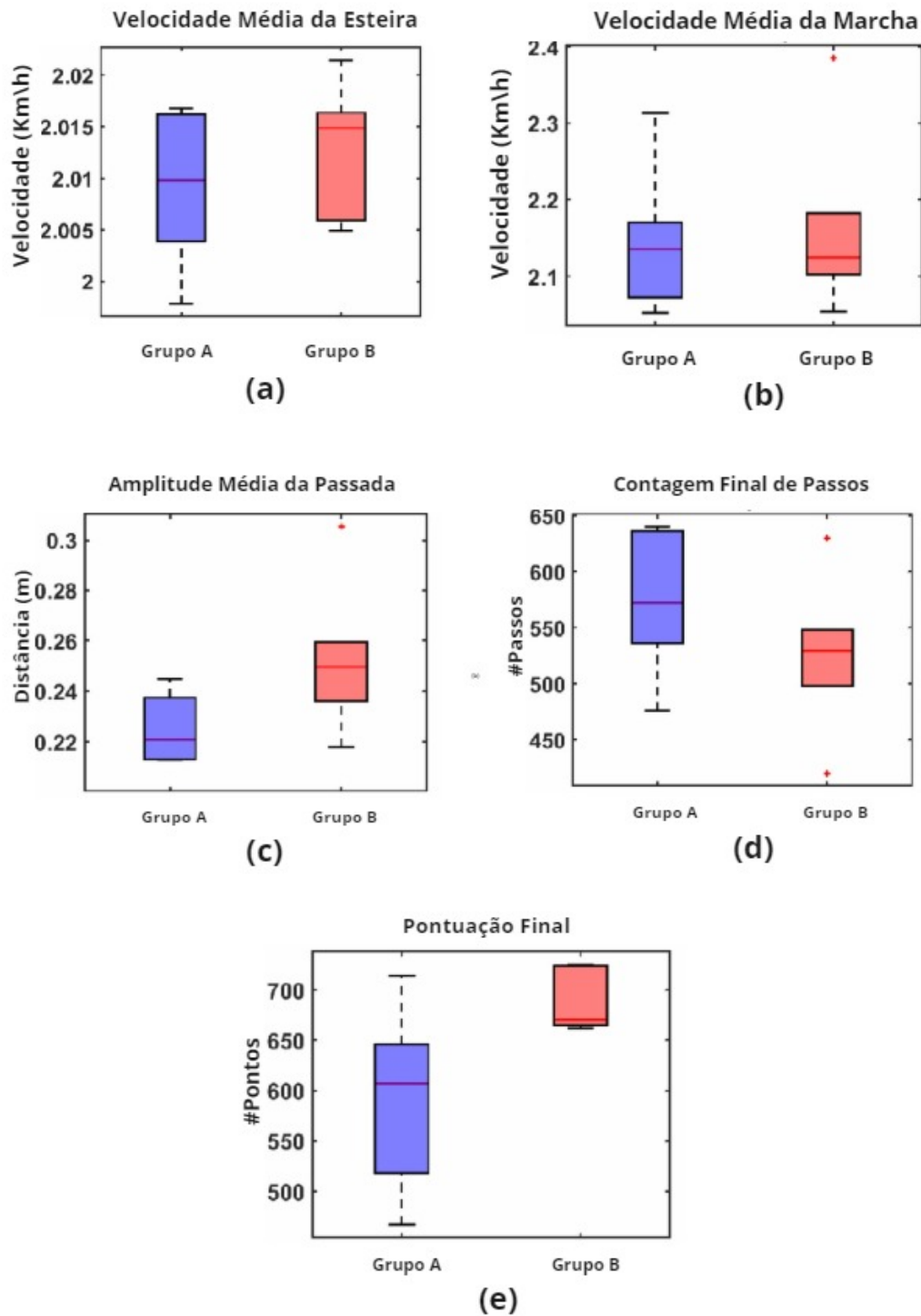


Figura 12 – Distribuição dos dados de cada grupo para as cinco variáveis. No eixo horizontal, os grupos são identificados como "Grupo A - cor azul" e "Grupo B - cor vermelha". As caixas verticais representam os intervalos interquartis.

Tabela 2 – Comparação de variáveis entre os dois experimentos.

<b>Comparação de Variáveis entre os Experimentos.</b>			
<b>Medidas</b>	<b>Experimento 1</b>	<b>Experimento 2</b>	<b>Valor de p</b>
Autoeficácia	73.8 ± 22.0 (90.0)	68.4 ± 22.7 (65.0)	0.501
Intenção	87.7 ± 12.9 (90.0)	83.8 ± 17.0 (80.0)	0.591
PACES	25.7 ± 5.3 (24.0)	25.5 ± 3.7 (25.5)	0.979
IMI	4.7 ± 0.9 (4.5)	5.0 ± 0.9 (5.0)	0.668
SUS	83.8 ± 17.8 (90.0)	78.0 ± 18.7 (78.8)	0.470
FCmédio (%FCmax)	54.4 ± 4.5 (55.2)	53.0 ± 5.1 (54.1)	0.865
FCpico (%FC)	60.9 ± 6.5 (59.7)	59.9 ± 6.6 (60.8)	0.758

#### 4.4.2 Discussão

Inicialmente foi analisado as métricas de autoavaliação, que é uma metodologia de avaliação amplamente empregada, abrangendo escalas psicométricas, questionários e pesquisas. Essa abordagem proporciona *insights*, ou seja, revelações e compreensões acerca da experiência do usuário no contexto do experimento. Isso inclui suas percepções em relação a metas, situações e interações, permitindo uma análise detalhada de aspectos subjetivos que podem não ser imediatamente evidentes [97]. Os *insights* obtidos por meio dessas métricas são para identificar áreas de sucesso e oportunidades de melhoria, facilitando assim a otimização da experiência do participante com base em evidências concretas e percepções qualitativas detalhadas.

Os escores obtidos por meio do protocolo SUS foram calculados para todos os participantes em ambos os experimentos conduzidos. Conforme esperado, durante a realização do Experimento 2, observou-se que ambas as coletividades atingiram uma pontuação de usabilidade igual ou superior a 75%. Esse desfecho foi intencionalmente antecipado, dado que o Experimento 2 foi estrategicamente desenhado para induzir nos participantes uma percepção acentuada de controle sobre o sistema, permitindo-lhes alcançar uma pontuação máxima de 80%. Tal estratégia visa corroborar a eficácia do design do sistema em promover uma experiência de usuário otimizada, conforme refletido nas avaliações de usabilidade elevadas.

Entretanto, foi observado que, mesmo não revelando diferenças estatisticamente significativas entre os dois experimentos, os valores médios de ambos os grupos indicam que os participantes perceberam um aumento na usabilidade durante o Experimento 1.

Vale ressaltar que essa inclinação é mais evidente no Grupo B, onde os participantes atribuíram à usabilidade do sistema no Experimento 1 uma melhoria de 10%. Essa observação pode ser associada ao fato de que os usuários inicialmente realizaram o Experimento 2, no qual não tinham controle direto sobre a velocidade da esteira. Dessa forma, ao conduzirem o Experimento 1 posteriormente, conseguiram discernir de maneira mais precisa a diferença na controlabilidade. Importante ressaltar que, apesar de o Grupo

A ter apresentado uma avaliação numérica de desempenho inferior, isso não implica necessariamente que os participantes não tenham alcançado níveis satisfatórios em termos de facilidade de uso e eficiência do sistema [103].

Ademais, os resultados representados na Figura 10, derivados da análise de velocidade e resposta na esteira, evidenciam sua rápida adaptação às variações de velocidade controladas pelos participantes que eram saudáveis, permitindo assim a integração eficaz deste dispositivo com jogos sérios.

De maneira análoga, os resultados deste estudo evidenciam as variações contínuas ao longo do tempo nas medidas de marcha para todos os participantes da pesquisa. Ficou claro que, os participantes do grupo B escolheram um estilo de caminhada ligeiramente mais suave, resultando em um aumento no comprimento da passada e uma diminuição na cadência em comparação com os participantes do grupo A. Esta abordagem se refletiu em melhorias perceptíveis tanto nas pontuações obtidas quanto na percepção do modelo de controle. Vale ressaltar que tais melhorias podem ser atribuídas ao fato de que o segundo grupo de participantes iniciou com o Experimento 2, proporcionando-lhes a oportunidade de aprimorar a interação humano-máquina e, por conseguinte, aumentar sua confiança no manuseio do sistema. Como era esperado ao lidar com participantes sem experiência prévia, as medidas de desempenho da marcha foram restritas ao contexto de caminhar na esteira.

Essa restrição decorreu da ausência de um ritmo controlado externamente e da limitação do espaço disponível para caminhar. A limitação espacial teve impacto na variabilidade das medidas espaço-temporais obtidas, visto que alguns participantes modificaram seu estilo de caminhada ao adotar uma estratégia diferente [15].

No entanto, os resultados obtidos são de grande importância, uma vez que o algoritmo que controla a esteira demonstra confiabilidade na análise e identificação de parâmetros como velocidade de caminhada, comprimento da passada e cadência. Esses resultados são corroborados e alinhados com outros estudos que respaldam a atual viabilidade e pertinência da investigação sobre o uso de técnicas e a combinação de tecnologias por meio de esteiras de velocidade variável, visando aprimorar os padrões de movimento na marcha de usuários com disfunções de mobilidade.

Em estudos dessa natureza, nos quais os usuários estão engajados em ambientes virtuais, como é o caso dos jogos sérios, a capacidade de manter uma marcha contínua e ininterrupta, com ritmo adaptável e mínimas distrações, revela-se um elemento importante [15]. É importante ressaltar que esses resultados fornecem uma visão promissora para a melhoria da qualidade de vida e apoio na reabilitação de indivíduos com disfunções de mobilidade.

A investigação da percepção de controle (autonomia) exercida pelos participantes

durante a interação com um jogo sério baseado em caminhada em esteira, controlada por *feedback*, pode ser determinante nas respostas afetivas elicitadas nos participantes. Neste contexto, induziu-se nos participantes a crença de que a velocidade da esteira era ajustável em resposta a seus movimentos voluntários de aceleração e desaceleração durante o Experimento 1, em que a velocidade era ajustada de maneira autônoma, e o Experimento 2, em que o ajuste era realizado de forma não autônoma. O principal achado deste estudo indicou que, independentemente da configuração autônoma ou não autônoma do ajuste de velocidade, os participantes manifestaram respostas afetivas semelhantes em ambos os experimentos, mesmo diante do aumento do desafio imposto pelo Experimento 2.

Com base nos resultados observados, a percepção da sensação de prazer dos participantes mostrou-se semelhante entre os dois experimentos. É improvável concluir que os efeitos na sensação de prazer possam ser atribuídos a fatores interoceptivos (por exemplo, acidose metabólica ou fadiga) associados a intensidades elevadas. Isso se deve ao fato de que a FC<sub>méd</sub> e FC<sub>pico</sub>, expressas em relação ao %FC<sub>máx</sub>, alcançadas durante o Experimento 1 (54.4 e 60.9 %FC<sub>máx</sub>) e o Experimento 2 (53.0 e 59.9 %FC<sub>máx</sub>), se situam nas categorias de intensidade muito leve e leve (< 57 e 57-63 %FC<sub>máx</sub>, respectivamente) [98]. Conforme a Teoria da Motivação Dual (TMD), em tais condições, as respostas afetivas aos exercícios são mediadas por fatores cognitivos, como a autoeficácia [34].

A partir da análise dos resultados obtidos, constatou-se que os níveis de autoeficácia apresentaram-se consistentes entre as condições de autonomia e não autonomia, apesar da percepção dos participantes de um maior desafio na condição não autônoma (experimento 1). De forma paralela, as medidas relativas à motivação intrínseca demonstraram ser comparáveis entre os dois experimentos. Tais achados estão em consonância com o corpo de literatura existente, reforçando a noção de que a motivação intrínseca pode ser efetivamente considerada um preditor da autoeficácia [104].

Entretanto, mesmo diante da demanda fisiológica semelhante entre os experimentos, os participantes parecem ter enfrentado uma maior exigência cognitiva no Experimento 2 (ou seja, perceberam a tarefa como mais difícil). Essa demanda cognitiva não aparenta ser derivada de dificuldades de aprendizado ou utilização do sistema, dado que em ambos os experimentos a usabilidade do sistema foi similar e elevada (>75), conforme a classificação previamente estabelecida [96]. Portanto, a possível maior demanda cognitiva no Experimento 2 pode derivar da tentativa dos participantes de controlar a esteira para atingir a meta no jogo, quando, na verdade, o controle era realizado pelo sistema. Contudo, o fato de a autoeficácia ter se mantido similar nos dois experimentos não foi suficiente para que o nível de dificuldade fosse percebido de maneira idêntica em ambas as condições. Esses resultados estão alinhados com um estudo prévio que sugere que, embora seja um construto motivacional significativo, a autoeficácia influencia, porém não determina de maneira absoluta, o desempenho na tarefa [104]. Curiosamente, o fato de os participantes



considerarem o Experimento 1 (não autônomo) mais desafiador não teve um impacto significativo na intenção de participar de sessões de exercício no futuro.

Os resultados apresentados estão em consonância com estudos experimentais envolvendo exercícios em esteira e cicloergômetro, os quais indicam que condições que permitem ao participante escolher sua própria intensidade (ou seja, autônomas) geralmente estão associadas a estados afetivos mais positivos em comparação com condições em que a intensidade é prescrita (ou seja, não autônomas) [105, 106]. Em um estudo, a manipulação da percepção de autonomia dos participantes nas respostas afetivas foi examinada. No primeiro experimento, os participantes puderam determinar a velocidade inicial do exercício em esteira e ajustar a velocidade conforme sua escolha a cada 5 minutos. No segundo experimento, os participantes acreditavam que a velocidade era prescrita exclusivamente pelo pesquisador, embora na realidade, fosse prescrita de acordo com a velocidade escolhida pelo participante no primeiro experimento. Os pesquisadores observaram uma redução na percepção de autonomia e escolha, além da atenuação no aumento de energia e nos níveis de prazer após o Experimento 2. Esses resultados foram atribuídos à sensação de perda de controle (autonomia) experimentada pelos participantes durante o segundo experimento [34]. Dessa forma, os dados do presente estudo corroboram esses achados, reforçando a importância da sensação de autonomia para alcançar respostas afetivas positivas durante o exercício em esteira.

Entretanto, de acordo com o que entendemos até o momento, este estudo é uma das primeiras tentativas de destacar como a autonomia pode afetar os jogos de caminhada em esteira controlada por *feedback*. Neste cenário, os participantes têm como objetivo modular sua velocidade para atingir as metas estabelecidas pelo jogo. Os achados obtidos indicam que a autonomia desempenha um papel importante, sugerindo a necessidade de considerar este aspecto ao implementar intervenções destinadas a aprimorar as respostas afetivas e o engajamento dos pacientes nos programas de reabilitação.

## 5 Conclusões e Trabalhos Futuros

A pesquisa em questão revela uma percepção positiva dos participantes em relação ao controle de uma esteira ergométrica com velocidade ajustável, validada por meio da aplicação do protocolo System Usability Scale (SUS) e da interação dos participantes com o sistema por meio de um jogo sério de caminhada. Apesar da ausência de diferenças significativas na avaliação de usabilidade entre grupos nos experimentos, é importante destacar que o Experimento 1, permitiu que o participante controlasse tanto a esteira quanto o avatar, resultando em uma percepção mais favorável em termos de facilidade de uso. As análises de marcha respaldam a eficácia do sistema, demonstrando sua responsividade e consistência, possibilitando uma sincronização efetiva entre a velocidade da esteira e a trajetória estabelecida pelo drone virtual no jogo sério durante o Experimento 1.

Adicionalmente, as discrepâncias nos padrões comportamentais entre os experimentos indicam que o Experimento 1 promoveu uma marcha suave e adaptável, enquanto o Experimento 2, operando de maneira autônoma, resultou em variações comportamentais. Essa diferenciação sugere a capacidade dos participantes em controlar ativamente o sistema, evidenciando que este não impõe condições aos usuários, mas sim responde às suas ações. Em resumo, os resultados corroboram a eficácia do sistema na promoção da melhoria da marcha e facilitação da interação humano-máquina. Conclui-se que a participação e controle mais significativos por parte dos usuários durante a interação com o sistema contribuem para uma melhor percebida usabilidade e adoção de padrões de marcha mais adaptados.

Ao considerar a manipulação da sensação de autonomia em um jogo sério de caminhada em esteira ergométrica com velocidade controlada por *feedback*, a pesquisa adicional apresenta descobertas relevantes. Os resultados indicam que a autonomia, mesmo quando o jogo é percebido como desafiador, pode influenciar positivamente as respostas afetivas dos participantes. Contudo, ressalta-se que este estudo empregou baixas intensidades de exercício, uma escolha metodológica destinada a isolar possíveis efeitos das intensidades elevadas nas respostas afetivas dos participantes.

Considerando o exposto, sugere-se que estudos futuros aprofundem a investigação do impacto da autonomia não apenas nos jogos sérios de exercícios, mas, especificamente, no controle da esteira em diferentes níveis de intensidade. Essa abordagem possibilitará uma análise mais minuciosa dos efeitos da autonomia na experiência do usuário, levando em conta as variações nas demandas físicas associadas a distintos níveis de intensidade de exercício. Tais investigações não apenas ampliarão a compreensão da influência da autonomia nesse contexto específico, mas também oferecerão perspectivas valiosas para o

aprimoramento do design e implementação de sistemas de controle de esteira em ambientes de jogos sérios.

Também como investigações futuras, sugere-se focar no desenvolvimento de estratégias e tecnologias que refinem o controle da esteira ergométrica para atender às preferências individuais dos usuários. Isso pode envolver algoritmos de controle adaptáveis, interfaces mais intuitivas, e a inclusão de *feedback* sensorial para uma experiência mais imersiva e personalizada. Tais melhorias têm o potencial de otimizar a funcionalidade e a eficácia das esteiras em ambientes de jogos sérios, aumentando a autonomia do usuário, a satisfação e a adesão ao exercício, fundamentais para o sucesso dessas tecnologias na promoção da saúde e do bem-estar.

## Referências

- 1 ORGANIZATION, W. H. *et al.* Global report on assistive technology. World Health Organization, 2022. Citado na página 13.
- 2 ORGANIZATION, W. H. *et al.* *Decade of healthy ageing: baseline report*. [S.l.]: World Health Organization, 2021. Citado na página 13.
- 3 RONTHAL, M. Gait disorders and falls in the elderly. *Medical Clinics of North America*, v. 103, n. 2, p. 203–213, 2019. ISSN 0025-7125. Neurology for the Non-Neurologist. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025712518301329>>. Citado na página 13.
- 4 XU, F. *et al.* Effects of tai chi on postural balance and quality of life among the elderly with gait disorders: A systematic review. *Plos one*, Public Library of Science San Francisco, CA USA, v. 18, n. 9, p. e0287035, 2023. Citado na página 13.
- 5 SEPPALA, L.; VELDE, N. van der. Falls and impaired mobility. In: *Optimizing Pharmacotherapy in Older Patients: An Interdisciplinary Approach*. [S.l.]: Springer, 2023. p. 161–172. Citado na página 13.
- 6 JUTAI, J. W.; TUAZON, J. R. The role of assistive technology in addressing social isolation, loneliness and health inequities among older adults during the covid-19 pandemic. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, Taylor & Francis, v. 17, n. 3, p. 248–259, 2022. Citado na página 13.
- 7 FAROOQ, A. S.; ZHANG, P. A comprehensive review on the prospects of next-generation wearable electronics for individualized health monitoring, assistive robotics, and communication. *Sensors and Actuators A: Physical*, Elsevier, p. 113715, 2022. Citado na página 13.
- 8 SARSAK, H. I. *et al.* A perspective on occupational therapy and assistive technology: Research, contributions, challenges and global initiatives. *World Federation of Occupational Therapists Bulletin*, Taylor & Francis, p. 1–9, 2023. Citado na página 13.
- 9 JD, D. Organização mundial da saúde e idosos. 2023. Citado na página 13.
- 10 REZNICK, E. *et al.* Lower-limb kinematics and kinetics during continuously varying human locomotion. *Scientific Data*, Nature Publishing Group UK London, v. 8, n. 1, p. 282, 2021. Citado na página 13.
- 11 WANG, Z. *et al.* Redirected walking on omnidirectional treadmill. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Ieee, 2023. Citado na página 13.
- 12 AURICH, T.; DELLEN, F. van; LABRUYÈRE, R. The freed module’s lateral translation timing in the gait robot lokomat: a manual adaptation is necessary. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, Springer, v. 20, n. 1, p. 109, 2023. Citado na página 13.

- 13 ZHANG, L. *et al.* Comparison of efficacy of lokomat and wearable exoskeleton-assisted gait training in people with spinal cord injury: a systematic review and network meta-analysis. *Frontiers in Neurology*, Frontiers, v. 13, p. 772660, 2022. Citado na página 13.
- 14 GRIMMER, M. *et al.* Mobility related physical and functional losses due to aging and disease—a motivation for lower limb exoskeletons. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, BioMed Central, v. 16, n. 1, p. 1–21, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 15.
- 15 WINTER, C. *et al.* Immersive virtual reality during gait rehabilitation increases walking speed and motivation: a usability evaluation with healthy participants and patients with multiple sclerosis and stroke. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, Springer, v. 18, n. 1, p. 68, 2021. Citado 3 vezes nas páginas 13, 15 e 46.
- 16 CHEN, Y.-N.; WU, Y.-N.; YANG, B.-S. The neuromuscular control for lower limb exoskeleton—a 50-year perspective. *Journal of Biomechanics*, Elsevier, p. 111738, 2023. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 15.
- 17 YANG, Z.-Q. *et al.* Augmented reality for stroke rehabilitation during covid-19. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, Springer, v. 19, n. 1, p. 136, 2022. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 15.
- 18 TIERI, G. *et al.* Virtual reality in cognitive and motor rehabilitation: facts, fiction and fallacies. *Expert review of medical devices*, Taylor & Francis, v. 15, n. 2, p. 107–117, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 16.
- 19 ALMUTAIRI, S. M. Lower body positive pressure treadmill gait training for neurological patients: a systematic review. *Bulletin of Faculty of Physical Therapy*, Springer, v. 28, n. 1, p. 23, 2023. Citado na página 13.
- 20 BLADEL, A. V. *et al.* Biomechanical differences between self-paced and fixed-speed treadmill walking in persons after stroke. *Human Movement Science*, Elsevier, v. 85, p. 102983, 2022. Citado na página 14.
- 21 CASTANO, C. *Gait Strategies While Walking with Discrete Perturbations on a Self-Paced Treadmill*. Tese (Doutorado) — University of Central Florida Orlando, Florida, 2023. Citado na página 14.
- 22 DALE, M. L. *et al.* Balance and gait in progressive supranuclear palsy: a narrative review of objective metrics and exercise interventions. *Frontiers in Neurology*, Frontiers Media SA, v. 14, 2023. Citado na página 14.
- 23 BYRA, J.; CZERNICKI, K. The effectiveness of virtual reality rehabilitation in patients with knee and hip osteoarthritis. *Journal of clinical medicine*, Mdpfi, v. 9, n. 8, p. 2639, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 16.
- 24 LAAMARTI, F.; EID, M.; SADDIK, A. E. An overview of serious games. *International Journal of Computer Games Technology*, Hindawi Limited London, UK, United Kingdom, v. 2014, p. 11–11, 2014. Citado na página 14.
- 25 MEADE, M. A.; MASLOWSKI, E. Development of a serious gaming app for individuals with spinal cord injury. *J. Technol. Pers. Disabil*, v. 6, p. 162–180, 2018. Citado na página 14.

- 26 DONG, M.; YUAN, J.; LI, J. A lower limb rehabilitation robot with rigid-flexible characteristics and multi-mode exercises. *Machines*, Mdpi, v. 10, n. 10, p. 918, 2022. Citado na página 14.
- 27 ZASADZKA, E. *et al.* Modern technologies in the rehabilitation of patients with multiple sclerosis and their potential application in times of covid-19. *Medicina*, Mdpi, v. 57, n. 6, p. 549, 2021. Citado na página 14.
- 28 KAPP, K. M. *The gamification of learning and instruction: Game-based methods and strategies for training and education*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2012. Citado na página 14.
- 29 MEULENBERG, C. J.; BRUIN, E. D. de; MARUSIC, U. A perspective on implementation of technology-driven exergames for adults as telerehabilitation services. *Frontiers in Psychology*, Frontiers, v. 13, p. 840863, 2022. Citado na página 14.
- 30 SAIDA, T. G. R. H.; SØRENSEN, T. J.; LANGBERG, H. Long-term exercise adherence after public health training in at-risk adults. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, Elsevier, v. 60, n. 4, p. 237–243, 2017. Citado na página 14.
- 31 COX, E. R. *et al.* Potential utility of self-report measures of affect to optimise exercise adherence in people with type 2 diabetes. *Current Diabetes Reviews*, Bentham Science Publishers, v. 15, n. 4, p. 302–308, 2019. Citado na página 14.
- 32 CHEN, C. *et al.* Can positive affective variables mediate intervention effects on physical activity? a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in psychology*, Frontiers Media SA, v. 11, p. 587757, 2020. Citado na página 14.
- 33 HOHBERG, V. *et al.* What is needed to promote physical activity?-current trends and new perspectives in theory, intervention, and implementation. *Current Issues in Sport Science*, v. 8, n. 1, 2022. Citado na página 14.
- 34 EKKEKAKIS, P.; PARFITT, G.; PETRUZZELLO, S. J. The pleasure and displeasure people feel when they exercise at different intensities: decennial update and progress towards a tripartite rationale for exercise intensity prescription. *Sports medicine*, Springer, v. 41, p. 641–671, 2011. Citado 3 vezes nas páginas 14, 47 e 48.
- 35 LEE, Y.-S.; LEE, J.-H.; KIM, H.-J. Gait rehabilitation for individuals with neurological disorders: a systematic review. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, Springer Nature, v. 16, n. 1, p. 1–12, 2019. Citado na página 15.
- 36 BJORNSON, K. *et al.* Gait as a fundamental component of quality of life in people with mobility impairments: a systematic review. *Disability and Rehabilitation*, Taylor & Francis, v. 39, n. 13, p. 1286–1296, 2017. Citado na página 15.
- 37 CRAIG, C. *et al.* Conventional gait rehabilitation: a review of the literature. *Journal of Physiotherapy*, British Association of Physiotherapists, v. 73, n. 3, p. 165–173, 2017. Citado na página 15.
- 38 SLOOT, L.; KROGT, M. Van der; HARLAAR, J. Self-paced versus fixed speed treadmill walking. *Gait & posture*, Elsevier, v. 39, n. 1, p. 478–484, 2014. Citado na página 15.

- 39 CANETE, S.; JACOBS, D. A. Novel velocity estimation for symmetric and asymmetric self-paced treadmill training. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, BioMed Central, v. 18, n. 1, p. 1–15, 2021. Citado na página 15.
- 40 M., S. D. S. *et al.* Introduction to robotics for gait assistance and rehabilitation. In: \_\_\_\_\_. *Interfacing Humans and Robots for Gait Assistance and Rehabilitation*. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 1–41. ISBN 978-3-030-79630-3. Disponível em: <[https://doi.org/10.1007/978-3-030-79630-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-79630-3_1)>. Citado na página 18.
- 41 CIFUENTES, C. A. *et al.* Experimental characterization of flexible and soft actuators for rehabilitation and assistive devices. *Interfacing Humans and Robots for Gait Assistance and Rehabilitation*, Springer, p. 169–192, 2022. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 19.
- 42 MOSHER, R. S. Force-reflecting electrohydraulic servomanipulator. *Electro-Technology, Dec.*, p. 138–141, 1960. Citado na página 19.
- 43 ESQUENAZI, A. *et al.* The rewalk powered exoskeleton to restore ambulatory function to individuals with thoracic-level motor-complete spinal cord injury. *American journal of physical medicine & rehabilitation*, Lww, v. 91, n. 11, p. 911–921, 2012. Citado na página 19.
- 44 MERLETTI, R.; FARINA, D. Robotics for gait rehabilitation: State of the art and challenges. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, Springer, v. 14, n. 1, p. 12, 2017. Citado na página 20.
- 45 KUBOTA, S. *et al.* Immediate effects of hybrid assistive limb gait training on lower limb function in a chronic myelopathy patient with postoperative late neurological deterioration. *BMC Research Notes*, Springer, v. 15, n. 1, p. 89, 2022. Citado na página 20.
- 46 LOKOMAT®. Disponível em: <<https://www.hocoma.com/solutions/lokomat/>>. Citado na página 20.
- 47 OTTOBOCK. *ExoAtlet III*. 2023. Disponível em: <<https://www.ottobock.com/en/products/exoskeletons/exoatlet/exoatlet-iii/>>. Citado na página 20.
- 48 MEGALINGAM, R. K. *et al.* Wearable hand orthotic device for rehabilitation: Hand therapy with multi-mode control and real-time feedback. *Applied Sciences*, v. 13, n. 6, 2023. ISSN 2076-3417. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2076-3417/13/6/3976>>. Citado na página 20.
- 49 TEIPEL, S. J. *et al.* Prediction of disorientation by accelerometric and gait features in young and older adults navigating in a virtually enriched environment. *Frontiers in Psychology*, Frontiers, v. 13, p. 882446, 2022. Citado na página 20.
- 50 DEMROZI, F.; BORZI, L.; OLMO, G. Wearable sensors for supporting diagnosis, prognosis, and monitoring of neurodegenerative diseases. *Electronics*, v. 12, n. 6, 2023. ISSN 2079-9292. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2079-9292/12/6/1269>>. Citado na página 21.
- 51 SILVA A. C., M. M. F.; OLIVEIRA, R. S. Esteiras ergométricas: uma revisão da literatura. *Revista Brasileira de Atividade Física e Saúde*, v. 27, n. 4, p. 250–259, 2022. Citado na página 22.

- 52 SCHLESINGER, C. *Esteiras ergométricas: guia completo*. [S.l.]: Editora Manole, 2016. Citado na página [22](#).
- 53 VELAYUDHAN, S. K.; BALAKRISHNAN, S. Live along with tread mills for a better tomorrow. 2019. Citado na página [22](#).
- 54 DIJK, J. P. V.; OUTROS. Ergonomics of treadmills for rehabilitation of gait disorders: a systematic review. *Journal of Rehabilitation Medicine*, v. 51, n. 2, p. 131–139, 2019. Citado na página [23](#).
- 55 SILVA, J. M. Conventional treadmills: A valuable tool for gait rehabilitation. *Journal of Physiotherapy*, v. 70, n. 1, p. 1–6, 2023. Citado na página [23](#).
- 56 KAŻMIERCZAK, K. *et al.* Effect of treadmill training with visual biofeedback on selected gait parameters in subacute hemiparetic stroke patients. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Mdpi, v. 19, n. 24, p. 16925, 2022. Citado na página [23](#).
- 57 PATSAKI, I. *et al.* The effectiveness of immersive virtual reality in physical recovery of stroke patients: A systematic review. *Frontiers in Systems Neuroscience*, Frontiers, v. 16, p. 880447, 2022. Citado na página [23](#).
- 58 ZADRAVEC, M.; MATJAČIĆ, Z. Real-time cross-step detection using center-of-pressure based algorithm. 2023. Citado na página [23](#).
- 59 DIJK, J. P. V.; OUTROS. Instrumented treadmills in gait rehabilitation: A systematic review. *Journal of Rehabilitation Medicine*, v. 51, n. 2, p. 140–147, 2019. Citado na página [23](#).
- 60 CHANDRAN, S. *et al.* Serious games for gait rehabilitation: A review. *Current Medical Research and Opinion*, v. 38, n. 11, p. 2249–2260, 2022. Citado na página [23](#).
- 61 IEEE (Ed.). *Fase de marcha em tempo real e estimativa de tarefa para controlar um exoesqueleto de tornozelo motorizado em terreno extremamente irregular*. Citado na página [24](#).
- 62 CENTRAL, B. (Ed.). *Usando dados de força para controlar o ritmo de uma esteira instrumentada e medir a velocidade de caminhada autosselecionada*. Citado na página [24](#).
- 63 IBALA, E.; COUPAUD, S.; KERR, A. Comparison of the muscle pattern variability during treadmill walking (fixed and self-pace) and overground walking of able-bodied adults. *Journal of Annals of Bioengineering*, v. 1, p. 1–11, 2019. Citado na página [24](#).
- 64 SA, F. M. (Ed.). *Recrutamento flexível de mecanismos de equilíbrio para restrições ambientais durante a caminhada*. Citado na página [24](#).
- 65 MDPI (Ed.). *O papel da análise do movimento no diagnóstico e monitoramento de condições neurodegenerativas: insights da marcha e do controle postural*. Citado na página [24](#).
- 66 HOUGLUM, P. A.; BOYLE-WALKER, K. L.; HOUGLUM, D. E. *Rehabilitation of Musculoskeletal Injuries*. [S.l.]: Human Kinetics, 2022. Citado na página [24](#).



- 67 KIRKMAN, D. L.; LEE, D.-c.; CARBONE, S. Resistance exercise for cardiac rehabilitation. *Progress in Cardiovascular Diseases*, Elsevier, v. 70, p. 66–72, 2022. Citado na página 24.
- 68 VERDICCHIO, C. *et al.* A clinical guide for assessment and prescription of exercise and physical activity in cardiac rehabilitation. a csanz position statement. *Heart, Lung and Circulation*, Elsevier, v. 32, n. 9, p. 1035–1048, 2023. Citado na página 25.
- 69 FRONTEIRAS (Ed.). *Tendências e práticas recentes para avaliação e reabilitação de doenças neurodegenerativas: percepções da marcha humana*. Citado na página 25.
- 70 ROCHA J. S., S. D. R.; SILVA, L. B. Jogos digitais: uma revisão da literatura. *Revista Brasileira de Educação Física e Esporte*, v. 27, n. 4, p. 260–269, 2023. Citado na página 25.
- 71 DAROOEI, R.; VARD, A.; RABBANI, H. Barbam: a new arcophobia virtual reality game. In: IEEE. *2019 International Serious Games Symposium (ISGS)*. [S.l.], 2019. p. 48–53. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 28.
- 72 MUBIN, O. *et al.* Exploring serious games for stroke rehabilitation: a scoping review. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, Taylor & Francis, v. 17, n. 2, p. 159–165, 2022. Citado na página 25.
- 73 MICHAEL, D. R.; CHEN, S. L. *Serious games: Games that educate, train, and inform*. [S.l.]: Muska & Lipman/Premier-Trade, 2005. Citado na página 25.
- 74 SAWYER, B.; SMITH, P. Serious games taxonomy, 2008. *Serious Games Initiative*, 2018. Citado na página 25.
- 75 WIEMEYER, J.; KLIEM, A. Serious games in prevention and rehabilitation—a new panacea for elderly people? *European Review of Aging and Physical Activity*, BioMed Central, v. 9, n. 1, p. 41–50, 2012. Citado na página 25.
- 76 YAN, Z.; WU, Z. Serious games: an overview of definitions, classifications, and design principles. *Computers in Human Behavior*, v. 123, p. 106–118, 2023. Citado na página 25.
- 77 MA, M.; OIKONOMOU, A.; JAIN, L. C. *Serious games and edutainment applications*. [S.l.]: Springer, 2011. v. 504. Citado na página 25.
- 78 PEREIRA, M. F. *et al.* A virtual reality serious game for hand rehabilitation therapy. In: IEEE. *2020 IEEE 8th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*. [S.l.], 2020. p. 1–7. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 28.
- 79 KHALEGHI, A.; AGHAEI, Z.; MAHDAVI, M. A. A gamification framework for cognitive assessment and cognitive training: qualitative study. *JMIR serious games*, JMIR Publications Toronto, Canada, v. 9, n. 2, p. e21900, 2021. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 28.
- 80 EUN, S.-J.; KIM, E. J.; KIM, J. Artificial intelligence-based personalized serious game for enhancing the physical and cognitive abilities of the elderly. *Future Generation Computer Systems*, Elsevier, v. 141, p. 713–722, 2023. Citado na página 25.
- 81 BARBOSA, H.; CASTRO, A. V.; CARRAPATOSO, E. Serious games and rehabilitation for elderly adults. *Gsj*, v. 6, n. 1, p. 275, 2018. Citado na página 26.

- 82 SCHEIDIG, A. *et al.* May i keep an eye on your training? gait assessment assisted by a mobile robot. In: IEEE. *2019 IEEE 16th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*. [S.l.], 2019. p. 701–708. Citado na página 26.
- 83 CIFUENTES, C. A. *et al.* Serious games in robot-assisted rehabilitation therapy for neurological patients. *Interfacing Humans and Robots for Gait Assistance and Rehabilitation*, Springer, p. 309–329, 2022. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 28.
- 84 PROENÇA, J. P.; QUARESMA, C.; VIEIRA, P. Serious games for upper limb rehabilitation: a systematic review. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, v. 13, n. 1, p. 95–100, jan. 2018. ISSN 1748-3107, 1748-3115. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17483107.2017.1290702>>. Citado na página 26.
- 85 POURNAJAF, S. *et al.* Effect of balance training using virtual reality-based serious games in individuals with total knee replacement: A randomized controlled trial. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, v. 65, n. 6, p. 101609, 2022. ISSN 1877-0657. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877065721001263>>. Citado na página 26.
- 86 SCHEIDEGGER, W. M. *et al.* A novel multimodal cognitive interaction for walker-assisted rehabilitation therapies. In: IEEE. *2019 IEEE 16th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*. [S.l.], 2019. p. 905–910. Citado na página 31.
- 87 SCHEIDEGGER, W. M. *Estratégia de Interação Multimodal Humano-Robô-Ambiente para a Marcha Assistida por Andador Robótico*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Espírito Santo, 2016. Citado na página 31.
- 88 DASZYKOWSKI, M.; WALCZAK, B. Density-based clustering methods. *KDD-96 Proceedings*, v. 96, n. 34, p. 226–231, 1996. Citado na página 32.
- 89 BARBOSA, E.; AL. *et.* Websocket: A bidirectional real-time communication protocol for web applications. *Brazilian Journal of Automation*, v. 26, n. 1, p. 79–92, 2023. Citado na página 35.
- 90 RAMOS, M. A. *A biblioteca rosharp: uma análise crítica*. São Paulo, SP, Brasil, 2023. Citado na página 35.
- 91 CASTRO, J. P. *Recomendações para o uso da biblioteca rosharp*. Florianópolis, SC, Brasil, 2023. Citado na página 35.
- 92 LIMA, M. C. A biblioteca rosharp: uma alternativa à ros.net. *Revista Brasileira de Robótica*, v. 10, n. 1, p. 10–15, 2023. Citado na página 35.
- 93 BANDURA, A.; WATTS, R. E. *Self-efficacy in changing societies*. [S.l.]: Springer, 1996. Citado na página 38.
- 94 TEQUES, P. *et al.* Validation and adaptation of the physical activity enjoyment scale (paces) in fitness group exercisers. *Journal of Sport and Health Science*, Elsevier, v. 9, n. 4, p. 352–357, 2020. Citado na página 38.

- 95 DECI, E.; RYAN, R. *Intrinsic motivation inventory (IMI): Scale description*. [S.l.]: Recuperado de [http://www.selfdeterminationtheory.org/questionnaires/10 ...](http://www.selfdeterminationtheory.org/questionnaires/10...), 2010. Citado na página 38.
- 96 BROOKE, J. *SUS: a quick and dirty usability scale system usability scale view project decision making in general practice view project*. 1996. Citado 3 vezes nas páginas 38, 39 e 47.
- 97 BANGOR, A.; KORTUM, P. T.; MILLER, J. T. An empirical evaluation of the system usability scale. *Intl. Journal of Human-Computer Interaction*, Taylor & Francis, v. 24, n. 6, p. 574–594, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 45.
- 98 MEDICINE, A. C. of S. *et al. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription*. [S.l.]: Lippincott williams & wilkins, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 39 e 47.
- 99 WANG, H. *et al.* A diagnostic model of nerve root compression localization in lower lumbar disc herniation based on random forest algorithm and surface electromyography. *Frontiers in Human Neuroscience*, Frontiers Media SA, v. 17, 2023. Citado na página 39.
- 100 ZHANG, L.; ZHANG, Y. The wilcoxon-mann-whitney test: A review. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*, v. 85, n. 5, p. 1059–1086, 2023. Citado na página 39.
- 101 ROYSTON, J. P. An extension of shapiro-wilk's w test for normality to large samples. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, v. 53, n. 3, p. 233–243, 2004. Citado na página 40.
- 102 MACHADO, F. *et al.* A novel mixed reality assistive system to aid the visually and mobility impaired using a multimodal feedback system. *Displays*, Elsevier, p. 102480, 2023. Citado na página 42.
- 103 AGUIRRE, A. *et al.* Online system for gait parameters estimation using a lrf sensor for assistive devices. *IEEE Sensors Journal*, Ieee, v. 21, n. 13, p. 14272–14280, 2020. Citado na página 46.
- 104 ANDRADE, C. R. S. d. *et al.* Tradução e adaptação transcultural do inventário de motivação intrínseca para aplicação em estudantes de medicina. 2016. Citado na página 47.
- 105 HAILE, L. *et al.* Affective and metabolic responses to self-selected intensity cycle exercise in young men. *Physiology & behavior*, Elsevier, v. 205, p. 9–14, 2019. Citado na página 48.
- 106 PARFITT, G.; ROSE, E. A.; MARKLAND, D. The effect of prescribed and preferred intensity exercise on psychological affect and the influence of baseline measures of affect. *Journal of Health Psychology*, Sage Publications London, Thousand Oaks and New Delhi, v. 5, n. 2, p. 231–240, 2000. Citado na página 48.

# Apêndices

# APÊNDICE A – Questionários Aplicados

## QUESTIONÁRIOS APLICADOS NOS EXPERIMENTOS DA ESTEIRA

Os pesquisadores resguardarão sua identidade durante e após a pesquisa. Assim que você for incluído no estudo, seu nome receberá um número de código, restrito ao mínimo necessário de pesquisadores. Uma vez constituído o banco de dados seu nome é excluído. Todas as análises serão feitas apenas com conhecimento de código, impossibilitando que alguém levante sua identidade ao examinar os dados da pesquisa.

Conforme esses termos, você autoriza a utilização de seus dados nesta pesquisa?

O Sim    O Não

SOBRE VOCÊ, RESPONDA:

Qual é seu nome?

Quantos anos você tem?

Qual é seu peso corporal em quilogramas?

Qual é sua estatura em metros?

Qual é seu número de telefone?

Qual é seu e-mail?

### ESTEIRA E REALIDADE VIRTUAL - EXPERIMENTO 1

SOBRE O QUE VOCÊ SENTIU DURANTE A O EXPERIMENTO 1, RESPONDA:

(A-EF) O quão confiante você se sentiu em realizar o EXPERIMENTO 1?

- 0%**    (nada confiante)
- 10%**
- 20%**
- 30%**
- 40%**
- 50%**    (moderadamente confiante)
- 60%**
- 70%**
- 80%**
- 90%**
- 100%**    (totalmente confiante)

(IN-P) Qual seria sua intenção de repetir futuramente uma sessão de exercícios conforme o EXPERIMENTO 1?

- 0% (sem intenção)
- 10%
- 20%
- 30%
- 40%
- 50% (moderadamente confiante)
- 60%
- 70%
- 80%
- 90%
- 100% (forte intenção)

(PACES) Classifique os sentimentos que você experimentou durante o EXPERIMENTO 1 (o número 1 significa que sua sensação foi a mais positiva possível e o número 7 a mais negativa possível).

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	
Eu achei prazeroso	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Eu não achei prazeroso

(PACES) Classifique os sentimentos que você experimentou durante a sessão de exercício no EXPERIMENTO 1 (o número 1 significa que sua sensação foi a mais NEGATIVA possível e o número 7 a mais POSITIVA possível).

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	
Não foi nenhum pouco divertido	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Foi muito divertido

(PACES) Classifique os sentimentos que você experimentou durante a sessão no EXPERIMENTO 1 (o número 1 significa que sua sensação foi a mais positiva possível e o número 7 a mais negativa possível).

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	
Foi muito agradável	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Não foi nenhum pouco agradável

(PACES) Classifique os sentimentos que você experimentou durante a sessão de exercício no EXPERIMENTO 1 (o número 1 significa que sua sensação foi a mais positiva possível e o número 7 a mais negativa possível).

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	
Foi muito revigorante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Não foi nenhum pouco revigorante

(PACES) Classifique os sentimentos que você experimentou durante a sessão de exercício no EXPERIMENTO 1 (o número 1 significa que sua sensação foi a mais positiva possível e o número 7 a mais negativa possível).

	1	2	3	4	5	6	7	
Foi muito gratificante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Não foi nenhum pouco gratificante

(PACES) Classifique os sentimentos que você experimentou durante a sessão de exercício no EXPERIMENTO 1 (o número 1 significa que sua sensação foi a mais positiva possível e o número 7 a mais negativa possível).

	1	2	3	4	5	6	7	
Foi muito excitante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Não foi nenhum pouco excitante

(PACES) Classifique os sentimentos que você experimentou durante a sessão de exercício no EXPERIMENTO 1 (o número 1 significa que sua sensação foi a mais NEGATIVA possível e o número 7 a mais POSITIVA possível).

	1	2	3	4	5	6	7	
Não foi nenhum pouco estimulante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Foi muito estimulante

(PACES) Classifique os sentimentos que você experimentou durante a sessão de exercício no EXPERIMENTO 1 (o número 1 significa que sua sensação foi a mais positiva possível e o número 7 a mais negativa possível).

	1	2	3	4	5	6	7	
Foi muito revitalizante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Não foi nenhum pouco revitalizante

(IMI\_Interesse/empolgação) Classifique como você se sentiu em relação ao EXPERIMENTO 1 (o número 1 significa que a sentença "não é verdadeira", o número 4 significa que a sentença é "algo verdadeira" o número 7 significa que a sentença é "muito verdadeira"):  
"Gostei muito de fazer essa atividade".

<input type="radio"/>	1	(não é verdadeiro)
<input type="radio"/>	2	
<input type="radio"/>	3	
<input type="radio"/>	4	(algo verdadeiro)
<input type="radio"/>	5	
<input type="radio"/>	6	
<input type="radio"/>	7	(muito verdadeiro)



(IMI\_Interesse/empolgação\_R) Classifique como você se sentiu em relação ao EXPERIMENTO 1 (o número 1 significa que a sentença "não é verdadeira", o número 4 significa que a sentença é "algo verdadeira" o número 7 significa que a sentença é "muito verdadeira"):  
"Essa atividade não prendeu minha atenção".

- 1 (não é verdadeiro)
- 2
- 3
- 4 (algo verdadeiro)
- 5
- 6
- 7 (muito verdadeiro)

(IMI\_Interesse/empolgação) Classifique como você se sentiu em relação ao EXPERIMENTO 1 (o número 1 significa que a sentença "não é verdadeira", o número 4 significa que a sentença é "algo verdadeira" o número 7 significa que a sentença é "muito verdadeira"):  
"Durante a atividade eu percebia o quanto estava gostando dela".

- 1 (não é verdadeiro)
- 2
- 3
- 4 (algo verdadeiro)
- 5
- 6
- 7 (muito verdadeiro)

(IMI\_competência percebida) Classifique como você se sentiu em relação ao EXPERIMENTO 1 (o número 1 significa que a sentença "não é verdadeira", o número 4 significa que a sentença é "algo verdadeira" o número 7 significa que a sentença é "muito verdadeira"):  
"Eu acho que sou muito bom nesta atividade".

- 1 (não é verdadeiro)
- 2
- 3
- 4 (algo verdadeiro)
- 5
- 6
- 7 (muito verdadeiro)

(IMI\_competência percebida) Classifique como você se sentiu em relação ao EXPERIMENTO 1 (o número 1 significa que a sentença "não é verdadeira", o número 4 significa que a sentença é "algo verdadeira" o número 7 significa que a sentença é "muito verdadeira"):  
"Estou satisfeito com o meu desempenho nesta tarefa".

- 1 (não é verdadeiro)
- 2
- 3
- 4 (algo verdadeiro)
- 5
- 6
- 7 (muito verdadeiro)

(IMI\_esforço/importância) Classifique como você se sentiu em relação ao EXPERIMENTO 1 (o número 1 significa que a sentença "não é verdadeira", o número 4 significa que a sentença é "algo verdadeira" o número 7 significa que a sentença é "muito verdadeira"):  
"Eu me esforcei muito nessa atividade".

- 1 (não é verdadeiro)
- 2
- 3
- 4 (algo verdadeiro)
- 5
- 6
- 7 (muito verdadeiro)

(IMI\_pressão/tensão) Classifique como você se sentiu em relação ao EXPERIMENTO 1 (o número 1 significa que a sentença "não é verdadeira", o número 4 significa que a sentença é "algo verdadeira" o número 7 significa que a sentença é "muito verdadeira"):  
"Eu me senti muito tenso ao fazer esta atividade".

- 1 (não é verdadeiro)
- 2
- 3
- 4 (algo verdadeiro)
- 5
- 6
- 7 (muito verdadeiro)

(IMI\_pressão/tensão\_R) Classifique como você se sentiu em relação ao EXPERIMENTO 1 (o número 1 significa que a sentença "não é verdadeira", o número 4 significa que a sentença é "algo verdadeira" o número 7 significa que a sentença é "muito verdadeira"):

"Eu estava muito relaxado em fazer isso".

- 1 (não é verdadeiro)
- 2
- 3
- 4 (algo verdadeiro)
- 5
- 6
- 7 (muito verdadeiro)

(SUS) SOBRE O SISTEMA UTILIZADO NO EXPERIMENTO 1, RESPONDA:

De acordo com sua experiência do jogo, classifique a sentença abaixo (o número 1 significa que você DISCORDA da sentença e o número 5 significa que você CONCORDA PLENAMENTE com a mesma):  
" Eu acho que eu gostaria de usar este sistema com frequência."

- |          | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                     |
|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| Discordo | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Concordo plenamente |

(SUS) De acordo com sua experiência no EXPERIMENTO 1, classifique a sentença abaixo (o número 1 significa que você DISCORDA da sentença e o número 5 significa que você CONCORDA PLENAMENTE com a mesma):

" Eu acho o sistema desnecessariamente complexo."

- |          | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                     |
|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| Discordo | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Concordo plenamente |

(SUS) De acordo com sua experiência no EXPERIMENTO 1, classifique a sentença abaixo (o número 1 significa que você DISCORDA da sentença e o número 5 significa que você CONCORDA PLENAMENTE com a mesma):

" Eu achei o sistema fácil de usar ".

- |          | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                     |
|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| Discordo | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Concordo plenamente |



(SUS) De acordo com sua experiência no EXPERIMENTO 1, classifique a sentença abaixo (o número 1 significa que você DISCORDA da sentença e o número 5 significa que você CONCORDA PLENAMENTE com a mesma):

"Eu me senti muito confiante ao usar o sistema".

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	
Discordo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo plenamente

(SUS) De acordo com sua experiência no EXPERIMENTO 1, classifique a sentença abaixo (o número 1 significa que você DISCORDA da sentença e o número 5 significa que você CONCORDA PLENAMENTE com a mesma):

"Eu precisei aprender várias coisas novas antes de conseguir usar este sistema".

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	
Discordo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo plenamente

Você estava controlando a esteira?

Sim     Não

## ESTEIRA E REALIDADE VIRTUAL - EXPERIMENTO 2

(A-EF) O quão confiante você se sentiu em realizar o EXPERIMENTO 2?

- 0%** (nada confiante)
- 10%**
- 20%**
- 30%**
- 40%**
- 50%** (moderadamente confiante)
- 60%**
- 70%**
- 80%**
- 90%**
- 100%** (totalmente confiante)

(IN-P) Qual seria sua intenção de repetir futuramente uma sessão de exercícios conforme o EXPERIMENTO 2?

- 0%** (sem intenção)
- 10%**
- 20%**
- 30%**
- 40%**
- 50%** (moderadamente confiante)
- 60%**
- 70%**
- 80%**
- 90%**
- 100%** (forte intenção)

(PACES) Classifique os sentimentos que você experimentou durante o EXPERIMENTO 2 (o número 1 significa que sua sensação foi a mais positiva possível e o número 7 a mais negativa possível).

- |                    | <b>1</b>              | <b>2</b>              | <b>3</b>              | <b>4</b>              | <b>5</b>              | <b>6</b>              | <b>7</b>              |                        |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Eu achei prazeroso | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Eu não achei prazeroso |

(PACES) Classifique os sentimentos que você experimentou durante a sessão de exercício no EXPERIMENTO 2 (o número 1 significa que sua sensação foi a mais NEGATIVA possível e o número 7 a mais POSITIVA possível).

- |                                | <b>1</b>              | <b>2</b>              | <b>3</b>              | <b>4</b>              | <b>5</b>              | <b>6</b>              | <b>7</b>              |                     |
|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| Não foi nenhum pouco divertido | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Foi muito divertido |

(PACES) Classifique os sentimentos que você experimentou durante a sessão no EXPERIMENTO 2 (o número 1 significa que sua sensação foi a mais positiva possível e o número 7 a mais negativa possível).

- |                     | <b>1</b>              | <b>2</b>              | <b>3</b>              | <b>4</b>              | <b>5</b>              | <b>6</b>              | <b>7</b>              |                                |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------|
| Foi muito agradável | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Não foi nenhum pouco agradável |

(PACES) Classifique os sentimentos que você experimentou durante a sessão de exercício no EXPERIMENTO 2 (o número 1 significa que sua sensação foi a mais positiva possível e o número 7 a mais negativa possível).

- |                       | <b>1</b>              | <b>2</b>              | <b>3</b>              | <b>4</b>              | <b>5</b>              | <b>6</b>              | <b>7</b>              |                                  |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Foi muito revigorante | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Não foi nenhum pouco revigorante |

(PACES) Classifique os sentimentos que você experimentou durante a sessão de exercício no EXPERIMENTO 2 (o número 1 significa que sua sensação foi a mais positiva possível e o número 7 a mais negativa possível).

	1	2	3	4	5	6	7	
Foi muito gratificante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Não foi nenhum pouco gratificante

(PACES) Classifique os sentimentos que você experimentou durante a sessão de exercício no EXPERIMENTO 2 (o número 1 significa que sua sensação foi a mais positiva possível e o número 7 a mais negativa possível).

	1	2	3	4	5	6	7	
Foi muito excitante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Não foi nenhum pouco excitante

(PACES) Classifique os sentimentos que você experimentou durante a sessão de exercício no EXPERIMENTO 2 (o número 1 significa que sua sensação foi a mais NEGATIVA possível e o número 7 a mais POSITIVA possível).

	1	2	3	4	5	6	7	
Não foi nenhum pouco estimulante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Foi muito estimulante

(PACES) Classifique os sentimentos que você experimentou durante a sessão de exercício no EXPERIMENTO 2 (o número 1 significa que sua sensação foi a mais positiva possível e o número 7 a mais negativa possível).

	1	2	3	4	5	6	7	
Foi muito revitalizante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Não foi nenhum pouco revitalizante

(IMI\_Interesse/empolgação) Classifique como você se sentiu em relação ao EXPERIMENTO 2 (o número 1 significa que a sentença "não é verdadeira", o número 4 significa que a sentença é "algo verdadeira" o número 7 significa que a sentença é "muito verdadeira"):  
"Gostei muito de fazer essa atividade".

<input type="radio"/>	1	(não é verdadeiro)
<input type="radio"/>	2	
<input type="radio"/>	3	
<input type="radio"/>	4	(algo verdadeiro)
<input type="radio"/>	5	
<input type="radio"/>	6	
<input type="radio"/>	7	(muito verdadeiro)

(IMI\_Interesse/empolgação\_R) Classifique como você se sentiu em relação ao EXPERIMENTO 2 (o número 1 significa que a sentença "não é verdadeira", o número 4 significa que a sentença é "algo verdadeira" o número 7 significa que a sentença é "muito verdadeira"):  
"Essa atividade não prendeu minha atenção".

- 1 (não é verdadeiro)
- 2
- 3
- 4 (algo verdadeiro)
- 5
- 6
- 7 (muito verdadeiro)

(IMI\_Interesse/empolgação) Classifique como você se sentiu em relação ao EXPERIMENTO 2 (o número 1 significa que a sentença "não é verdadeira", o número 4 significa que a sentença é "algo verdadeira" o número 7 significa que a sentença é "muito verdadeira"):  
"Durante a atividade eu percebia o quanto estava gostando dela".

- 1 (não é verdadeiro)
- 2
- 3
- 4 (algo verdadeiro)
- 5
- 6
- 7 (muito verdadeiro)

(IMI\_competência percebida) Classifique como você se sentiu em relação ao EXPERIMENTO 2 (o número 1 significa que a sentença "não é verdadeira", o número 4 significa que a sentença é "algo verdadeira" o número 7 significa que a sentença é "muito verdadeira"):  
"Eu acho que sou muito bom nesta atividade".

- 1 (não é verdadeiro)
- 2
- 3
- 4 (algo verdadeiro)
- 5
- 6
- 7 (muito verdadeiro)



(IMI\_competência percebida) Classifique como você se sentiu em relação ao EXPERIMENTO 2 (o número 1 significa que a sentença "não é verdadeira", o número 4 significa que a sentença é "algo verdadeira" o número 7 significa que a sentença é "muito verdadeira"):

"Estou satisfeito com o meu desempenho nesta tarefa".

- 1 (não é verdadeiro)
- 2
- 3
- 4 (algo verdadeiro)
- 5
- 6
- 7 (muito verdadeiro)

(IMI\_esforço/importância) Classifique como você se sentiu em relação ao EXPERIMENTO 2 (o número 1 significa que a sentença "não é verdadeira", o número 4 significa que a sentença é "algo verdadeira" o número 7 significa que a sentença é "muito verdadeira"):

"Eu me esforcei muito nessa atividade".

- 1 (não é verdadeiro)
- 2
- 3
- 4 (algo verdadeiro)
- 5
- 6
- 7 (muito verdadeiro)

(IMI\_pressão/tensão) Classifique como você se sentiu em relação ao EXPERIMENTO 2 (o número 1 significa que a sentença "não é verdadeira", o número 4 significa que a sentença é "algo verdadeira" o número 7 significa que a sentença é "muito verdadeira"):

"Eu me senti muito tenso ao fazer esta atividade".

- 1 (não é verdadeiro)
- 2
- 3
- 4 (algo verdadeiro)
- 5
- 6
- 7 (muito verdadeiro)

(IMI\_pressão/tensão\_R) Classifique como você se sentiu em relação ao EXPERIMENTO 2 (o número 1 significa que a sentença "não é verdadeira", o número 4 significa que a sentença é "algo verdadeira" o número 7 significa que a sentença é "muito verdadeira"):

"Eu estava muito relaxado em fazer isso".

- 1 (não é verdadeiro)
- 2
- 3
- 4 (algo verdadeiro)
- 5
- 6
- 7 (muito verdadeiro)

(SUS) SOBRE O SISTEMA UTILIZADO NO EXPERIMENTO 2, RESPONDA:

De acordo com sua experiência do jogo, classifique a sentença abaixo (o número 1 significa que você DISCORDA da sentença e o número 5 significa que você CONCORDA PLENAMENTE com a mesma):  
"Eu acho que eu gostaria de usar este sistema com frequência."

- |          | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                     |
|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| Discordo | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Concordo plenamente |

(SUS) De acordo com sua experiência no EXPERIMENTO 2, classifique a sentença abaixo (o número 1 significa que você DISCORDA da sentença e o número 5 significa que você CONCORDA PLENAMENTE com a mesma):

"Eu acho o sistema desnecessariamente complexo."

- |          | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                     |
|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| Discordo | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Concordo plenamente |

(SUS) De acordo com sua experiência no EXPERIMENTO 2, classifique a sentença abaixo (o número 1 significa que você DISCORDA da sentença e o número 5 significa que você CONCORDA PLENAMENTE com a mesma):

"Eu achei o sistema fácil de usar".

- |          | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                     |
|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| Discordo | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Concordo plenamente |



(SUS) De acordo com sua experiência no EXPERIMENTO 2, classifique a sentença abaixo (o número 1 significa que você DISCORDA da sentença e o número 5 significa que você CONCORDA PLENAMENTE com a mesma):

"Eu me senti muito confiante ao usar o sistema".

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	
Discordo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo plenamente

(SUS) De acordo com sua experiência no EXPERIMENTO 2, classifique a sentença abaixo (o número 1 significa que você DISCORDA da sentença e o número 5 significa que você CONCORDA PLENAMENTE com a mesma):

"Eu precisei aprender várias coisas novas antes de conseguir usar este sistema".

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	
Discordo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo plenamente

Você estava controlando a esteira?

Sim     Não

Qual experimento você achou mais difícil?

Experimento 1     Experimento 2