

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NEUROCIÊNCIAS – DOUTORADO

Joana Andrade Ramalho Pinto

**O EFEITO DO TREINAMENTO COGNITIVO-MOTOR NA
REALIDADE VIRTUAL IMERSIVA PARA PESSOAS IDOSAS:
parâmetros comportamentais e eletrofisiológicos**

Belo Horizonte

2024

Joana Andrade Ramalho Pinto

**O EFEITO DO TREINAMENTO COGNITIVO-MOTOR NA
REALIDADE VIRTUAL IMERSIVA PARA PESSOAS IDOSAS:
parâmetros comportamentais e eletrofisiológicos**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Neurociências, da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora.

Área de concentração: Neurociências Clínicas.
Linha de Pesquisa: Neuropsicologia e Psicologia Cognitiva.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Menezes Lage

Coorientadores: Prof. Dr. Erickson Rangel do Nascimento e Prof. Dr. Pedro Gamito

Belo Horizonte

2024

043

Pinto, Joana Andrade Ramalho.

O efeito do treinamento cognitivo-motor na realidade virtual imersiva para pessoas idosas: parâmetros comportamentais e eletrofisiológicos [manuscrito] / Joana Andrade Ramalho Pinto. – 2024.

165 f. : il. ; 29,5 cm.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Menezes Lage. Coorientadores: Prof. Dr. Erickson Rangel do Nascimento e Prof. Dr. Pedro Gamito.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Neurociências.

1. Neurociências. 2. Envelhecimento. 3. Disfunção Cognitiva. 4. Realidade Virtual. 5. Navegação Espacial. I. Lage, Guilherme Menezes. II. Nascimento, Erickson Rangel do. III. Gamito, Pedro. IV. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Biológicas. V. Título.

CDU: 612.8



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ICB - COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NEUROCIÊNCIAS - SECRETARIA

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO/TESE

JOANA ANDRADE RAMALHO PINTO

Realizou-se, no dia 29 de maio de 2024, às 09:00 horas, Defesa híbrida na sala 222, bloco J2_ ICB, da Universidade Federal de Minas Gerais, a 114ª defesa de tese, intitulada *O Efeito do Treinamento Cognitivo-Motor na Realidade Virtual Imersiva para Pessoas Idosas: Parâmetros Comportamentais e Eletrofisiológicos*, apresentada por JOANA ANDRADE RAMALHO PINTO, número de registro 2019709877, graduada no curso de ARQUITETURA E URBANISMO, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em NEUROCIÊNCIAS, à seguinte Comissão Examinadora: Prof. Guilherme Menezes Lage - Orientador (UFMG), Profa. Angela Maria Ribeiro (UFMG), Profa. Paula Luciana Scalzo (UFMG), Profa. Lidiane Aparecida Fernandes (UFJF-GV), Profa. Bárbara de Paula Ferreira (EEFFTO/UFMG).

A Comissão considerou a tese:

Aprovada

Reprovada

Finalizados os trabalhos, lavrei a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada por mim e pelos membros da Comissão.

Belo Horizonte, 29 de maio de 2024.

Carlos Magno Machado Dias - Secretário

Assinatura dos membros da banca examinadora:

Prof. Guilherme Menezes Lage (Doutor)

Profa. Angela Maria Ribeiro (Doutora)

Profa. Paula Luciana Scalzo (Doutora)

Profa. Lidiane Aparecida Fernandes (Doutora)

Profa. Bárbara de Paula Ferreira (Doutora)



Documento assinado eletronicamente por **Paula Luciana Scalzo, Professora do Magistério Superior**, em 29/05/2024, às 13:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Bárbara de Paula Ferreira, Usuária Externa**, em 29/05/2024, às 15:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Lidiane Aparecida Fernandes, Usuário Externo**, em 03/06/2024, às 15:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Guilherme Menezes Lage, Professor do Magistério Superior**, em 07/06/2024, às 14:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Angela Maria Ribeiro, Professora do Magistério Superior**, em 09/06/2024, às 20:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3252071** e o código CRC **36C1C27A**.

Aos amores da minha vida, Maria Ignez e Francisco Juarez.

AGRADECIMENTOS

Esta tese é o resultado de uma jornada de muita coragem, persistência e superação pessoal. Um percurso acadêmico instigante, cheio de desafios e com muita troca de conhecimento e experiências. Agradeço a Deus, à minha família e aos amigos por me acompanharem durante esse caminho tornando-o mais leve e gratificante.

Gostaria de agradecer a todas as pessoas e instituições que se envolveram e contribuíram de alguma forma para a realização deste projeto multidisciplinar.

Agradeço imensamente ao meu orientador, Prof. Dr. Guilherme Menezes Lage, pela generosidade, paciência, confiança e disponibilidade em todo o processo de orientação. Acima de tudo, por acreditar e viabilizar este projeto com todos os seus desafios.

Aos estimados coorientadores, Prof. Dr. Erickson Nascimento e Prof. Dr. Pedro Gamito, por todas as colaborações durante esta pesquisa, por compartilharem seus conhecimentos e me receberem em seus laboratórios.

Aos membros da banca, Profa. Dra. Angela Maria Ribeiro, Profa. Dra. Bárbara Ferreira, Profa. Dra. Lidiane Fernandes, Profa. Dra. Paula Scalzo e aos suplentes Prof. Dr. Leonardo Cruz, Profa. Dra. Nathálya Nogueira, Prof. Dr. Tércio Apolinário-Souza, Prof. Dr. Theo Mota, a honra por aceitarem o convite e fazerem desta defesa um momento enriquecedor.

Aos voluntários, professores e amigos do Programa de Envelhecimento Ativo da EEEFTO, por se envolverem e contribuírem para este projeto, além da lição de vida que me proporcionaram.

Aos colegas e amigos do grupo de pesquisa NNeuroM, pelo acolhimento, pelas trocas de conhecimento e experiências, não só no projeto, mas no âmbito pessoal. Agradeço especialmente às queridas Amanda, Bárbara, Beatriz, Natália, Sara, Viviane, pela valiosa colaboração nas coletas e na pesquisa como um todo. Sem a ajuda e disponibilidade de vocês este projeto não se tornaria “real”.

Agradeço aos membros do VerLab (DCC/UFMG), principalmente ao Prof. Dr. Erickson Nascimento, aos pesquisadores Victor Moura e Maurício Ferrari, pelo acolhimento e valiosa contribuição em todas as etapas deste projeto e principalmente pelo desenvolvimento dos ambientes virtuais. Além da solicitude e paciência no suporte tecnológico.

Agradeço ao Prof. Dr. Pedro Gamito e ao Prof. Dr. Jorge Oliveira, por me receberem no Hei-Lab, laboratório da Universidade Lusófona, em Lisboa, e por contribuírem enormemente com o projeto e minha formação, ao disponibilizarem a plataforma de treinamento em realidade virtual imersiva - *Systemic Lisbon Battery* - para realização da pesquisa. Agradeço ainda à Shivani Mansuklal, Fábio Dias, Filipe Pinto e demais colegas, por me acolherem como parte da equipe e pela disponibilidade em ajudar no projeto.

Aos professores, colegas e amigos do PPG em Neurociências, em especial ao Prof. Renato Bortoloti, meu estimado orientador no mestrado, à Profa. Paula Scalzo e ao Prof. Dr. Theo Mota, pelas oportunidades que tive na especialização. E a Nilda da secretaria pelo apoio burocrático.

Gostaria ainda de agradecer a duas pessoas que foram fundamentais para a minha formação em Neurociências: a Profa. Angela Maria Ribeiro, pioneira na criação do PPG em Neurociências, foi a primeira pessoa a me receber no programa, em janeiro de 2015. Ela sempre acreditou e praticou a interdisciplinaridade como parte intrínseca da formação acadêmica e profissional e a Profa. Leonor Guerra, que sempre acreditou no meu potencial, mesmo não sendo da área da saúde. Destaco a generosidade, competência e inspiração de ambas que me motivaram a seguir, a buscar o meu melhor, enfrentando os desafios de uma nova área de conhecimento.

Agradeço aos preciosos amigos de inúmeros projetos (e vinhos), Angela Ribeiro, Camila Mantovani, Cristiano Simões, Marcelo Domingues e Mariana Jacobsen, pela parceria, bom humor e ajuda em simplificar tudo aquilo que eu complico.

Agradeço, essencialmente, aos meus pais, Maria Ignez Andrade e Francisco Juarez Ramalho Pinto, pelo amor, inspiração e cumplicidade em todas as minhas escolhas na vida. À querida família, Cecília, Júlia, Lucas, Patiu, Paulo, Renata, aos primos e amigos, Bruno, Carla, Cássia, Felipe, Fernando, Patrícia, à tia Lúcia e Cláudia, Morgana, Nilda, Tatiana pelo apoio e torcida.

Aos queridos amigos de uma vida, que continuemos a envelhecer juntos e ativos.

BOLSA E FINANCIAMENTO

Tese financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) com bolsa de Doutorado em Neurociências da UFMG - Código de Financiamento 001.

A pesquisa foi desenvolvida no Núcleo de Neurociências do Movimento (NNeuroM), que faz parte do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia - Neurotecnologia Responsável (INCT-NeurotecR) e financiado com recursos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) - (Processos No. 406935/2022-0).

A pesquisa teve apoio da Pós-graduação em Neurociências para aquisição de material e apoio técnico do Laboratório de Neurociências Molecular e Comportamental (LANEC). Como também, apoio financeiro para visita técnica no exterior através do Programa de Apoio a Doutorandos (PADO), da UFMG, por meio da Chamada nº 01/2022.

*O que é real? Como você define o 'real'?
Se você está falando sobre o que você pode
sentir, o que você pode cheirar, o que você
pode saborear e ver, o real é simplesmente
sinais elétricos interpretados pelo seu cérebro.*

Morpheus – personagem do Filme Matrix, 1999

RESUMO

À medida que envelhecemos, nossa capacidade de integrar informações sensoriais diminui gradativamente, levando a um declínio nas funções cognitivas e motoras. Este declínio implica na perda da independência funcional e em falhas para gerenciar as atividades mais básicas do cotidiano. As aplicações de realidade virtual imersiva (RVI) baseadas em atividades instrumentais da vida diária (AIVD) podem, potencialmente, prevenir o declínio cognitivo e motor em pessoas idosas ativas, pois permite uma integração sensório-motora mais naturalista. Essa abordagem integrativa facilita um circuito fechado adaptativo, no qual o cérebro ajusta sua representação sensório-motora e espacial ao ambiente virtual modulado pela carga perceptual, motora e cognitiva, ampliando o desempenho da tarefa pelo usuário. No entanto, a eficiência desta abordagem ainda é motivo de debate. O presente estudo teve como objetivo investigar o efeito do treinamento cognitivo-motor em uma RVI para pessoas idosas ativas por meio de parâmetros comportamentais e eletrofisiológicos. Participaram do estudo 27 voluntários, de ambos os sexos, com idade média de $67,52 \pm 6,70$ anos, alocados aleatoriamente no grupo de treinamento cognitivo-motor através da RVI (GT, $n = 15$) e no grupo controle (GC, $n = 12$). A intervenção foi realizada ao longo de cinco semanas, durante as quais cada indivíduo do GT realizou dez sessões de 30 minutos, duas vezes por semana na plataforma AIVD *Systemic Lisbon Battery* (SLB). O GC assistiu dez vídeos com temáticas diversas sobre envelhecimento ativo durante o mesmo período e com mesma frequência. Os grupos foram avaliados e comparados no pré e pós-intervenção quanto à memória de trabalho visuoespacial utilizando o Teste de Blocos de Corsi (TBC), destreza manual pelo *Grooved Pegboard Test* (GPT) e aprendizagem e memória espacial no RVI por meio do teste virtual análogo ao Labirinto Morris (LMv). Os registros eletroencefalográficos (EEG) foram utilizados para avaliar o esforço cognitivo (índice de engajamento e índice de carga de trabalho mental) durante os testes. Após concluir o treinamento, o GT foi avaliado com base em sua experiência e exposição ao RVI. As análises inferenciais indicaram uma melhora significativa do GT para memória de trabalho visuoespacial e para aprendizagem e memória espacial na RVI. Não houve diferenças significativas para destreza manual e esforço cognitivo entre os grupos. Foi verificada também a aceitabilidade dos instrumentos e a adesão total por parte dos participantes do GT ao treinamento imersivo. Em conjunto, os achados obtidos sugerem que o treinamento cognitivo-motor em RVI pode melhorar as habilidades visuoespaciais ao expor pessoas idosas ativas a um ambiente virtual enriquecido projetado para atividades instrumentais da vida diária.

Palavras-chave: realidade virtual imersiva, treinamento cognitivo-motor, envelhecimento ativo, funções visuoespaciais, esforço cognitivo.

ABSTRACT

As we age, our ability to integrate sensory information gradually decreases, leading to a decline in cognitive and motor functions. This decline implies the loss of functional independence and failure to manage the most basic daily activities. Immersive virtual reality (IVR) applications based on instrumental activities of daily living (IADL) can potentially prevent cognitive and motor decline in active older people, as it allows for a more naturalistic sensorimotor integration. This integrative approach facilitates an adaptive closed loop, in which the brain adjusts its sensorimotor and spatial representation to the virtual environment modulated by perceptual, motor and cognitive load, magnifying the effect on task performance. However, the efficiency of this method is still a matter of debate. The study aimed to investigate the effect of cognitive-motor training in an immersive virtual environment for active older adults using behavioral and electrophysiological measures. Twenty-seven volunteers of both sexes participated in the study, with a mean age of 67.52 ± 6.70 years, randomly allocated to the cognitive-motor training group in the RVI (TG; $n = 15$) and the control group (CG; $n = 12$). The intervention lasted five weeks, during which the TG underwent ten sessions of 30 minutes each on the IADL platform, Systemic Lisbon Battery (SLB). In the same period and frequency, the CG watched ten videos with different themes about active aging. The groups were evaluated and compared in the pre and post-intervention test regarding visuospatial working memory using the Corsi Blocks Test (CBT), manual dexterity using the Grooved Pegboard Test (GPT), and spatial learning and memory in the RVI using the virtual test analogous to the Morris Maze (LMv). Electroencephalographic recordings were used to assess cognitive effort (engagement index and mental workload index) during the tests. After completing the training, the TG was evaluated on their experience and exposure to IVR. Inferential analyses indicated significant improvement in visuospatial working memory, and spatial learning in IVR. There were no significant differences between groups in manual dexterity and cognitive effort evaluations. The acceptability of the instruments and the full adherence of the TG participants to the immersive training were also confirmed. The findings suggest that cognitive-motor training in RVI can improve visuospatial skills by exposing active older adults to an enriched virtual environment, designed for instrumental activities of daily living.

Keywords: *immersive virtual reality, cognitive-motor training, active aging, visuospatial function, cognitive load.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Teste dos Blocos de Corsi (TBC).....	47
Figura 2: Desenho adaptado do Labirinto Aquático de Morris (LAM) para ratos.....	48
Figura 3: Vista do limite da circunferência da praça.....	49
Figura 4: Fase de aquisição: pistas distais no LMv.....	50
Figura 5: Fase <i>controle</i> usando pistas proximais no LAMv.....	51
Figura 6: <i>Grooved Pegboard Test</i> (GPT).....	52
Figura 7: Sistema Internacional 10-20.....	53
Figura 8: EEG B Alert X-10.....	53
Figura 9: Dispositivos de RVI.....	55
Figura 10: Cenários e atividades diárias na plataforma SLB.....	56
Figura 11: Desenho experimental.....	59
Figura 12: Procedimento pré e pós-teste.....	60
Figura 13: Gráficos representando as fases da tarefa no LMv.....	62
Figura 14: Interface de configuração do treinamento no SLB.....	63
Figura 15: Interação com o ambiente SLB.....	64
Figura 16: Movimento das mãos e tronco no ambiente SLB.....	65
Figura 17: Fluxograma do Protocolo do Estudo.....	69
Figura 18: Escore Total da Sequência Direta e Inversa no TBC.....	71
Figura 19: Span da Sequências Direta e Inversa no TBC.....	72
Figura 20: Acertos da Sequências Direta e Inversa no TBC.....	73
Figura 21: Índice de Engajamento Sequências Direta e Inversa no TBC.....	74
Figura 22: Índice de <i>Workload</i> Sequências Direta e Inversa no TBC.....	75
Figura 23: Pré-teste e Pós-teste na Fase de Aquisição do LMv.....	76
Figura 24: Pré-teste e Pós-teste na Fase de Transferência do LMv.....	77
Figura 25: Pré-teste e Pós-teste na Fase Controle do LMv.....	78
Figura 26: Índice de Engajamento Pré-Teste do LMv.....	79
Figura 27: EEG-Índice de Engajamento Pós-Teste do LMv.....	80
Figura 28: EEG-Índice de <i>Workload</i> Pré-Teste do LMv.....	81
Figura 29: EEG-Índice de <i>Workload</i> Pós-Teste do LMv.....	82
Figura 30: Colocar Pinos com a Mão Dominante e a Mão Não-Dominante no GPT.....	83
Figura 31: Retirar Pinos com a Mão Dominante e Mão Não-Dominante no GPT.....	84
Figura 32: Índice de Engajamento Mão Dominante e Mão Não-Dominante GPT.....	86
Figura 33: Índice de <i>Workload</i> Mão Dominante e Mão Não-Dominante no GPT.....	87
Figura 34: Valor das médias por item do Questionário da Experiência do Usuário.....	88
Figura 35: Média e variância das Escalas do QEU para o GT.....	89
Figura 36: Análise descritiva do EEG - índice de engajamento na tarefa do GPT.....	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Roteiro das 10 sessões de treinamento no SLB.....	65
Tabela 2: Caracterização da Amostra, variáveis sociodemográficas, clínicas e tecnológicas dos grupos.....	70
Tabela 3: Análise descritiva e inferencial Pré-teste e Pós-teste entre os grupos GT e GC.....	73
Tabela 4: Média e Variância das escalas do QEU.....	89

LISTA DE ABREVIATURAS

SIGLA – NOME COMPLETO

AIVD – Atividades instrumentais da vida diária

CAAE – Certificado de Apresentação de Apreciação Ética

CAVE – *Cave automatic virtual environment*

COEP – Conselho de pesquisa

CPF – Córtex Pré-frontal

DCC – Departamento de Ciência da Computação

EEFFTO – Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional

EEG – Eletroencefalografia

GDS – *Geriatric Depression Scale (Escala de Depressão Geriátrica)*

GC – Grupo controle

GPT – *Grooved Pegboard Test*

GT – Grupo de treinamento

HMD – *Head Mounted Display*

LAM – Labirinto Aquático de Morris

LMv – Labirinto de Morris virtual

MEEM – Mini-exame do Estado Mental

MT – Memória de trabalho

MTV – Memória de trabalho visuoespacial

QBMI – Questionário Baecke Modificado para Idosos

QEU – Questionário da Experiência do Usuário

RV – Realidade Virtual

RVI – Realidade Virtual Imersiva

SLB – *Systemic Lisbon Battery*

SNC – Sistema Nervoso Central

TBC – Teste dos Blocos de Corsi

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

ULHT – Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologia

UX – *User Experience* (Experiência do Usuário)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1 Aspectos neurobiológicos do processo de envelhecimento	21
2.2 Declínio de funções cognitivas e motoras	22
2.2.1 Habilidades visuoespaciais	23
2.2.1.1 Memória de trabalho visuoespacial	23
2.2.1.2 Navegação espacial	25
2.2.2 Destreza manual	27
2.3 Plasticidade neural	28
2.3.1 Treinamento cognitivo	29
2.3.2 Treinamento motor	32
2.4 Potencialidades da realidade virtual imersiva	33
2.4.1 Imersão e a sensação de presença	33
2.4.2 Sensação de <i>embodiment</i>	35
2.4.3 Risco de <i>cybersickness</i>	35
2.5 Desafios e viabilidade da realidade virtual imersiva para pessoas idosas	36
2.5.1 Viabilidade para treinamento	37
2.6 Avaliação do esforço cognitivo em pessoas idosas	39
3 OBJETIVOS E HIPÓTESES	42
3.1 Objetivo geral	42
3.2 Objetivos específicos	42
3.3 Hipóteses	42
4 MÉTODO	44
4.1 Amostra	44
4.2 Cuidados éticos	45
4.3 Instrumentos	45
4.4 Sistema de treinamento cognitivo e motor na realidade virtual imersiva	55
4.5 Instrumentos para a avaliação da experiência do usuário	57
4.6 Delineamento	58
4.7 Procedimento	59
4.8 Variáveis	66
4.7 Análise de dados	68

5 RESULTADOS	69
5.1 Análise descritiva da caracterização da amostra final	69
5.2 Avaliação de memória de trabalho visuoespacial	70
5.3 Desempenho na avaliação de aprendizagem e memória espacial na RVI	76
5.4 Desempenho motor de destreza manual	83
5.5 Resultados da experiência do usuário após exposição ao treinamento na RVI	87
6 DISCUSSÃO	93
6.1 Efeito do treinamento na tarefa de MTV e esforço cognitivo	94
6.2 Efeito do treinamento na aprendizagem e memória espacial e esforço cognitivo	96
6.3 Efeito do treinamento na tarefa de destreza manual e esforço cognitivo	97
6.4 Experiência de pessoas idosas durante a exposição ao treinamento em RVI	100
6.5 Limitações e direções futuras	101
7 CONCLUSÃO	103
REFERÊNCIAS	104
APÊNDICE 1 – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	118
APÊNDICE 2 – Questionário sócio demográfico, saúde e uso de tecnologia	120
APÊNDICE 3 – Instruções do Teste virtual análogo ao Labirinto de Morris	122
APÊNDICE 4 – <i>Visuospatial Functions of Adulthood and Elderly Subjects in Immersive Virtual Reality: Neuropsychological and Electrophysiological Approach</i>	123
APÊNDICE 5 – Entrevista semiestruturada sobre o treinamento em RVI	144
APÊNDICE 6 – Impressões sobre a experiência do treinamento em RVI	145
ANEXO 1 – Parecer do COEP	155
ANEXO 2 – Mini Exame do Estado Mental	158
ANEXO 3 – Escala de Depressão Geriátrica	160
ANEXO 4 – Questionário Baecke Modificado para Idosos	161
ANEXO 5 – Teste dos Blocos de Corsi	163
ANEXO 6 – Questionário da Experiência do Usuário	164

1 INTRODUÇÃO

O envelhecimento populacional é hoje um tema de interesse mundial, uma vez que países registram um crescimento tanto no tamanho, como na proporção de pessoas idosas¹ na população. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS) até 2030, 1 em cada 6 pessoas no mundo terá 60 anos ou mais (OMS, 2022). No Brasil, a população com 65 anos de idade ou mais aumentou 57% entre 2010 e 2022, compondo, atualmente, 11% da população brasileira, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, Censo 2022). Nesse mesmo período, a população brasileira cresceu 6,5% e envelheceu. Este envelhecimento é percebido pelo aumento na mediana de idade de 29 anos para 35 anos (IBGE, Censo 2022). Este cenário tem um impacto direto em políticas públicas e traz a necessidade de um maior entendimento do processo de envelhecimento através de pesquisas para investigar diferentes métodos, estratégias e recursos tecnológicos para garantir o sucesso de intervenções para manutenção e aprimoramento de funções cognitivas e motoras.

O processo de envelhecimento fisiológico humano é marcado pela diminuição da integração sensorial, associada ao declínio de funções cognitivas e motoras, principalmente da memória, atenção, capacidade visuoespacial, navegação espacial, planejamento e sequenciamento motor (Hedden & Gabrieli, 2004; Lester et al., 2017; Nyberg et al., 2012). As perdas nas funções cognitivas e motoras não ocorrem da mesma maneira em todos os indivíduos idosos. As alterações observadas podem seguir um curso natural de declínio neurofisiológico ou apresentar características patológicas, no qual as alterações podem acontecer numa velocidade maior e com acometimento funcional mais acentuado, tornando-se fatores de risco para o desenvolvimento de doenças neurodegenerativas (Cai et al., 2014; Lester et al., 2017).

O comprometimento das habilidades cognitivas e motoras no envelhecimento pode impactar na perda da independência funcional dos indivíduos e em falhas para gerenciar as atividades mais básicas do cotidiano, como fazer um café, dirigir, fazer compras e aprender e executar novas tarefas, por exemplo. Logo, a deterioração progressiva, que ocorre nessas habilidades, compromete a segurança, autonomia e qualidade de vida das pessoas idosas (Cai et al., 2014; Nguyen et al., 2019). Para reduzir o impacto negativo do envelhecimento nas funções cognitivas e motoras, a adoção de um estilo de vida mais saudável e ativo é

¹ A expressão “pessoa(s) idosa(s)” é usada nesta tese em substituição aos termos idoso(s) e idosa(s) em conformidade com a Lei no 14.423, de 22 julho de 2022, que altera as expressões “idoso” e “idosos” pelas expressões “pessoa idosa” e “pessoas idosas”, respectivamente.

recomendado por geriatras e gerontologistas. Pesquisas sobre o envelhecimento sinalizam que a adoção de tais comportamentos poderão impactar positivamente nas atividades instrumentais da vida diária (AIVD), (Buele et al., 2023). Segundo a OMS, o ‘envelhecimento saudável’ ou ‘envelhecimento ativo’ é definido como “o processo de desenvolvimento e manutenção da capacidade funcional que permite o bem-estar na velhice” (OMS, 2020). Sabe-se que praticar ativamente exercícios físicos ou intelectuais, ou receber deliberadamente estímulos multissensoriais, pode prevenir o declínio funcional e preservar as funções cognitivas (Cai et al., 2014).

Na última década, houve um aumento de pesquisas destinadas a melhorar as habilidades funcionais das pessoas idosas, tendo como base o princípio da neuroplasticidade por meio do treinamento cognitivo e motor (Anguera et al., 2022). Os pressupostos que embasam os estudos acerca da plasticidade neural mostram que o cérebro passa continuamente por reorganizações estruturais e mudanças funcionais em resposta a estímulos ou treinamentos, impactando diretamente na aprendizagem e memória (Cai et al., 2014; Nguyen et al., 2019). Algumas abordagens para treinamentos cognitivos e motores objetivam potencializar a aprendizagem pela execução de tarefas em sistemas computadorizados, que exploram funções específicas relacionadas à AIVD para pessoas idosas, como atenção, memória, processamento visuoespacial e controle motor (Anguera et al., 2013; Buele et al., 2023; Chiu et al., 2017; Coyle et al., 2015; Gamito et al., 2020; Nguyen et al., 2019).

Apesar de inconsistências e limitações nos protocolos e nos resultados encontrados na literatura (Lampit et al., 2014; Simons et al., 2016), há alguns exemplos, por outro lado, a literatura mostra que as intervenções computadorizadas melhoraram as funções cognitivas e motoras e trouxeram benefícios a longo prazo (Anguera et al., 2021), entre elas, os recentes treinamentos cognitivos com base na realidade virtual (RV) (Buele et al., 2023; Gamito et al., 2020). Os sistemas RV podem ser categorizados como não-imersivos, com ambientes 3D em desktop ou tablet com interatividade limitada, até altamente imersivos, através do uso de óculos, o *head-mounted display* (HMD) (Bauer & Andringa, 2020). Neste estudo, iremos focar nas potencialidades dos sistemas baseados em HMD para treinamentos cognitivos-motores e iremos nos referir a eles como realidade virtual imersiva (RVI).

O HMD oferece uma experiência mais imersiva em comparação com as telas de computador e resulta em maiores níveis de “presença” por envolver todo campo visual, *embodiment* (“corporeidade” – tradução livre) e liberdade de movimento, que modulam o comportamento e afetam o desempenho no aprendizado cognitivo e motor nos treinamento

(Bauer & Andringa, 2020). Assim, os treinamentos na RVI podem ser destinados tanto a intervenções nas habilidades cognitivas comprometidas, quanto na reabilitação de habilidades motoras, podendo ser utilizados ainda, com o objetivo de prolongar o bom desempenho cognitivo em pessoas idosas ativas.

Existem vários benefícios da RVI em relação aos instrumentos convencionais, uma vez que oferece cenários complexos gerados por estímulos multissensoriais (por exemplo, visuais, auditivos, táteis e proprioceptivos), que podem modular a percepção humana, decisão e resposta motora (Mishra et al., 2021; Rose et al., 2018; Wright, 2014). Esta abordagem integrativa facilita um circuito fechado adaptativo, no qual o cérebro ajusta sua representação sensório-motora e espacial ao ambiente virtual modulado pela carga perceptiva, cognitiva e motora, ampliando o desempenho nas tarefas realizadas pelos usuários (Kober et al., 2012; Tremmel et al., 2019). Portanto, a RVI aumenta a sensação de presença e corporeidade, melhorando assim o processo de aprendizagem no ambiente virtual quando comparados às telas de computador.

Os sistemas RVI desenvolvidos para treinamentos de pessoas idosas ainda precisam ser melhor investigados e avaliados, dentro de um processo de pesquisa e design da experiência do usuário (Eisapour et al., 2018). Huygelier et al. (2019) apontam que há aceitação e disposição das pessoas idosas em utilizar a RVI. No entanto, outros autores consideram que mais estudos são necessários para ampliar a “sensação de presença”, a usabilidade das ferramentas de interação e a corporeidade multissensorial na RVI pelos usuários idosos (Bowman & McMahan, 2007; Diersch & Wolbers, 2019; Thach et al., 2020; Wright, 2014). A corporificação multissensorial permite ao indivíduo maior percepção do corpo e estado de consciência na navegação no ambiente que, segundo Diersch e Wolbers (2019), é fator necessário para o sucesso de treinamentos cognitivos e motores com pessoas idosas.

É também importante que os efeitos de tarefas virtuais para aprimorar habilidades funcionais sejam avaliadas por testes, realizados tanto em ambientes reais como no ambiente imersivo e que utilizem medidas neurofisiológicas, comportamentais e cognitivas (Kober et al., 2012; Marín-Morales et al., 2019; Mishra et al., 2021; Thach et al., 2020). No entanto, ainda não está claro até que ponto estas medidas são confiáveis e válidas para pessoas idosas com capacidades cognitivas distintas (Devos et al., 2020). A integração de técnicas de monitoramento eletrofisiológicos com a RVI pode revelar diferenças no esforço cognitivo envolvido nos processos perceptivos e executivos necessários ao desempenho cognitivo e motor (Lelis-Torres, Ugrinowitsch, Apolinário-Souza, et al., 2017), quando os sujeitos estão imersos na realidade virtual. O esforço cognitivo resulta da combinação entre as demandas mentais e a

capacidade cognitiva da pessoa para realizar uma tarefa. Tal combinação depende de múltiplos recursos mentais, que são modulados pelo contexto (McKendrick et al., 2019; Wickens, 2008; Young et al., 2015).

As pesquisas em RVI com pessoas idosas ativas, envolvendo treinamentos cognitivos específicos são relativamente escassas e ainda pouco conclusivas. As principais limitações e inconsistências no uso da realidade virtual imersiva para treinamentos estão relacionadas a grande variação nos desenhos dos estudos, tamanho amostral, variabilidade nas tecnologias utilizadas, tipo de funções cognitivas e motoras estimuladas, instrumentos de avaliação e medidas, falta de estudos longitudinais. Além disso, a ocorrência de efeitos adversos nem sempre são relatados. Alguns participantes podem experimentar desconforto que inclui sintomas como tontura e fadiga (*cybersickness*) e podem variar entre indivíduos e impactar a adesão às intervenções (Ortiz-Mallasén et al., 2024; Tuena et al., 2020).

Nesse sentido é preciso avançar quanto ao uso alternativo de protocolos através da RVI para entender melhor sobre a aplicabilidade e efetividade desse tipo de treinamento ajustado para pessoas idosas ativas. Além disso, visa investigar os mecanismos neurobiológicos envolvidos neste tipo de treinamento e quais funções cognitivas e motoras são mais efetivas a serem treinadas para pessoas idosas através da RVI. Outro aspecto é averiguar a aceitabilidade e a motivação à exposição imersiva pelas pessoas idosas. Para tanto, avaliamos os efeitos do treinamento a partir de uma combinação entre medidas comportamentais e eletrofisiológicas. Além disso, dentro do contexto da experiência do usuário (UX), averiguamos a aceitabilidade à exposição imersiva pelas pessoas idosas ativas durante um treinamento.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos neurobiológicos do processo de envelhecimento

O envelhecimento é um processo contínuo e multifatorial que envolve alterações neurobiológicas estruturais, químicas e funcionais, impactando em diferentes sistemas neurais e na integração de funções sensoriais, motoras e cognitivas. Essas alterações neurais, relacionadas à idade, podem causar deterioração no sistema nervoso central (SNC), determinada pela diminuição do volume e espessura do córtex cerebral, pela atrofia dos giros, aumento dos sulcos e dilatação dos ventrículos cerebrais laterais, além da redução na densidade sináptica (Hedden & Gabrieli, 2004; Lee & Kim, 2022; Lövdén et al., 2013). A redução volumétrica da substância cinzenta, no entanto, não é uniforme, com impacto maior nos córtices pré-frontal (CPF), temporal medial - que inclui o hipocampo - parietal e cerebelo, permanecendo relativamente íntegras em outras regiões, como o córtex occipital (Hedden & Gabrieli, 2004; Park & Reuter-Lorenz, 2009; Ren et al., 2013). A perda de substância cinzenta no CPF provoca deterioração da atenção e das funções executivas, enquanto que, no hipocampo, impacta na memória episódica e memória espacial (Lester et al., 2017; Ren et al., 2013). A redução no volume e adelgaçamento da substância branca começa mais tarde e em taxa mais acelerada comparado ao declínio no volume da substância cinzenta (Seidler et al., 2010). A qualidade da conectividade da substância branca é mais afetada entre as regiões corticais pré-frontal e posterior e dentro dos córtices sensoriais, impactando principalmente na velocidade de processamento da informação (Cabeza et al., 2018; Seidler et al., 2010).

O decréscimo da síntese e atividade de neurotransmissores, como dopamina, noradrenalina e serotonina, também está diretamente ligado ao envelhecimento (Hedden & Gabrieli, 2004; Lee & Kim, 2022). A dopamina desempenha um papel importante em funções cognitivas superiores associadas ao CPF e a redução, no nível celular, da densidade do receptor, ou transportador de dopamina, impacta no desempenho das funções executivas e memória de trabalho (Seidler et al., 2010; Zanto & Gazzaley, 2019). Outra importante função da dopamina é a regulação da atenção e a modulação da resposta a estímulos contextuais (Park & Reuter-Lorenz, 2009). As pessoas idosas apresentam diminuição de neurônios produtores de dopamina na substância negra, bem como perda de densidade de vários receptores de dopamina e de transportadores, quando comparados aos adultos jovens, comprometendo o circuito fronto-estriatal (Seidler et al., 2010; Zanto & Gazzaley, 2019). O declínio da atividade dopaminérgica

no circuito fronto-estriatal está diretamente ligado à diminuição do controle dos movimentos, da marcha e do equilíbrio. Vários estudos demonstraram uma relação entre a neurotransmissão dopaminérgica e o controle motor fino, além da desaceleração do movimento em pessoas idosas (Seidler et al., 2010).

Os efeitos do envelhecimento também são observados nos receptores sensoriais, músculos e nervos periféricos. Os déficits no processamento sensorial, principalmente com a diminuição da acuidade visual, auditiva, tátil e proprioceptiva, interferem na capacidade de pessoas idosas perceberem estímulos e captarem informações presentes no ambiente, além de reduzir a velocidade de processamento dessas informações. O sistema motor é acometido com a diminuição da força, como consequência da perda de massa muscular que, associada às alterações sensoriais, refletem no aumento do tempo de resposta durante o movimento. A atrofia no córtex somatossensorial está relacionada ao aumento de quedas, menor equilíbrio, desaceleração dos movimentos e maior dependência do feedback visual para o desempenho motor. A diminuição do processamento de sensações, associada ao comprometimento do processamento visuoespacial e cognitivo, interferem no processo de aprendizagem da pessoa idosa (Dennis & Cabeza, 2015; Seidler et al., 2010).

2.2 Declínio de funções cognitivas e motoras

A cognição abrange várias funções e processos mentais, incluindo percepção, atenção, consciência, linguagem, memória, emoções e funções executivas. Essas funções e processos atuam em conjunto com habilidades visuoespaciais, que possibilitam a identificação de estímulos necessários ao movimento, percepção de profundidade e navegação espacial (Buele et al., 2023; Park & Reuter-Lorenz, 2009). Segundo Gazzaley (2008), os déficits de desempenho cognitivo no envelhecimento são atribuídos a um declínio na velocidade de processamento e à incapacidade do sujeito de inibir a interferência de informações irrelevantes e se concentrar em tarefas relevantes, o que impacta diretamente na atenção, na memória de trabalho e de longo prazo (Berry et al., 2010; Gazzaley et al., 2008; Gazzaley & Nobre, 2012; Zanto & Gazzaley, 2019).

À medida que as pessoas envelhecem, a sua capacidade de realizar multitarefas tende a diminuir, especialmente quando as tarefas exigem memória de trabalho significativa ou processamento visuoespacial. Acredita-se que esse declínio seja causado por uma combinação de deterioração nas funções perceptivas, sensorio-motoras e cognitivas, que podem variar amplamente entre os indivíduos. Essas habilidades cognitivas são essenciais para que os

indivíduos realizem as tarefas diárias e funcionais demandadas pelo ambiente (Buele et al., 2023).

2.2.1 Habilidades visuoespaciais

As habilidades visuoespaciais são fundamentais para nossas atividades diárias e estão relacionadas à forma como percebemos e interagimos com o ambiente que nos rodeia (de Bruin et al., 2016). Nosso sistema visual é composto por duas vias neurais distintas – a via ventral (percepção) e a via dorsal (espacial/ação) – que atuam integradas no processamento visuoespacial (Kravitz et al., 2011; Milner & Goodale, 2008). A via ventral conecta a área visual primária ao lobo temporal inferior, permitindo-nos processar informações sobre as características de um objeto e perceber pistas ambientais associadas à referência aloctônica (Chen & Crawford, 2020; Lester et al., 2017; Milner & Goodale, 2008). Por outro lado, a via dorsal consiste em três projeções da área visual primária através do córtex parietal até os córtices (1) CPF, que suporta a memória de trabalho espacial; (2) pré-motor, responsável pela ação visualmente guiada, isto é, a preparação para o movimento e (3) o temporal medial, orientação espacial (Kravitz et al., 2011; Milner & Goodale, 2008). A via dorsal também nos permite calcular o alvo em relação ao observador para executar um movimento direcionado a um objetivo e está associado ao referencial egocêntrico (Chen & Crawford, 2020; Lester et al., 2017; Milner & Goodale, 2008). Desta forma, as habilidades visuoespaciais são cruciais para as funções cognitivas e motoras ao longo da nossa vida. Elas nos permitem perceber objetos visuais, localizar alvos no espaço, orientar nossa atenção, alcançar e agarrar objetos, inferir relações espaciais, direção e distância entre objetos e navegar em nosso ambiente (Bauer, 2014; de Bruin et al., 2016; Kravitz et al., 2011). O declínio no desempenho visuoespacial é uma ocorrência comum durante o envelhecimento e está associado à diminuição da capacidade de processar e reter informações visuais na memória de trabalho (Bo et al., 2009). Isso afeta tarefas diárias, como lembrar a localização de objetos e influencia os processos envolvidos no aprendizado de rotas e na navegação espacial.

2.2.1.1 Memória de trabalho visuoespacial

A memória de trabalho (MT) é um sistema cognitivo essencial para o desempenho de funções complexas, como lógica, percepção e aprendizagem. A MT refere-se ao sistema de capacidade limitada que mantém e manipula temporariamente informações advindas de diferentes vias sensoriais e apoia os processos de pensamento humano, fornecendo uma

interface entre a percepção, a memória de longo prazo e a ação (Baddeley, 2003). É composta por diversos componentes responsáveis pelo processamento e armazenamento temporário de informações, são eles: (1) o executivo central, responsável por controlar a atenção, coordenar, manipular e modificar o fluxo de informações e selecionar estratégias cognitivas; (2) a alça fonológica, que armazena informações verbais e auditivas em um processo de ensaio articulatorio e pode reter traços de memória por alguns segundos antes de desaparecerem; (3) o esboço visuoespacial da MT envolvido com a codificação da informações visuais e espaciais, advindas do ambiente e da tarefa, codificação e manipulação de imagens mentais para a realização de uma tarefa e/ou cumprir um objetivo; e (4) o buffer episódico que tem a função de receber a informação dos demais componentes, manipulá-la e fazer a ligação com a memória de longo prazo (Baddeley, 2003). Mesmo sem causas patológicas específicas, a memória de trabalho diminui com o envelhecimento, sendo que o comprometimento da memória de trabalho visuoespacial (MTV) ocorre mais cedo do que o da memória de trabalho verbal, que ocorre mais tarde (Nagel et al., 2009; Park & Reuter-Lorenz, 2009). A rede neural ativada durante avaliações da MTV envolve o córtex pré-frontal lateral, córtex pré-motor, córtex parietal posterior e regiões cerebrais temporais (Nagel et al., 2009).

A MTV é crucial para nossas atividades cotidianas. Segundo Baddeley (2003) a MTV é onde as representações 2D e 3D são temporariamente armazenadas e processadas juntas. Para avaliar a capacidade de armazenamento temporário de um indivíduo, vários testes neuropsicológicos têm sido usados com foco particular na memória para exibições recentes de cenas bidimensionais (2D) estáticas ou desenhos de linhas complexas, como a Figura Complexa de Rey-Osterrieth, (Lancia et al., 2018; Moffat, 2009). Um instrumento frequentemente utilizado para medir a extensão da memória sequencial de curto prazo é o tradicional teste dos Blocos de Corsi, em 3D (Baddeley, 2003; Corsi, 1972; Iachini et al., 2009; Kessels et al., 2000). O teste envolve nove blocos idênticos dispostos aleatoriamente em um tabuleiro. Os participantes são solicitados a reproduzir uma sequência de blocos que aumenta em comprimento, conforme tocados pelo experimentador na ordem direta ou inversa. A sequência direta tem uma demanda de armazenamento visuoespacial, enquanto a sequência inversa demanda um processamento secundário ativo que envolve as funções executivas (Kessels et al., 2008; L. Wang et al., 2018). A pontuação final corresponde ao comprimento máximo de sequências e acertos reproduzidos pelo participante com precisão (Baddeley, 2003; Corsi, 1972; Kessels et al., 2000).

A capacidade de aprender novas habilidades motoras é essencial para manter a independência funcional à medida que envelhecemos. Sabe-se que pessoas idosas tem maior dificuldade de reter a aprendizagem de habilidades motoras após a prática, resultando numa aquisição mais lenta e menos eficaz de novas habilidades motoras em comparação a adultos mais jovens (Bo et al., 2009; VanGilder et al., 2018; P. Wang et al., 2020). Porém, a capacidade da memória de trabalho visuoespacial tem sido associado a dificuldades na aprendizagem de novas habilidades motoras por pessoas idosas (Bo et al., 2009). Isto é evidenciado por vários tipos de paradigmas de aprendizagem motora, incluindo adaptação sensório-motora, aquisição de habilidades motoras complexas e aprendizagem de sequência motora (Bo et al., 2009; P. Wang et al., 2020). Em pacientes com idades entre 65 e 89 anos que foram diagnosticados com comprometimento cognitivo leve amnésico, sua capacidade de reter uma habilidade motora pode estar mais relacionada a deficiências visuoespaciais do que a comprometimento de memória. Neste contexto, a capacidade de aprendizagem motora de pessoas idosas pode ser avaliada com testes visuoespaciais (VanGilder et al., 2018).

2.2.1.2 Navegação espacial

A navegação espacial é uma habilidade cognitiva complexa essencial para o funcionamento diário em diferentes ambientes, que exige codificar, manter, atualizar e recuperar informações espaciais e, ao mesmo tempo, evitar distrações. Para coordenar esses processos de forma eficiente, precisamos ter operações de memória de trabalho espacial intactas (Kronovsek et al., 2021). Nesse sentido, a MTV pode desempenhar um papel importante na manutenção de informações espaciais durante a navegação, lembrando locais visitados anteriormente e criando mapas cognitivos do ambiente (Kronovsek et al., 2021; Lester et al., 2017).

As informações de navegação podem ser codificadas usando dois tipos de referências espaciais: egocêntricas e allocêntricas. A referência egocêntrica inclui informações sobre a localização do indivíduo no ambiente, baseia-se nas relações sujeito-objeto e considera a representação centrada no corpo, importante no controle visuomotor. Em contraste, a referência allocêntrica envolve informações espaciais sobre a posição dos objetos em relação uns aos outros (objeto a objeto), é baseada em coordenadas no ambiente independente do ponto de vista do sujeito e formam os mapas cognitivos (Colombo et al., 2017; Ekstrom et al., 2017; Lester et al., 2017; Merhav et al., 2019). O hipocampo está fortemente implicado na codificação allocêntrica, é suportada principalmente pelas células de lugar que disparam quando o sujeito

está em locais espaciais específicos, independentemente da sua orientação. Outras áreas cerebrais envolvidas no processamento aloentrico são o córtex parahipocampal e retrosplenial (Colombo et al., 2017; Ekstrom, 2015). Por outro lado, a referência egocêntrica depende principalmente do núcleo caudado, do lobo parietal medial e da área parietal posterior que integra diferentes representações egocêntricas (Colombo et al., 2017; Ekstrom et al., 2017; Lester et al., 2017; Merhav et al., 2019). Navegar com sucesso no ambiente exige a capacidade de utilizar as diferentes referências espaciais com base nas situações encontradas no ambiente, o córtex retrosplenial desempenha precisamente esta função, permitindo uma transformação entre os dois sistemas de coordenadas (Ekstrom et al., 2017).

Com o declínio na navegação espacial aproximadamente após os 60 anos, essa capacidade se torna mais problemática, pois as pessoas idosas encontram dificuldades em alternar entre as referências egocêntricas e aloentricas (Colombo et al., 2017; Gazova et al., 2013; Lester et al., 2017). Os déficits relacionados à idade são mais pronunciados em tarefas que exigem representações aloentricas do ambiente ou na alternância entre as referências, por isso pessoas idosas tendem a utilizar mais o processamento egocêntrico (Gazova et al., 2013). Assim, a aprendizagem e memória associadas à navegação espacial são gravemente prejudicadas contribuindo para a perda da independência funcional e podem representar indicadores do estágio inicial na progressão da doença de Alzheimer (Colombo et al., 2017; Gazova et al., 2013; Lester et al., 2017).

A maioria das baterias de testes que avaliam o envelhecimento cognitivo, normalmente, não avaliam as habilidades de navegação espacial. Segundo Moffat (2009), quando a cognição espacial é medida, ela normalmente é avaliada por meio de lápis e papel ou testes computadorizados que exigem a manipulação mental de objetos estáticos, como testes de rotação mental. Esta abordagem tem sido útil, mas tem limitações, uma vez que estes testes cognitivos ignoram a natureza dinâmica da cognição espacial, tal como é utilizada diariamente pela maioria das pessoas (Moffat, 2009). A avaliação da navegação pode ser uma ferramenta útil para prever a Doença de Alzheimer futura como medida de resultados em estudos de intervenção comportamental e farmacológica, bem como uma tarefa de treinamento cognitivo (Lester et al., 2017). Contudo, não existe uma ferramenta padrão de avaliação, o que explica a variedade de tarefas e abordagens encontradas na literatura (Gazova et al., 2013; Lester et al., 2017; van der Ham & Claessen, 2020).

Os principais modelos usados para avaliar aprendizagem e memória espacial são estudos com roedores, tendo o Labirinto Aquático de Morris (LAM; *Morris Water Maze*) como "Padrão

Ouro" (Morris et al., 1998). O LAM consiste em uma piscina circular cheia de água, na qual o roedor deve localizar uma "plataforma submersa" abaixo da superfície da água. O LAM fornece um ambiente altamente controlado para manipulação de pontos de referência, observação comportamental e estudos de lesões (Thornberry et al., 2021; Vorhees & Williams, 2006). Uma descoberta altamente replicada usando o LAM é que o hipocampo é crucial para a navegação aloentrônica, enquanto o aprendizado de trajetória ou estratégias de busca egocêntricas permanecem inalterados. A flexibilidade nos protocolos e procedimentos fornecidos pelo LAM tornou-o o teste mais popular para memória espacial e navegação (Gazova et al., 2013; Thornberry et al., 2021; Vorhees & Williams, 2006; Zhong et al., 2017).

A crescente popularidade e potencial das ferramentas de realidade virtual (RV) para estudar a navegação humana no envelhecimento tornaram-se evidentes, pois essa ferramenta pode ser facilmente transferida entre estudos de pesquisa em animais e humanos (Reynolds et al., 2019; Thornberry et al., 2021; Zhong et al., 2017). O uso de versões virtuais análogas ao LAM vem sendo utilizada para avaliar o declínio da navegação espacial com protocolo mais apropriados para pessoas idosas (Reynolds et al., 2019; Thornberry et al., 2021; Zhong et al., 2017). Uma versão desenvolvida no laboratório VerLab (DCC/UFGM) foi utilizada para comparar a navegação espacial entre adultos jovens e pessoas idosas, como esperado, os resultados indicaram um desempenho significativamente superior dos adultos jovens (Apêndice 4, pág. 123). Este instrumento será utilizado para a avaliação de aprendizagem e memória espacial após o treinamento cognitivo-motor na RVI neste estudo, com bases em que o cérebro humano tem a capacidade de sofrer mudanças estruturais em resposta às exigências ambientais (Maguire et al., 2000).

2.2.2 Destreza manual

Conforme envelhecemos, a capacidade de dividir a atenção entre diferentes estímulos visuais tende a diminuir, o que pode impactar a eficiência dos movimentos e a execução de tarefas manuais complexas. Há uma tendência de diminuição na acuidade visual e na capacidade de processar informações visuais. Isso pode afetar a coordenação entre a visão e os movimentos das mãos, essencial para a execução de tarefas delicadas, como pegar objetos pequenos ou realizar ajustes finos (Rodríguez-Aranda et al., 2016; Sobinov & Bensmaia, 2021).

A percepção de profundidade, crucial para avaliar distâncias e velocidades, também pode ser comprometida, tornando difícil ajustar a força e a direção dos movimentos manuais. Esses fatores contribuem para uma redução na precisão e eficiência dos movimentos,

umentando a probabilidade de erros e dificultando a execução de atividades que exigem alta destreza, o que pode afetar a capacidade de realizar atividades diárias e reduzir a independência funcional (Rodríguez-Aranda et al., 2016). Essa redução na atenção pode levar a erros e tornar os movimentos menos eficazes, especialmente em situações que exigem monitoramento constante do ambiente e ajustes rápidos. As pessoas idosas, em particular, demonstram uma maior dependência das informações visuais para realizar tarefas de destreza manual, como observado em testes de *pegboard*, onde o desempenho diminui significativamente quando a visão das mãos é obstruída (Walters et al., 2021).

A relação entre destreza manual e processamento visual é, portanto, crítica, já que qualquer alteração na forma como as informações visuais são usadas pode impactar diretamente a capacidade de realizar tarefas motoras finas de maneira eficiente. Portanto, entender as mudanças na destreza manual com o envelhecimento é crucial para desenvolver intervenções e estratégias que possam ajudar a manter a funcionalidade e a independência de pessoas idosas. A adoção de práticas que promovam a saúde visual e a manutenção da força e coordenação motora pode ajudar a mitigar alguns dos impactos do envelhecimento sobre a destreza manual (Batista et al., 2024).

2.3 Plasticidade neural

A plasticidade neural é a capacidade para aprender e reaprender habilidades ao longo da vida, um processo contínuo importante para as funções cognitivas e motoras. Especificamente, a plasticidade neural refere-se à capacidade do SNC de modificar, de modo permanente ou prolongado sua estrutura e função em resposta à experiência, ao aprendizado, ao treinamento ou à lesão (Cai et al., 2014). Por meio de novas experiências e práticas em um ambiente enriquecido em estímulos, é possível fortalecer a plasticidade neural (Lindenberger & Lövdén, 2019; Lövdén et al., 2013; Maguire et al., 2000; Nyberg et al., 2012).

Uma maneira de melhorar a plasticidade do cérebro é através da prática deliberada que fortalece as conexões neurais baseadas na experiência e no feedback de ações executadas em um determinado ambiente ou sistema (Cai et al., 2014). As atividades cognitivas e motoras são intelectualmente estimulantes e fisicamente apropriadas para trazer benefícios ao cérebro das pessoas idosas. Durante o processo de envelhecimento, a plasticidade atua principalmente na manutenção e melhora do desempenho das funções cognitivas. Essa capacidade de mudar a estrutura ou funcionar de maneira sustentada, em resposta a algum tipo de estimulação externa, pode ser proporcionado por meio de atividades e treinamento, que atuam diretamente na

memória e na aprendizagem (Cai et al., 2014; Lindenberger & Lövdén, 2019; Lövdén et al., 2012; Nyberg et al., 2012).

Uma série de evidências sugere que o cérebro de pessoas idosas tem uma plasticidade neural e cognitiva considerável. Nesse sentido, o treinamento parece promover a plasticidade neural na velhice, embora sejam necessárias mais pesquisas que elucidem os mecanismos subjacentes ao treinamento cognitivo (Nguyen et al., 2019). Aprender novas habilidades e adquirir conhecimentos abstratos podem resultar em mudanças na estrutura da substância cinzenta do cérebro (Nyberg et al., 2012). Lövdén et al. (2012) observaram que o treinamento por meio da navegação espacial protegeu o volume do hipocampo contra o declínio relacionado com a idade, tanto em adultos jovens como em pessoas idosas. Segundo a revisão sistemática de Nguyen et al. (2019), foram relatadas mudanças estruturais no cérebro relacionadas ao treinamento de funções executivas (memória de trabalho, inibição, flexibilidade cognitiva). Tais mudanças foram evidenciadas pelo aumento da massa cinzenta e do volume das regiões corticais e subcorticais. No entanto, as melhorias cognitivas relacionadas ao treinamento foram geralmente restritas a tarefas treinadas, com resultados mistos em relação à transferência para tarefas não treinadas.

2.3.1 Treinamento cognitivo

O uso de intervenções para recuperar déficits de funções cognitivas, ou para manutenção de habilidades intactas, tem sido explorado há algum tempo, especialmente em pessoas idosas. Estudos longitudinais mostram que intervenções comportamentais destinadas a melhorar a função do cérebro envelhecido são bem-sucedidas e proporcionam uma melhora no desempenho de AIVD e na estabilização da progressão de prejuízos referentes ao avanço da idade (Anguera et al., 2021; Coyle et al., 2015). Grande parte dos estudos que investigam intervenções em pessoas idosas a partir do treinamento de habilidades cognitivas realizam um programa de práticas e exercícios e, ao final de um período de treinamento, mensuram a melhora. A melhora observada é tipicamente cognitiva (por exemplo, capacidade de memória de trabalho e atenção aprimoradas), (Park & Bischof, 2013). Além disso, a maioria dos estudos também considera se a melhora observada é “transferida” para outras tarefas, ou seja, se um treinamento de uma função cognitiva específica beneficiará uma segunda função (Studer-Luethi et al., 2022). Outra questão importante é o papel que o treinamento e as intervenções cognitivas desempenham a curto e longo prazo.

Em uma revisão da literatura sobre intervenção e demência, Clare et al. (2005) identificaram três abordagens para a intervenção cognitiva. A primeira seria a estimulação cognitiva, que se refere ao envolvimento em atividades de grupo projetadas para aumentar o funcionamento cognitivo e social de uma maneira não específica. Isso inclui discussões, atividades de lazer supervisionadas, memorização de listas sem nenhum suporte específico e atividades mais estruturadas, como orientação para a realidade ou reminiscência. A segunda abordagem é a reabilitação cognitiva, que envolve programas personalizados centrados em atividades específicas da vida diária (por exemplo, aprender o nome de um novo cuidador). Por fim, a terceira abordagem refere-se ao treinamento cognitivo, que envolve o ensino de estratégias e habilidades motivadas para otimizar o funcionamento da cognição. O treinamento cognitivo é mais frequentemente fornecido em pequenos grupos e de forma padronizada (Clare et al., 2005). Na revisão de literatura de Coyle, Traynor e Solowij (2015) foi relatado que, para pessoas idosas saudáveis, o treinamento melhorou o desempenho em domínios cognitivos específicos em relação às condições de controle. Indicando que os domínios de atenção, função executiva e memória (visual e verbal) mostraram as melhorias mais consistentes entre os estudos (Coyle et al., 2015). O treinamento cognitivo inclui tarefas repetidas e exercícios que são projetados para trabalhar e exercitar capacidades cognitivas prejudicadas sob diferentes condições (Belleville, 2008). Essa abordagem é usada com mais frequência para melhorar domínios elementares da cognição, como velocidade de processamento, campo útil de visão e atenção. Por exemplo, algumas técnicas de treinamento de memória dependem de imagens visuais para apoiar a memória episódica, ou seja, a memória para fatos e eventos situados no tempo e espaço.

É importante ressaltar que o treinamento cognitivo não corresponde a uma “corrida cerebral”, na qual vencerá aquele que atingir uma maior performance. Programas de treinamento cognitivo adequados devem se basear em técnicas de treinamento teoricamente válidas que levem em conta o padrão de capacidades intactas e prejudicadas (Clare et al., 2005). Embora isso nem sempre seja feito, esses programas devem, idealmente, abordar a questão da validade ecológica e considerar o impacto da intervenção no bem-estar do participante e na resposta às atividades da vida real.

A maioria dos estudos que avalia a eficácia da intervenção cognitiva em pessoas idosas ativas se baseou em programas de treinamento cognitivo. Zhang et al. (2019) realizaram uma meta-análise de 18 estudos de treinamento cognitivo computadorizado envolvendo uma amostra total de 690 pessoas idosas ativas. A análise revelou que o treinamento foi mais eficaz

quando conduzido em sessões curtas, com pequenos grupos e quando acompanhado de pré-treinamento em componentes não relacionados à memória (por exemplo, melhorar a imagem visual ou reduzir o estresse). Em termos das características dos participantes, a idade foi positivamente correlacionada com a eficácia do treinamento cognitivo, sugerindo que pessoas idosas mais jovens são mais beneficiadas (Zhang et al., 2019).

Durante o envelhecimento, a mudança mais perceptível no processo de atenção é a redução do desempenho em tarefas atencionais complexas, como atenção seletiva ou dividida. A atenção seletiva é a capacidade de se concentrar em informações específicas em um ambiente e, ao mesmo tempo, ignorar informações irrelevantes. Enquanto a atenção dividida é a capacidade de se concentrar em mais de uma tarefa simultaneamente, como caminhar e conversar (Nguyen et al., 2019). Um estudo longitudinal realizado por Anguera et al. (2021), acompanhou pessoas idosas durante 6 anos e investigou a persistência a longo prazo de habilidades atencionais aprimoradas por meio do uso de um videogame personalizado (NeuroRacer). Os resultados demonstraram uma plasticidade robusta do sistema de controle cognitivo pré-frontal no cérebro envelhecido. Ainda que algumas habilidades tenham retornado ao nível de desempenho anterior, as funções baseadas em treinamento multitarefas apresentaram menor declínio, apontando para maiores benefícios dos treinamentos digitais, que apresentam característica de personalização e flexibilização das intervenções (Anguera et al., 2021).

A literatura sugere que a semelhança de tais exercícios com atividades da vida real pode melhorar a generalização, estendendo a transferência de ganhos de treinamento para a vida cotidiana. A exemplo, Gamito et al. (2020) que desenvolveram um conjunto de tarefas baseado em RV, *Systemic Lisbon Battery* (SLB), sistema que simula AIVD para estimulação de diferentes domínios cognitivos e aplicado em vários estudos com pessoas idosas. Foi realizado um estudo com 43 indivíduos entre 67 e 87 anos, durante 12 sessões de treinamento, comparando o método tradicional em lápis e papel com a RV. Resultados apontam melhora significativa através de avaliação neuropsicológica, pré e pós-teste, para medidas de atenção, memória visual e flexibilidade cognitiva no uso da RV (Gamito et al., 2020).

Além das funções atencionais, as funções executivas (como o controle inibitório, memória de trabalho e flexibilidade cognitiva) são habilidades cognitivas necessárias para interagir com o ambiente nas atividades diárias e também dependem das regiões pré-frontais do cérebro. (Nguyen et al., 2019). Liao et al. (2020) investigaram os efeitos de treinamento físico e cognitivo baseado em RV, ativação cerebral e AIVD, comparando o treinamento

combinado com treinamentos isolados. Mudanças na ativação do CPF durante o teste de cognição global também foram capturadas por espectroscopia funcional de infravermelho, para identificar a potencial via de mediação da intervenção. As pessoas idosas apresentaram melhora na função executiva e memória verbal (recordação imediata) após o treinamento. No entanto, apenas o grupo que realizou o treinamento na RV mostrou melhorias significativas na cognição global, memória verbal e AIVD após a intervenção. Os resultados demonstraram ainda que as AIVDs melhoraram significativamente com o treinamento na RV em comparação com o treinamento combinado. Os dados hemodinâmicos revelaram diminuição da ativação nas áreas pré-frontais em indivíduos que realizaram o treinamento na RV, sugerindo que treinamento físico e cognitivo baseado na RV melhora a função cognitiva, as AIVD e a eficiência neural em pessoas idosas com comprometimento cognitivo leve (Liao et al., 2020).

2.3.2 Treinamento de funções motoras

As causas de déficits motores no envelhecimento são multifatoriais e estão relacionadas com declínios do SNC, além de alterações nos receptores sensoriais, músculos e nervos periféricos. Esse declínio inclui dificuldade de coordenação, aumento da variabilidade do movimento, lentidão do movimento, dificuldade com a marcha e equilíbrio em comparação com adultos jovens. Dificuldades com a marcha e perda do equilíbrio se tornam as principais causas de quedas de pessoas idosas e esses déficits têm um impacto negativo na capacidade de realizar atividades funcionais da vida diária (Seidler et al., 2010).

Muitas das atividades diárias exigem a interação entre funções cognitivas e motoras na execução das tarefas. Durante o envelhecimento, o desempenho dessas atividades pode ser afetado pela dificuldade de processamento de informação, resultando em um tempo mais longo de resposta, afetando a capacidade de usar tanto recursos motores quanto cognitivos de forma adequada, quanto simultaneamente. Estudos apontam para alguns paralelos no envelhecimento dos sistemas motor e cognitivo, uma vez que compartilham modalidades e codificações sensoriais na execução de tarefas. Dessa forma, os programas de treinamento cognitivo-motor devem visar tanto a cognição quanto a prática motora e, se possível, abordando os problemas encontrados nas AIVD (Seidler et al., 2010).

O objetivo de intervenções motoras é (re)aprender habilidades durante a prática e transferir as melhorias para atividades funcionais da vida diária. No entanto, os paradigmas atuais de treinamento baseados em RV diferem significativamente daqueles no mundo real, pois o modelo interno para a tarefa não pode ser generalizado por causa das diferentes informações

sensorio-motoras e da organização espaço-temporal entre as interfaces virtual e real (Levac et al., 2019). Assim, a RVI torna-se uma potencial ferramenta a ser investigada acerca de sua viabilidade para treinamento cognitivo e motor para o público de pessoas idosas (Diersch & Wolbers, 2019).

2.4 Potencialidades da realidade virtual imersiva

A RVI vem se consolidando como um instrumento eficaz para uma variedade de pesquisas e aplicações em educação, entretenimento, reabilitação, treinamento, terapias, exercícios físicos, entre outros. Embora a tecnologia de RV já exista há várias décadas, principalmente na esfera dos jogos, as opções acessíveis de dispositivos de exibição HMD de alto desempenho levaram a um aumento significativo de tais aplicações na área da saúde e, por sua vez, nas neurociências (Bohil et al., 2011).

A RVI envolve “estímulos multissensoriais (percepções visuais, auditivas, hápticas e proprioceptivas) para gerar realidades ilusórias, principalmente relacionadas ao corpo, a fim de fazer a mente acreditar e aceitar o virtual como real” (Bohil et al., 2011). Por ser um ambiente artificial controlado, a RVI permite manipular as entradas de estímulos sensorio-motores e monitorar variáveis de movimento e cognição, criando assim, um circuito fechado e ecologicamente elaborado. Neste ambiente é possível emular a complexidade da interação no mundo real, permitindo maior liberdade de movimento (Bohil et al., 2011; Diersch & Wolbers, 2019).

2.4.1 Imersão e a sensação de presença

Uma das principais características associadas a um sistema de RVI é a “imersão”. A imersão é a capacidade objetiva da tecnologia de fornecer exibições em todas as modalidades sensoriais e o rastreamento do movimento (exemplo, cabeça e mãos) comparáveis às ações no mundo físico (Cummings & Bailenson, 2016). Diferentes métodos de controle são usados para manipular o nível de imersão como, por exemplo, tamanho do campo de visão, tipo de tela de exibição, visão estereoscópica, taxa de atualização do sistema, fidelidade e resolução dos modelos em 3D, qualidade do som, entre outros (Cummings & Bailenson, 2016).

A partir da qualidade tecnológica disponível, é possível definir o grau de imersão na realidade virtual, a saber: não-imersiva, semi-imersiva ou totalmente imersiva (Bauer & Andringa, 2020; Li et al., 2020; Rose et al., 2018). A RV não-imersiva é caracterizada pelo uso de um monitor de computador padrão ou televisores, isto é, uma tela com campo de visão

limitado, permitindo a visão periférica do ambiente real, onde a interação do usuário com o ambiente ocorre por meio de teclado, mouse e controles comuns. Sendo assim, o vínculo entre percepção e ação nesta condição pode ser bastante diferente em relação ao mundo real devido à referência indireta do movimento físico e interação com objetos, isto é, pela representação aloentríca do movimento do usuário no ambiente virtual, numa perspectiva em terceira pessoa (Kim et al., 2017).

Já na modalidade semi-imersiva, as chamadas cavernas digitais (*Cave automatic virtual environment - CAVE*), é possível obter uma experiência mais natural em relação ao movimento, com um campo de visão maior. Nela as projeções são feitas em alta definição em paredes, superfícies ou sequência de monitores, apresentando vídeos ou gráficos 3D. O termo CAVE é uma alusão à Alegoria da Caverna de Platão, referindo-se à realidade projetada e não à realidade em si (Bauer & Andringa, 2020). Geralmente, a RV semi-imersiva é utilizada como base de treinamento de simuladores de voos e direção, bem como, em reabilitação postural, para melhorar o equilíbrio e capacidade de marcha, associada a esteiras ergométricas ou exergames - jogos que exploram o movimento do corpo todo como experiência de jogo (Doniger et al., 2018).

Por fim, a RV imersiva tem como base a tecnologia HMD, um sistema de alta qualidade gerado por computador que envolve completamente o campo de visão, permitindo uma visão em profundidade (estereoscópica) e onde o movimento do campo visual está vinculado ao movimento da cabeça e do corpo (Huygelier et al., 2019). Nessa modalidade, a imersão é bastante intensa, pois elimina o fluxo sensorial de informações do mundo real e pode associar o uso de dispositivo de vestir (tecnologias vestíveis), que permitem que as pessoas percebam seu próprio movimento e sintam as imagens da tela por meio de luvas háptica, reforçando a perspectiva em primeira pessoa (Kim et al., 2017).

A partir do entendimento dessas categorizações, podemos dizer que a imersão é um recurso importante na pesquisa em RV, pois influencia a experiência do usuário na interação com o ambiente virtual, ao afetar a sua “sensação de presença” (Rose et al., 2018). A propósito da “sensação de presença”, enquanto a “imersão” é uma propriedade objetiva do sistema e está relacionada à tecnologia dos ambientes virtuais, a “presença” está relacionada ao aspecto perceptivo e psicológico da experiência do sujeito em “estar lá” (*to be there*), imerso no ambiente (Cummings & Bailenson, 2016). A presença, por ser uma reação humana à imersão, em um mesmo sistema imersivo, permite que diferentes pessoas experimentem distintos níveis de presença. Nesse sentido, diferentes sistemas imersivos também podem dar origem ao mesmo

nível de presença em diferentes pessoas. A sensação de "presença" permite assim, ampliar o grau de engajamento do usuário com a aplicação, fator necessário para o aprimoramento de funções cognitivas e motoras, favorecendo a generalização para o mundo real (Cummings & Bailenson, 2016).

2.4.2 Sensação de *embodiment*

A sensação de *embodiment* é definida como a sensação de ter e controlar um corpo representado no espaço virtual (Kilteni et al., 2012; Wenk et al., 2023). Pode ser caracterizada pelo sentimento de propriedade do corpo (consciência corporal), pela experiência de estar dentro de um corpo no espaço virtual por meio de uma perspectiva em primeira pessoa (referência egocêntrica) e que permite o senso de agência, isto é, ter “controle motor global, incluindo a experiência subjetiva de ação, controle, intenção, seleção motora e a experiência consciente da vontade” (Kilteni et al., 2012; Wenk et al., 2023). Assim, aumentar a sensação de *embodiment* pode ser uma ferramenta eficaz para promover a plasticidade cerebral e melhorar a aprendizagem motora com implicações diretas para a neuroreabilitação (Perez-Marcos et al., 2018).

2.4.3 Risco de *cybersickness*

Para aproveitar o potencial oferecido pela RVI, um aspecto essencial é a compreensão de como maximizar a experiência de presença. Um fator que pode interferir de forma negativa na qualidade dessa experiência é a cinetose ou enjoo de movimento (*cybersickness*), uma sensação indesejável de desconforto ao vivenciar a RVI (Weech et al., 2019). Na revisão de Weech, Kenny e Barnett-Cown (2019), foi avaliada a relação entre presença e *cybersickness*. Foram levantados vários fatores que poderiam levar ao *cybersickness*, desde os graus de interação no ambiente, o realismo dos cenários, a eficiência da renderização e resposta ao movimento, a qualidade do HMD utilizados, a incongruência entre a estímulo sensorial e resposta motora, a percepção visual, vestibular e proprioceptiva, mas, principalmente, as diferenças individuais – idade, sexo, experiência de jogo (Weech et al., 2019).

Os resultados de Weech, Kenny e Barnett-Cowan (2019) apontam uma associação entre presença e *cybersickness* e as evidências indicam uma relação negativa entre os dois fatores, impulsionada principalmente por processos de integração sensorial. Para minimizar o enjoo de movimento, é preciso utilizar artifícios que ampliem a sensação de presença, como o

embodiment por meio do uso de avatares de partes do corpo, da percepção motora e de agência sobre o ambiente imersivo entre outros (Weech et al., 2019).

2.5 Desafios e viabilidade da realidade virtual imersiva para pessoas idosas

Considerando as características e limitações da RVI mencionadas acima, é preciso investigar melhor a motivação, aceitação e condições de uso desta ferramenta para neuroreabilitação e treinamento para pessoas idosas, indivíduos com doenças neurológicas ou neurodegenerativas, isto é, grupos vulneráveis e pouco afeitos às novas tecnologias de forma a garantir a eficácia de intervenções específicas (Diersch & Wolbers, 2019; Tuena et al., 2020).

A RVI é uma nova abordagem no campo do envelhecimento, que busca gerar mais envolvimento e motivação nos sujeitos durante as sessões de treinamento, em ambientes de prática mais seguros (Rose et al., 2018). A RVI oferece também a possibilidade de personalizar as necessidades de treinamento e funções em um ambiente enriquecido, flexível, com diferentes graus de complexidade, permitindo uma melhor adequação para o público de pessoas idosas (Bauer & Andringa, 2020; Campo-Prieto et al., 2021; Rose et al., 2018). Trabalhar com grupos de pessoas idosas, cujas habilidades sensório-motoras e cognitivas diferem dos adultos jovens pode, no âmbito experimental, limitar a experiência na RVI. Isso impõe desafios específicos que precisam ser levados em consideração para o desenvolvimento desses ambientes. Pode haver diferenças na percepção dos ambientes virtuais, no grau de imersão, na sensação de presença, na capacidade de navegar nesses ambientes (Diersch & Wolbers, 2019).

Um aspecto a ser considerado em estudos com pessoas idosas é a barreira tecnológica, isto é, pessoas idosas, em sua maioria, possuem menos experiência com a tecnologia, tornando importante a avaliação da usabilidade e aceitação no uso de dispositivos e acessórios, como o HMD ou mesmo de controles manuais (Tuena et al., 2020). A aplicação da RVI para grupos vulneráveis pode ser prejudicada pela não aceitação destes dispositivos ou mesmo pelos possíveis efeitos de *cybersickness* no uso do HMD (Huygelier et al., 2019; Weech et al., 2019). Assim, através de uma abordagem focada na experiência do usuário, com avaliação de usabilidade comparando com outros perfis, como adultos jovens, é possível desenvolver tarefas virtuais e criar protocolos que adequem essas tarefas para o usuário idoso, considerando funções cognitivas e motoras a serem aprimoradas (Tuena et al., 2020).

Um dos primeiros estudos em que os autores avaliaram a aceitação do HMD por pessoas idosas foi desenvolvido por Huygelier et al. (2019), com 76 pessoas idosas, entre 57 e 94 anos, que não haviam sido expostos à RVI anteriormente. Os resultados mostraram que pessoas

idosas sem experiência prévia com HMD tiveram uma atitude neutra em relação a esta nova tecnologia. Mas os autores encontraram evidências de que as experiências se tornam mais positivas após a primeira exposição ao HMD. Houve poucos relatos de desconforto ou enjoos, por parte dos participantes, que não os relacionaram diretamente ao uso da RVI (Huygelier et al., 2019).

A navegação no ambiente virtual difere em vários aspectos do ambiente real, pois nela a visão sugere o movimento (fluxo óptico), enquanto o corpo do sujeito está parado, já que a maioria das interações usando controles são desenvolvidas para o usuário sentado no caso de pessoas idosas. Mas, ao mesmo tempo, a navegação pode ser favorecida pela referência egocêntrica na visualização de deslocamento no ambiente, quando do uso de HMD, isto é, ampliação da interação na perspectiva em primeira pessoa, característica da navegação dos indivíduos no ambiente real (Diersch & Wolbers, 2019). Usando um sistema de CAVE e esteira ergométrica, os dados obtidos por Lövdén et al. (2012) mostram que o treinamento diário de desempenho em navegação espacial com tarefas que requerem processamento espacial alocêntrico, promove ganhos cognitivos e efeitos positivos na integridade da estrutura do hipocampo, tanto em adultos jovens, quanto pessoas idosas (Lövdén et al., 2012). Assim, a RVI passa a ser uma opção de instrumentos de avaliação e treinamento para habilidades visuoespaciais e de orientação espacial em pessoas idosas (Diersch & Wolbers, 2019).

Considerando o aspecto motor na RVI para pessoas idosas, o uso de avatar (representações virtuais do corpo ou mãos), visualizado a partir de uma perspectiva em primeira pessoa, pode favorecer as transformações visuoespaciais do movimento realizado na representação virtual, preservando a coordenação natural olho-mão (Wenk et al., 2023). Esses aspectos podem reduzir a carga cognitiva do usuário e acelerar o aprendizado motor, por isso, a importância de se entender como o usuário idoso observa o movimento das mãos na RVI (Wenk et al., 2023).

2.5.1 Viabilidade para treinamento

O empenho em desenvolver tarefas, treinamentos, reabilitações e avaliações na RVI para pessoas idosas vem crescendo, mas ainda em abordagens experimentais de viabilidade ou em estágios iniciais de desenvolvimento (Diersch & Wolbers, 2019; Eisapour et al., 2018). Segundo a revisão de Campo-Prieto, Cancela e Rodríguez-Fuentes (2021), a maioria dos trabalhos avalia o uso e a aceitabilidade de plataformas imersivas ou a RVI como uma

ferramenta complementar nas áreas de saúde, reabilitação e envelhecimento ativo (Campo-Prieto et al., 2021).

Em um estudo inicial de validação da RVI para pessoas idosas de Lecavalier et al. (2018), foi avaliada uma tarefa de memória episódica em uma Loja Virtual. O estudo foi dividido em duas etapas: a primeira aborda a aplicabilidade da RVI medindo presença, motivação e sintomas de *cybersickness*; a segunda investigou as correlações entre o desempenho na tarefa de RVI e em uma tarefa de memória tradicional. Os resultados mostraram alta sensação de presença e motivação de pessoas idosas com a RVI quando comparado com a tarefa tradicional, e poucos sintomas de *cybersickness*. O desempenho da memória na tarefa de RVI também foi positivamente correlacionado com o desempenho em uma tarefa de memória tradicional, indicando que a aplicação da Loja Virtual é uma tarefa válida para avaliar e treinar a memória episódica em pessoas idosas (Lecavalier et al., 2018).

O estudo de Huang (2020) avaliou o efeito do jogo Fruit Ninja na RVI nas funções executivas, incluindo inibição, troca de tarefas e memória de trabalho. O treinamento em 4 semanas foi comparado à mesma tarefa na RV não-imersiva. Os resultados revelaram um efeito significativo nos testes de Stroop e Trail Making no uso da RVI. Achados secundários indicaram que uma maior sensação de presença na RVI pode contribuir para melhorias cognitivas em pessoas idosas (Huang, 2020).

Estudo de funções motoras são de interesse da área de reabilitação, tanto para membros superiores, quanto para marcha e equilíbrio que, em declínio, tornam-se as principais causas de quedas em pessoas idosas (Seidler et al., 2010). Em estudo recente, Kim, Darakjian e Finley (2017) avaliaram a segurança do HMD para caminhadas mais longas no ambiente imersivo para pessoas idosas e indivíduos com doença de Parkinson. Os participantes caminharam por 20 minutos enquanto visualizavam uma cena virtual da cidade e foram avaliados quanto aos efeitos adversos de *cybersickness*, medidas de estresse e de equilíbrio por meio do Mini-BESTest. Os resultados mostram que não houve mudanças significativas de *cybersickness* ou nas medidas de equilíbrio estático e dinâmico após a exposição ao ambiente virtual. E que as medidas de estresse diminuíram nos grupos. Esse estudo indica que pessoas idosas e indivíduos com doença de Parkinson são capazes de usar com sucesso a RVI durante a caminhada sem efeitos adversos. Isso fornece evidências que apoiam com segurança o uso da RVI para treinamento de marcha nessas populações (Kim et al., 2017).

2.6 Avaliação do esforço cognitivo em pessoas idosas

O esforço cognitivo é cada vez mais reconhecido como importante determinante na compreensão do desempenho em testes cognitivos e atividades da vida diária. É uma medida da quantidade de esforço físico e mental que um pessoa coloca em uma tarefa e pode ser medido por meio de autorrelato ou de medidas fisiológicas (Devos et al., 2020). É descrito como um produto das demandas mentais e das capacidades cognitivas da pessoa para realizar uma tarefa e que impacta na aprendizagem e no desempenho (McKendrick et al., 2019; Shadpour et al., 2023; Wickens, 2008; Young et al., 2015). É também determinado por vários fatores, como a natureza da tarefa, a habilidade e o nível de atenção do indivíduo e o contexto ambiental em que o desempenho ocorre (Wickens, 2008; Young et al., 2015). Segundo Young et al. (2015) refere-se à "quantidade de recursos de atenção necessários para atender aos critérios de desempenho objetivos e subjetivos, que podem ser influenciados pelas demandas da tarefa, pelo contexto externo e pelas experiências passadas".

O conceito de esforço cognitivo, no entanto, pode ser explicado por diversas teorias, incluindo memória de trabalho, teorias cognitivas e de atenção, contudo, o que é comum a todos esses modelos é a noção de que os recursos mentais são limitados, mas não são fixos (Dehais et al., 2020; McKendrick et al., 2019; Ranchet et al., 2017; Wickens, 2002). Neste sentido, à medida que envelhecemos, pode haver uma diminuição dos recursos mentais e quando a quantidade de esforço mental necessária para executar uma tarefa é menor que a quantidade de recursos mentais disponíveis, a tarefa será executada com precisão. Contudo, se o esforço mental necessário para a tarefa for maior do que os recursos mentais disponíveis, o desempenho da tarefa será prejudicado (Ranchet et al., 2017).

Estudos que avaliam MT e funções executivas sugerem que pessoas idosas têm um desempenho pior do que os adultos jovens quando a demanda da tarefa é elevada, mas o seu desempenho é semelhante quando a demanda da tarefa é baixa (Shadpour et al., 2023). Ao avaliar o desempenho destes testes por meio da atividade cortical no CPF é verificado uma lateralização à esquerda em adultos jovens, enquanto em pessoas idosas, a ativação aumenta ou torna-se bilateral. Aparentemente, o recrutamento pré-frontal bilateral de pessoas idosas pode beneficiar o desempenho da memória de trabalho, pois compensa a eficiência reduzida nas regiões frontais (Cabeza et al., 2002; Causse et al., 2019; Toepper et al., 2014).

Essa ativação compensatória relacionada a idade, pode ser eficiente em níveis mais baixos de dificuldade da tarefa. À medida que as exigências da tarefa aumentam, um limite máximo de recursos pode ser alcançado, levando a um processamento insuficiente e a uma

diminuição da ativação das áreas pré-frontais do cérebro. Isso reflete em uma sobrecarga da memória de trabalho e restringe os recursos neurais em pessoas idosas e impacta o desempenho da tarefa comparado aos adultos jovens (Causse et al., 2019; Reuter-Lorenz & Cappell, 2008; Toepper et al., 2014). Indivíduos mais jovens, por outro lado, mostram maior ativação ou bilateralidade apenas em tarefas de alta demanda, indicando um recrutamento compensatório de recursos neurais semelhante às pessoas idosas em tarefas de baixa demanda (Toepper et al., 2014). Quando as demandas das tarefas aumentam, a quantidade de recursos de memória de trabalho necessários também aumenta, resultando em um aumento do esforço cognitivo. A interação eficiente entre os recursos da memória de trabalho e da memória de longo prazo é necessária para que os indivíduos gerenciem com eficácia as demandas cognitivas de tarefas complexas (Shadpour et al., 2023). Isto sugere que o esforço cognitivo excessivo pode ser causado por um uso ineficiente dos recursos cerebrais e pode ser potencialmente um sinal de comprometimento cognitivo (Ranchet et al., 2017).

A avaliação do esforço cognitivo tem diversas aplicações que incluem melhoria da aprendizagem e do desenvolvimento de habilidades, o aumento do desempenho de tarefas que exigem atenção focada, como a aviação e a cirurgias, e na investigação se videogames comerciais podem evitar o declínio cognitivo em pessoas idosas (Shadpour et al., 2023). Estudos anteriores demonstraram que a medição do esforço cognitivo utilizando eletroencefalografia (EEG) pode ser integrada em um sistema de circuito fechado para avaliar índices neurais de estados cognitivos e prever o desempenho de tarefas (Berka et al., 2004, 2007; Halbig & Latoschik, 2021; Lelis-Torres et al., 2017; Tremmel et al., 2019). O grau de recursos mentais necessários para realizar uma tarefa está associado à fase de aprendizagem. Ao comparar a execução de tarefas, observa-se maior esforço mental (*workload*) na fase inicial de aprendizagem, enquanto a aprendizagem avançada requer menor *workload* (Lelis-Torres et al., 2017).

Nossa abordagem propôs o uso de índices baseados em EEG (EEG - índice de engajamento e EEG - índice de *workload*) para identificar padrões de estados cognitivos, como atenção, engajamento e *workload* enquanto aprende e executa tarefas de orientação visuoespacial e espacial em ambientes do mundo real e na RVI. O EEG - índice de envolvimento reflete os recursos perceptivos enquanto coleta informações do ambiente, demandas visuais e recursos de atenção. Ao mesmo tempo, o EEG - índice de *workload* mede processos cognitivos que envolvem carga de memória de trabalho, integração de informações e resolução de problemas (Berka et al., 2007; Lelis-Torres et al., 2017; Rabbi et al., 2012).

Partindo do conceito de que a nossa capacidade atencional é limitada, o desempenho diminui quando as exigências da tarefa excedem a capacidade disponível ou quando os recursos cognitivos disponíveis são alocados para outras atividades mentais. É que os recursos mentais são limitados e estão relacionados a diferenças individuais na MT, tempo de reação de atenção e acuidade perceptual, que definem mudanças nos estados mentais (McKendrick et al., 2019).

3 OBJETIVOS E HIPÓTESES

3.1 Objetivo geral

Investigar o efeito do treinamento cognitivo-motor em uma realidade virtual imersiva para pessoas idosas ativas por meio de parâmetros comportamentais e eletrofisiológicos.

3.2 Objetivos específicos

- Comparar o desempenho da memória de trabalho visuoespacial entre pessoas idosas que foram submetidas ao treinamento em realidade virtual imersiva e pessoas idosas que não foram submetidas ao treinamento.
- Comparar o desempenho na aprendizagem e memória espacial no ambiente imersivo entre pessoas idosas que foram submetidas ao treinamento em realidade virtual imersiva e pessoas idosas que não foram submetidas ao treinamento.
- Comparar a destreza manual entre pessoas idosas que foram submetidas ao treinamento em realidade virtual imersiva e pessoas idosas que não foram submetidas ao treinamento.
- Comparar o esforço cognitivo relacionado à percepção e memória de trabalho entre pessoas idosas que foram submetidas ao treinamento em realidade virtual imersiva e pessoas idosas que não foram submetidas ao treinamento.
- Avaliar de forma qualitativa e quantitativa a experiência do usuário após exposição ao treinamento na realidade virtual imersiva pelas pessoas idosas.

3.3 Hipóteses

- O grupo de pessoas idosas submetido ao treinamento na realidade virtual imersiva apresentará melhor desempenho na avaliação de memória de trabalho visuoespacial quando comparado ao grupo controle.
- O grupo de pessoas idosas submetido ao treinamento na realidade virtual imersiva apresentará melhor desempenho na tarefa de aprendizagem e memória espacial quando comparado ao grupo controle no ambiente imersivo.

- O grupo de pessoas idosas submetido ao treinamento na realidade virtual imersiva apresentará melhor desempenho na tarefa de destreza manual quando comparado ao grupo controle.
- O grupo de pessoas idosas submetido ao treinamento na realidade virtual imersiva apresentará menor esforço cognitivo quando comparado ao grupo controle.
- A maioria das pessoas idosas no grupo de treinamento irá relatar uma experiência positiva após a exposição à realidade virtual imersiva.

4 MÉTODO

4.1 Amostra

Para convidar as pessoas idosas a participar da pesquisa, foi realizada uma palestra de sensibilização para o público atendido pelo Programa de Extensão Envelhecimento Ativo (EEFFTO/UFMG). A partir dessa palestra, houve a divulgação, via *WhatsApp*, de um link para cadastro dos possíveis interessados em participar. Neste estudo, com uma amostra obtida por conveniência, houve 48 adesões espontâneas, no entanto, compareceram para a avaliação de elegibilidade da amostra 37 pessoas idosas com idade entre 54 e 84 anos. A média de idade e desvio padrão da amostra inicial foi de $67,73 \pm 6,70$ anos, sendo 31 do sexo feminino e 6 do sexo masculino.

A pontuação no Mini-Exame do Estado Mental (MEEM) foi considerada para a elegibilidade da amostra, como também, a Escala Geriátrica de Depressão. Foram incluídos participantes que tinham visão e audição normal ou corrigida e que praticavam atividade física baixa ou moderada regularmente (Escala Baecke). Um questionário estruturado foi aplicado para caracterizar os aspectos sociodemográficos, aspectos clínicos e tecnológicos (hábitos de uso). Foram excluídas da amostra duas voluntárias por depressão grave, uma voluntária, de 84 anos, com cardiopatia grave e labirintites e outras três por desistência.

Participaram da avaliação cognitiva e motora de pré-teste, 31 voluntários, sendo que três voluntárias foram excluídas, após apresentarem tontura e enjoos (*cybersickness*) graves na utilização da realidade virtual imersiva (RVI). Os dados de uma participante foram excluídos, pois ela não finalizou a última etapa do pós-teste por razões pessoais. A amostra final contou com 27 voluntários entre 54 e 82 anos, com média de idade e desvio padrão de $67,52 \pm 6,70$ anos, sendo 22 do sexo feminino e 5 do sexo masculino.

Apesar de termos trabalhado com uma amostra por conveniência, ao compararmos o tamanho amostral desta pesquisa com estudos de revisão sistemática encontramos valores próximos ao de nossa amostra. Nesses estudos, que utilizaram o treinamento cognitivo em RVI com pessoas idosas institucionalizadas e com comprometimento cognitivo leve, (Buele et al., 2023; Dermody et al., 2020) foi possível verificar uma média amostral de $M = 25 \pm 11$ participantes por estudo.

4.2 Cuidados éticos

O estudo foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais, CAAE 47626821.0.0000.5149 (Anexo 1, pág. 155). Todos os voluntários assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido contendo informações sobre o procedimento, os riscos e os benefícios associados à participação (Apêndice 1, pág. 118).

4.3 Instrumentos

4.3.1 Instrumentos para caracterização da amostra

Mini-Exame do Estado Mental (MEEM) - Este é um instrumento de rastreio cognitivo aplicado sob forma de entrevista, composto pela avaliação de funções cognitivas em cinco domínios: orientação no tempo e espaço (10 pontos), memória imediata (3 pontos), atenção e cálculo (5 pontos), evocação (3 pontos) e linguagem (9 pontos). A pontuação varia entre 0 e 30 (Folstein et al., 1975) e o baixo desempenho nos testes pode ser indicativo para um possível déficit cognitivo, (Anexo 2, pág. 158). Para a elegibilidade da amostra neste estudo foram consideradas a idade e a escolaridade com os pontos de corte de 18 para ensino básico/médio e 26 para alta escolaridade (Bertolucci et al., 1994).

Escala de Depressão Geriátrica (GDS) - A Escala de Depressão Geriátrica aplicada sobre forma de entrevista como critério de elegibilidade, é um dos instrumentos mais utilizados para o rastreamento de depressão em pessoas idosas. Neste estudo, foi utilizada a versão brasileira reduzida da escala (GDS-15) validada por Almeida e Almeida (1999). Este instrumento é composto por 15 itens (ver Anexo 3, pág. 160), com perguntas fáceis de serem entendidas e com pequena variação nas possibilidades de respostas (sim ou não). Possui uma variação de zero (ausência de sintomas depressivos) a 15 pontos (pontuação máxima de sintomas depressivos). Escore de corte > 5 , para determinar a presença de sintomas depressivos em pessoas idosas e considerado para exclusão dos voluntários no treinamento (Almeida & Almeida, 1999).

Questionário Baecke Modificado para Idosos (QBMI) – O questionário é aplicado sob forma de entrevista e composto de 16 questões que abrangem os três domínios das atividades físicas habituais realizadas por pessoas idosas (domésticas, esportivas e tempo livre), tendo como

referência os últimos 12 meses (ver Anexo 4, pág. 161). O somatório das pontuações específicas atribuídas às questões é agrupado em cada uma das seções do questionário, onde são estabelecidos escores equivalentes às atividades físicas domésticas, às atividades físicas esportivas e às atividades físicas de tempo livre. Para elegibilidade da amostra foi considerado a referência de atividade física baixa ou moderada. Referência para de nível de atividade física: baixo $\leq 9,1$; moderado $9,12 - 16,17$ (ponto de corte); e alto $\geq 16,18$ (Ueno, 2013).

Questionário sociodemográfico, clínico e tecnológico (QSCT) - A caracterização do perfil dos voluntários foi registrada por meio de um questionário estruturado com questões que abrangem aspectos sociodemográficos (idade, escolaridade, estado civil, ocupação), aspectos clínicos (comorbidades, uso de medicamentos, qualidade visual e auditiva, uso de álcool ou outras drogas, sono etc.), além de uma caracterização do uso rotineiro de tecnologias (dispositivos, frequências, hábitos), Apêndice 2, pág. 120.

4.3.2 Instrumento de avaliação dos parâmetros cognitivos

Teste dos Blocos de Corsi (TBC) – O teste é utilizado para avaliar a MTV, mais especificamente, o componente não-verbal da MT. O instrumento consiste em um tabuleiro com nove blocos (3 cm cúbicos cada), distribuídos irregularmente e numerados de 1 a 9 em uma das faces. Os números são visíveis somente ao examinador (Kessels et al., 2000), ver Figura 1A e 1B. O teste é aplicado em duas etapas, sequência direta e sequência inversa, as sequências são pré-determinadas, com 16 séries cada, sendo duas séries para cada extensão (*span*), (Anexo 5, pág. 163). A primeira etapa do teste se inicia a partir da indicação, por toque no bloco, de uma sequência direta de dois blocos. As sequências são crescentes e acrescidas de um bloco a cada duas séries de mesma extensão, até atingir um *span* de nove blocos. A cada sequência indicada, o voluntário é instruído a repetir a mesma sequência dos toques do avaliador. O participante deve acertar duas ou uma sequência de mesma extensão para dar continuidade ao teste. A primeira etapa é finalizada quando o voluntário erra na repetição duas sequências de mesmo *span* (Kessels et al., 2000).

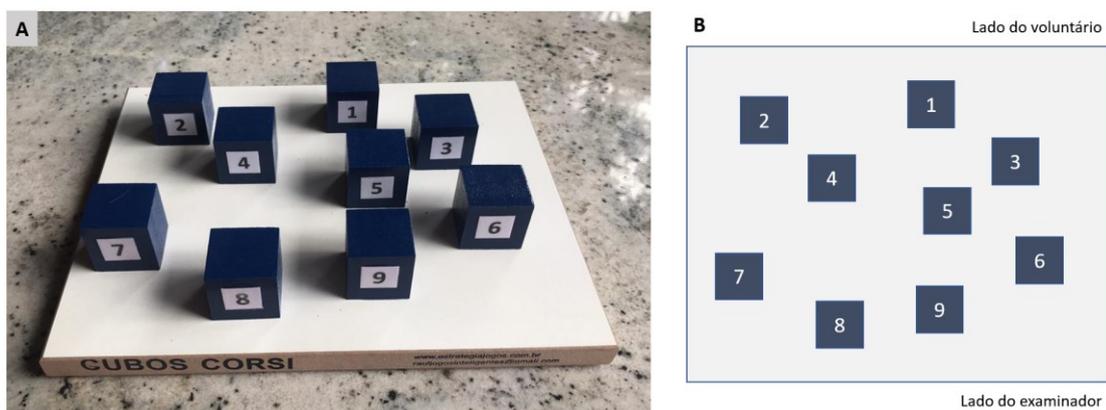


Figura 1. Teste dos Blocos de Corsi (TBC). **A.** Tabuleiro com nove blocos numerados de 1 a 9 e distribuídos de forma irregular sobre a superfície. **B.** Planta com a distribuição dos blocos.

Na ordem inversa, o examinador indica a sequência numérica de blocos pré-estabelecida. Em seguida, o voluntário deve repetir a sequência de toques na ordem inversa ao apresentado pelo examinador, isto é, começar pelo último bloco indicado até o primeiro. Como na ordem direta, o teste finaliza quando o voluntário errar na repetição de duas sequências inversas de mesmo *span*. Em ambas as ordens são registrados os acertos (total de sequências repetidas corretamente) e o *span* máximo alcançado (maior “extensão” de sequências reproduzidas corretamente). O escore total é igual ao número de acertos \times *span* alcançado (Kessels et al., 2000).

Teste virtual análogo ao Labirinto de Morris (LMv) - O Labirinto Aquático de Morris (LAM), Figura 2, é um paradigma comportamental padrão e foi descrito pela primeira vez para investigar a aprendizagem e memória espacial em roedores (Morris, 1984). O roedor é colocado numa piscina circular com uma plataforma de resgate submersa, que não pode ser vista pelo animal. Por meio de sessões de treino, em geral 4 tentativas por sessão, a cada roedor é dada a oportunidade de encontrar a plataforma e aprender a localizar a plataforma usando dicas extra labirinto (distais) com as quais formam coordenadas espaciais e um mapa cognitivo do ambiente. Existem várias condições de treino, elaboradas de acordo com o objetivo, como avaliar a memória espacial de longo prazo, a memória espacial de curto prazo ou a memória visual onde, nesta última, a plataforma é colocada no labirinto de forma visível. Na modalidade para avaliar a memória espacial de longo prazo, o objetivo do animal é escapar do estímulo aversivo, no caso a água à 23°C e alcançar uma plataforma submersa o mais rápido possível. Para isso, o animal precisa aprender e memorizar as pistas visuais distais no ambiente onde se encontra o labirinto (piscina). O desempenho é medido em latência (s), que é o tempo que o

roedor leva para encontrar a plataforma e pela distância percorrida (cm) pelo animal do ponto de partida na borda da piscina até o alvo (plataforma). Todas as tentativas são registradas por uma câmera colocada no teto da sala na altura central do labirinto. Os dados mostram que os ratos possuem um mecanismo neural eficiente para explorar memórias espaciais, rapidamente estabelecidas através da construção de mapas cognitivos que representam o conhecimento sobre o meio ambiente (Morris, 1984; Vorhees & Williams, 2006). A tarefa tornou-se uma das avaliações comportamentais, mais utilizadas em neurociências, para o estudo das bases neurobiológicas de aspectos cognitivos espaciais e vem sendo aplicada para estudar como o envelhecimento, o abuso de drogas e uma série de fatores podem influenciar as funções de aprendizado e memória espacial (Vorhees & Williams, 2006).

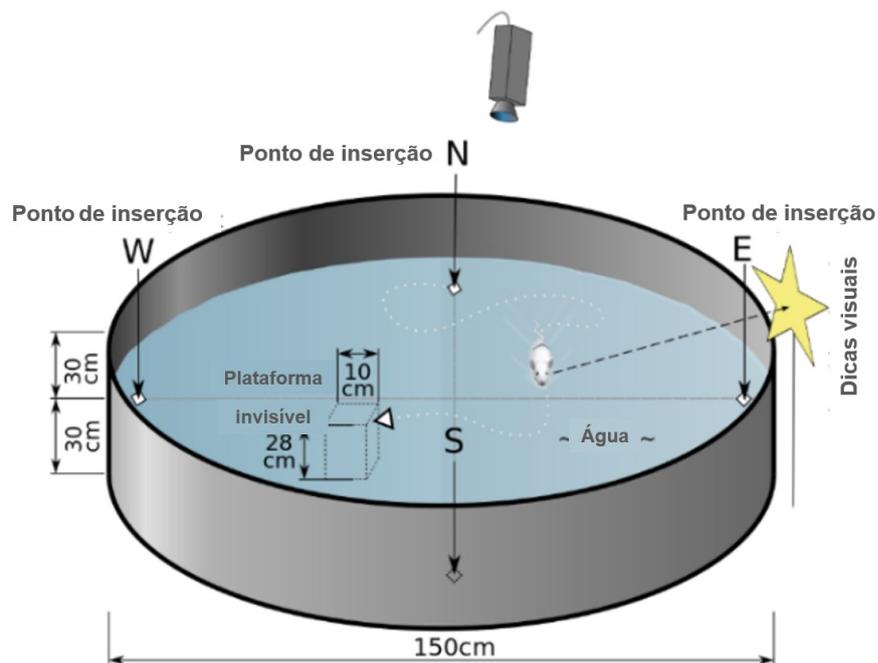


Figura 2. Desenho adaptado do Labirinto Aquático de Morris (LAM) para ratos. Dimensões podem variar. Fonte: en.wikipedia.org/wiki/Morris_water_navigation_task

O paradigma virtual do LAM foi adaptado e desenvolvido para a RVI no software gratuito para jogos, Unity (Unity Technologies, San Francisco, CA; unity.com) pela equipe do laboratório VerLab (*Computer Vision and Robotics*, do DCC/UFMG, www.verlab.dcc.ufmg.br). A proposta da versão virtual foi desenvolver o LAM em uma modalidade para a RVI ajustada para o usuário idoso, com o objetivo de realizar uma avaliação

dos processos de aprendizagem e memória espacial, em um contexto mais verossímil ao ser humano, isto é, uma praça no meio de uma cidade. Assim, o Labirinto de Morris Virtual (LMv) desenvolvido foi uma praça cercada por construções similares de tijolo aparente. Possui um gramado circular cercado por árvores e arbustos em sua circunferência, Figura 3. O diâmetro da circunferência da praça mede 140 unidades virtuais (uv; 1 uv representa 1 metro).



Figura 3. Vista do limite da circunferência da praça. Árvores e arbustos delimitam a área de teste.

Foram elaboradas três fases para a avaliação no LMv: **aquisição**, estratégia de navegação espacial com pistas distais, **transferência**, teste de formação do mapa cognitivo e **controle**, estratégia de busca visual com pista proximal. As instruções foram passadas aos voluntários por meio de uma gravação em áudio com voz masculina (Apêndice 3, pág. 122).

A **fase de aquisição** consistiu em utilizar pistas distais para encontrar uma esfera laranja num buraco fixo de 14 uv de diâmetro (1/10 do diâmetro da praça) no gramado da praça. Para isso, o voluntário precisou recorrer a pistas distais, localizadas fora da praça (caixa d'água, roda gigante, construção representando o Centro Georges Pompidou e uma montanha), como referências extra praça para navegar, Figura 4 Esta estratégia de navegação espacial é denominada *alocêntrica* (referência objeto-para-objeto ou mapeamento cognitivo) e, com o envelhecimento, essa estratégia se torna menos eficiente (Lester et al., 2017). Em cada tentativa, o participante inicia de frente para a praça, sendo oito tentativas por sessão, com duração máxima de até 60 segundos cada. O ponto de partida do indivíduo é diferente e pré-determinado. As partidas acontecem de 4 pontos distintos da praça configurando quatro

quadrantes (SE, SW, NE e NW) e o buraco com a esfera laranja se encontra fixo no quadrante alvo = NE. As distâncias de cada ponto de partida até o centro do buraco, em linha reta, equivalem a: A = 100 uv, B = 90 uv, C = 40 uv e D = 90 uv. Caso o participante não encontre o buraco no tempo estipulado para cada tentativa, ele é conduzido ao buraco e tem 5 segundos para olhar em volta e se localizar. O desempenho é expresso em tempo de movimento (s).

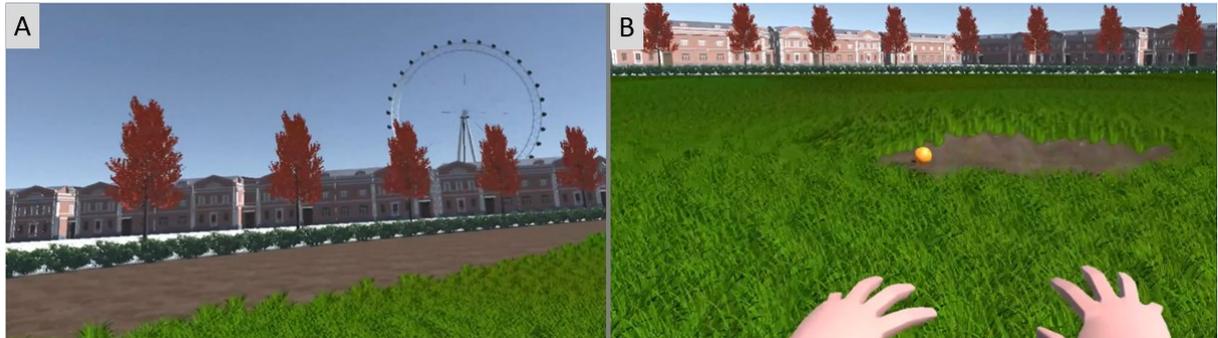


Figura 4. Fase de aquisição: pistas distais no LMv. A. Imagem apresenta uma roda gigante extra praça usada, portanto, como pista distal. B. Visão da esfera laranja no buraco (alvo). O alvo é fixo no mesmo quadrante em todas as tentativas nas fases de aquisição e transferência.

Após a fase de aquisição, ocorre a **fase de transferência**, na qual o participante tem uma única tentativa para localizar a esfera laranja no buraco, que permanece no mesmo quadrante da fase anterior. Dos quatro marcos ao redor da praça (dicas distais), dois são subtraídos. O participante tem apenas 60 segundos para encontrar a esfera partindo do ponto A. Assim, é possível avaliar se o mapa mental foi formado. O desempenho é expresso em tempo de movimento (s).

Na última fase, nomeada aqui como **controle**, o voluntário precisa alcançar o mais rápido possível uma fonte num quadrante da praça, onde se encontra uma esfera laranja, Figura 5. Não há nenhum marco distal, dica externa à praça. Nessa etapa, o voluntário precisa utilizar da estratégia egocêntrica (referência sujeito-para-objeto ou estímulo-resposta) para navegar. Sabe-se que com o envelhecimento, o idoso tende a depender mais dessa estratégia para navegar (Lester et al., 2017). Isso exige atenção e controle visuomotor, mas nenhuma memória para a localização do alvo (fonte). O desempenho é expresso em tempo de movimento (s) e o participante têm 60 segundos para chegar até a fonte, são oito tentativas partindo de quatro posições previamente definidas. Um artigo avaliando dentre outras, a usabilidade dessa tarefa, foi elaborado no período de doutoramento (Apêndice 4, pág. 123).

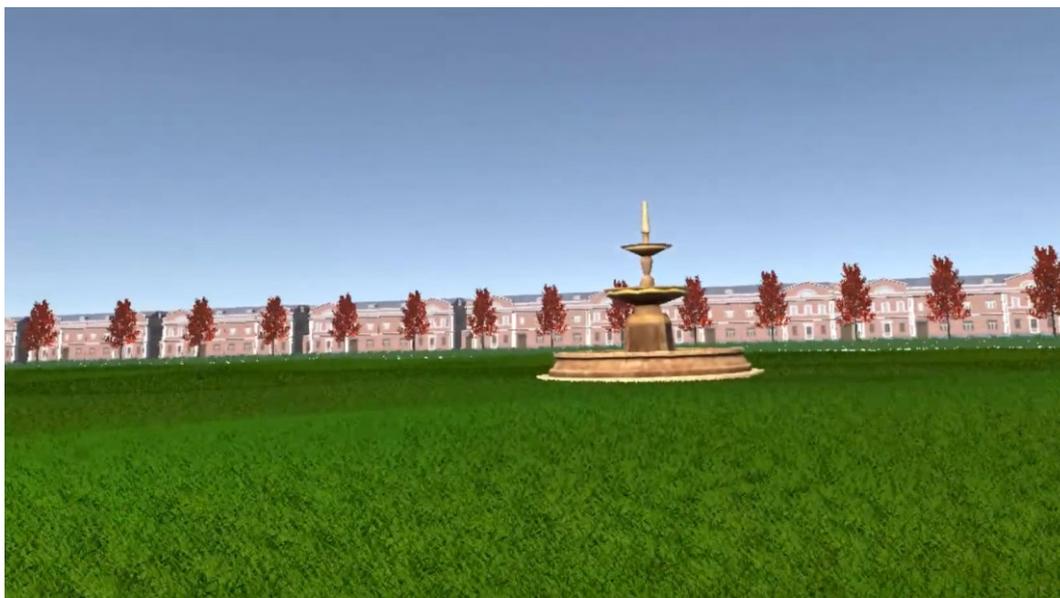


Figura 5. Fase controle usando pistas proximais no LMv. Fonte localizada num quadrante (alvo) pré-determinado da praça.

4.3.3 Instrumento de avaliação dos parâmetros motores

Grooved Pegboard Test (GPT) – Este teste é aplicado para avaliar a destreza manual, além de requerer uma coordenação visuomotora mais complexa (Bryden & Roy, 2005). É um instrumento fabricado pela *Lafayette Instrument Company* e consiste em uma placa com uma superfície de 25 orifícios em forma de buraco de fechadura em orientações variadas, dispostos em uma matriz de 5×5 , Figura 6. No topo, encontra-se uma superfície côncava onde são colocados os pinos. A meta da tarefa consiste em encaixar 25 pinos em uma fechadura, um por vez, o mais rápido possível, em uma ordem prescrita e, na sequência, retirá-los, fazendo o caminho inverso, também o mais rápido possível. Primeiro, posicionando os pinos da esquerda para a direita, de cima para baixo, na placa com a mão dominante e depois retirando-os, na ordem inversa, o mais rápido possível. Essa sequência deve ser repetida com mão não-dominante. Os participantes também são cronometrados tanto para encaixar, quanto para retirar os 25 pinos, colocando-os de volta no receptáculo. A média de duas tentativas para cada mão e cada condição (colocar e retirar) é o desempenho expresso em tempo de resposta (TResp) em segundos.



Figura 6. *Grooved Pegboard Test (GPT).*

Fonte: <https://lafayetteevaluation.com/products/grooved-pegboard>

4.3.4 Instrumentos de avaliação dos parâmetros eletrofisiológicos

Equipamento de eletroencefalografia (EEG) - Foi utilizado o instrumento de EEG, B Alert X-10 (Advanced Brain Monitoring Inc., Carlsbad, CA, www.advancedbrainmonitoring.com), Figura 8A, para mensurar a atividade elétrica cortical durante o processamento cognitivo demandado pela tarefa (Berka et al., 2007). Este é um modelo de *headset* portátil, sem fio, não-invasivo, com 10 canais de eletrodos, sendo nove para o escalpo e um canal de eletrocardiograma. A colocação e posicionamento dos eletrodos na superfície do escalpo se deu em conformidade ao Sistema Internacional 10-20 (Jasper, 1958) e no B-Alert X-10 são consideradas as posições Fz, F3, F4, Cz, C3, C4, Pz, P3, P4, A1 e A2, Figura 7. Os eletrodos Fz, F3 e F4, correspondem à área pré-frontal, responsáveis pelas funções executivas e processos de planejamento. Na área central do escalpo, os eletrodos Cz, C3 e C4 compreendem os córtices motor e somatossensorial. Os eletrodos Pz, P3 e P4 correspondem à área parietal responsável pela integração sensorial e atencional. Os dois eletrodos de referência, A1 e A2, são posicionados no processo mastoide, projeção cônica localizada na parte posterior do osso temporal. Por fim, dois eletrodos, relacionados à mensuração da frequência cardíaca, são posicionados no ponto médio da clavícula direita e aproximadamente na extremidade esternal da 9ª costela do lado esquerdo.

A montagem dos eletrodos para registro dos sinais elétricos se deu de forma monopolar, representada pelo registro da diferença potencial entre cada eletrodo ativo e um eletrodo de referência (Hirsch & Brenner, 2010). As derivações bipolares que representam o registro da diferença potencial de dois eletrodos ativos (FzPOz, CzPOz, F3Cz, C3C4, FzC3), foram

acrescidas para se obter as classificações das métricas cognitivas e minimizar os possíveis artefatos (ruídos) gerados no registro dos sinais (Hirsch & Brenner, 2010). Os eletrodos foram conectados a um amplificador de sinais que coleta os sinais provenientes de cada canal (pares de eletrodos), converte do analógico para digital, codifica e formata para transmitir em uma frequência de rádio de 2,4 a 2,48 GHz em tempo real via Bluetooth para um *dungle* conectado à porta USB do notebook no qual foram armazenados e processados. A taxa de amostragem foi de 256 amostras/s para todos os canais. Para captar, processar e analisar os dados do EEG foi utilizado o software B-Alert (Advanced Brain Monitoring Inc., Carlsbad, CA), Figura 8B.

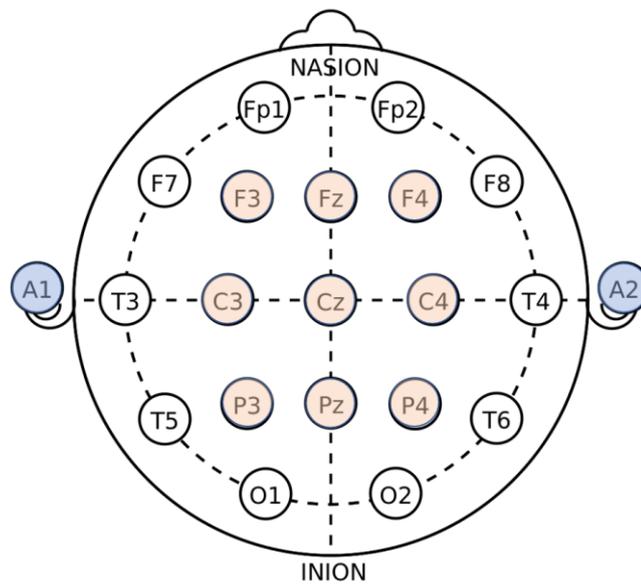


Figura 7. Sistema Internacional 10-20. Gráfico adaptado da distribuição de eletrodos no escalpo e marcação dos eletrodos do EEG B Alert X-10. Fonte: [en.wikipedia.org/wiki/10%E2%80%9320_system_\(EEG\)](http://en.wikipedia.org/wiki/10%E2%80%9320_system_(EEG)).



Figura 8. A. EEG B Alert X-10, com amplificador digital. B. Software B-Alert aquisição de sinais.

Tarefas de baseline do EEG – Foi necessária a realização de três tarefas no software B-Alert para aquisição de sinais para então, criar uma *baseline* das métricas cognitivas por perfil individualizado do EEG. Posteriormente, essas métricas foram usadas para o cálculo dos índices de EEG (índice de engajamento e índice de *workload*) que foram utilizados como medidas de esforço cognitivo do próprio sujeito (Berka et al., 2004; Johnson et al., 2011).

A primeira tarefa é a de vigilância de três escolhas (*3-Choice Vigilance Task*). O participante precisava pressionar rapidamente a tecla do computador correspondente a seta para esquerda (sim) ou para a direita (não), em resposta à apresentação de um de três estímulos diferentes: o triângulo correspondente a seta da esquerda (estímulo principal com ocorrência de 70%), o triângulo invertido e o losango correspondentes a seta da direita (estímulos secundários com ocorrência de 30% no total). O intervalo entre os estímulos variou entre 1,5 - 10 segundos, sendo menor no início (demanda de estado de alerta) e maior ao final (identificação de sonolência) e tem a duração de aproximadamente 2 min (Berka et al., 2007).

A segunda tarefa foi de vigilância psicomotora visual (*Visual Psychomotor Vigilance Task*), na qual o participante precisava pressionar a barra de espaço do teclado juntamente com o aparecimento de um estímulo visual (círculo vermelho). O intervalo entre os estímulos foi de 2 segundos durante toda a prática e a tarefa teve duração de 2 minutos. A terceira e última tarefa consistiu na vigilância psicomotora auditiva (*Auditory Psychomotor Vigilance Task*), o participante precisava manter os olhos fechados e pressionar a barra de espaço juntamente à apresentação de um estímulo sonoro. A frequência de apresentação do estímulo foi de 2 segundos durante toda prática e a tarefa teve duração de 2 minutos.

Ao todo, as tarefas de *baseline* demandaram cerca de 6 min. Análises de função discriminante e regressões lineares graduais ajustaram os dados da *baseline* para cada indivíduo e geraram as probabilidades dos participantes se encontrarem nos quatro estados cognitivos (sonolência, alto ou baixo engajamento e distração) (Berka et al., 2004; Johnson et al., 2011). Estas classificações serviram como medidas base para os cálculos das métricas cognitivas. Vale ressaltar que essas três tarefas cognitivas fazem parte dos procedimentos obrigatórios do software B-Alert para produção das métricas cognitivas do índice de engajamento e do índice de *workload*. Sendo assim, resultados comportamentais provenientes dessas tarefas não são extraídos para análise dos dados.

4.3.5 Dispositivos de visualização e interação na realidade virtual imersiva

Head Mounted Display (HMD) - A visualização das tarefas e cenários na RVI foram apresentadas por meio do HMD, Meta Quest 2 (www.meta.com/quest/products/quest-2). Projetado para oferecer leveza e conforto para qualquer tipo de usuário. O HMD possui visor LCD de troca rápida, com resolução de 1083×1920 por olho, densidade de pixels de 773 ppi, taxa de atualização 90Hz/120Hz, FOV (graus) de 90 horizontais e verticais. Com 6DoF (graus de liberdade de movimento), o HMD rastreia o movimento da cabeça e do corpo e depois os traduz em RV com precisão realista, sem precisar de sensores externos, Figura 9A. O par de controladores de toque são rastreadores que proporcionam a presença e movimento das duas mãos, dando a sensação de que as mãos virtuais são realmente do usuário. Os controles de toque apresentam botões de ação tradicionais e gatilhos analógicos que permitem agarrar e manipular os objetos com maior naturalidade Figura 9B. A visualização estereoscópica em 360 graus na perspectiva egocêntrica, através de tecnologia de rastreamento da posição da cabeça, possui expansor para utilização de óculos corretivos e permite um nível de imersão completa (*fully immersive*).

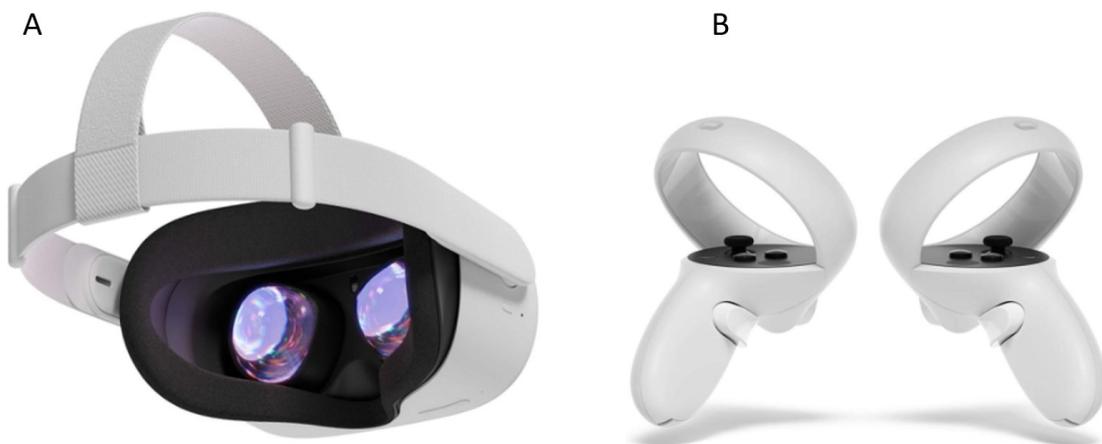


Figura 9. Dispositivos de RVI. **A.** HMD Meta Quest 2. **B.** Controles anatômicos para manipulação dos objetos na RVI. Fonte: <http://www.meta.com/quest/products/quest-2>.

4.4 Sistema de treinamento cognitivo e motor na realidade virtual imersiva

Systemic Lisbon Battery (SLB) - é uma plataforma de realidade virtual imersiva/*serious games* que consiste num ambiente polivalente para avaliação e treinamento cognitivo. A plataforma foi desenvolvida no software 3D Unity (Unity Technologies, San Francisco, CA; unity.com),

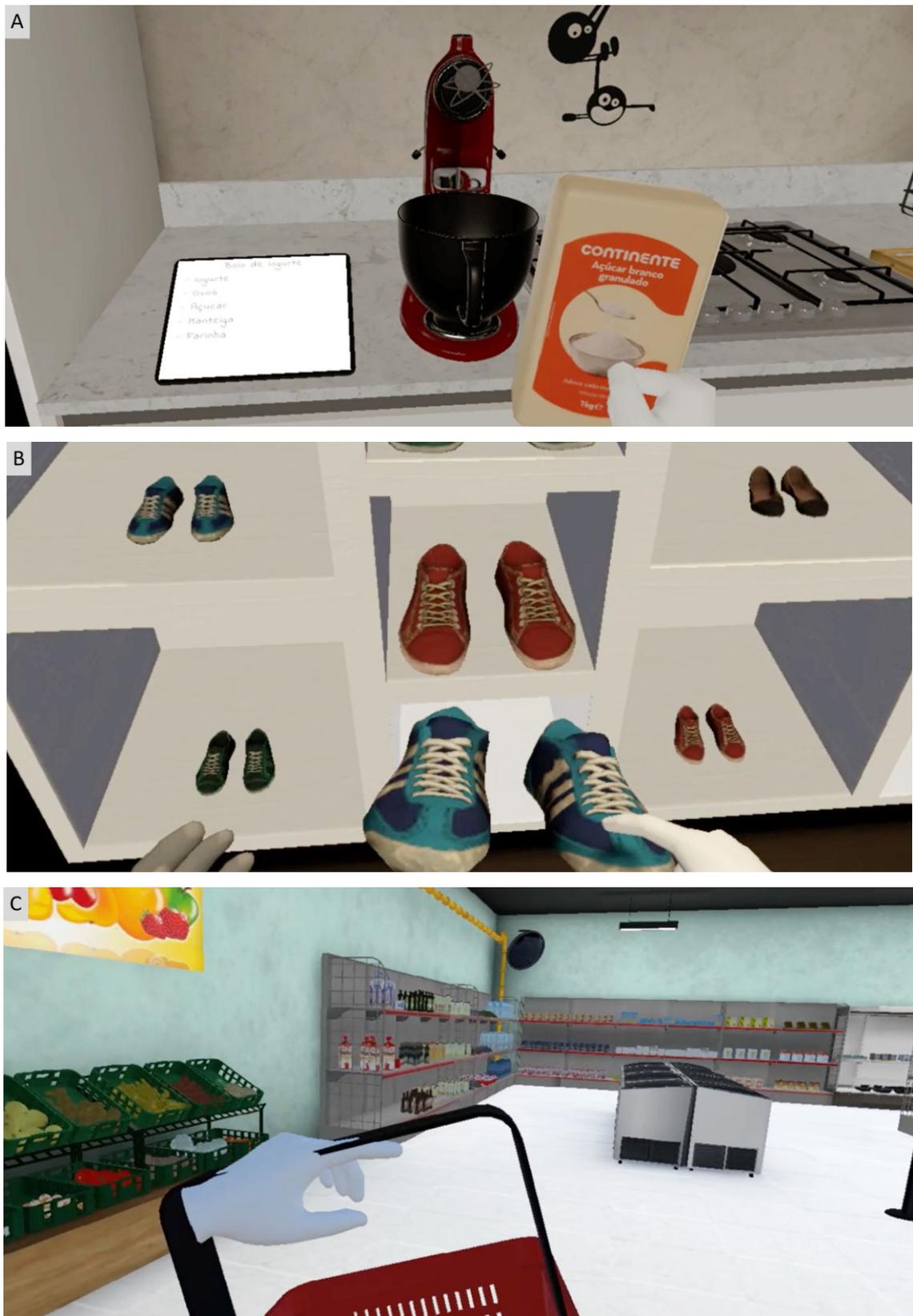


Figura 10. Cenários e atividades diárias na plataforma SLB. **A.** Tarefa da cozinha virtual para seguir uma receita. **B.** Tarefa de organização do armário de sapatos. **C.** Tarefa de localização de produtos e compras na mercearia.

versão em português, pelo laboratório HEI-Lab (*Human-Environment Interaction*, da Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias de Lisboa, Portugal, <http://hei-lab.ulusofona.pt>). Esta plataforma de treinamento foi validada em sua versão não-imersiva com pessoas idosas (Gamito et al., 2016, 2019, 2020) e será utilizado pela primeira vez na versão imersiva com essa amostra. Este ambiente imersivo consiste em uma cidade virtual composta por vários edifícios e espaços comerciais (supermercado, farmácia, galeria de arte), além de um apartamento modelado com quatro ambientes (quarto, banheiro, cozinha e sala) permitindo aos participantes se movimentarem livremente, agarrar e interagir com objetos para realizar atividades cotidianas específicas, como pode ser observado na Figura 10. As tarefas da vida diária foram projetadas para envolver diferentes funções cognitivas e motoras, como: memória de trabalho, atenção seletiva, orientação visuoespacial, busca visual, funções executivas, alcançar, agarrar, giros, além de movimentos amplos. O propósito específico de cada sessão foi determinado pelo seu objetivo de avaliação ou treinamento cognitivo.

4.5 Instrumentos para a avaliação da experiência do usuário

Questionário da Experiência do Usuário (QEU) – É um instrumento quantitativo que consiste em uma avaliação feita pelo próprio usuário e permite uma impressão abrangente da experiência na interface (UX) (Schrepp et al., 2017). Os participantes expressam seus sentimentos, impressões e atitudes que surgem ao interagir com as interfaces de uma forma simples e rápida, por meio de um formulário estruturado em escalas de sete pontos distribuídas em pares opostos relativos a características do produto/interface. É composto por 26 itens agrupados em 6 escalas (Atratividade, Clareza, Eficiência, Controle, Motivação e Inovação). Cada escala representa um aspecto distinto da qualidade UX. **Atratividade:** Impressão geral do produto. Os usuários gostam ou não gostam? Itens: desagradável/agradável, bom/ruim, desinteressante/atrativo, incomodo/cômodo, atraente/feio, amigável/hostil. **Clareza:** É fácil se familiarizar com o produto? Itens: incompreensível/compreensível, fácil de aprender/difícil de aprender, complicado/fácil, claro/confuso. **Eficiência:** Os usuários conseguem resolver suas tarefas com o produto sem esforço desnecessário? Itens: rápido/lento, ineficiente/eficiente, pouco prático/prático, organizado/desordenado. **Controle:** O usuário se sente no controle da interação? Itens: imprevisível/previsível, obstrutivo/conduzidor, seguro/inseguro, atende às expectativas/não atende às expectativas. **Motivação:** É excitante e motivador usar o produto? Itens: valioso/sem valor, chato/excitante, desinteressante/interessante, motivante/desmotivante. **Inovação:** O produto é inovador e criativo? Itens: criativo/sem criatividade,

original/convencional, usual/vanguardista, conservador/inovador. O QEU que foi preenchido pelos participantes que foram submetidos ao treinamento na RVI e está disponível no Anexo 6, pág. 164.

Questionário qualitativo sobre a experiência e usabilidade do treinamento – Entrevista semiestruturada com objetivo de avaliar subjetivamente o treinamento cognitivo e motor na RVI pelo usuário idoso. As questões buscaram entender os principais motivadores e expectativas na participação do treinamento pelas pessoas idosas, impressões dos cenários e usabilidade do sistema, tipo de tarefas apresentadas e desempenho alcançado, pontos positivos e negativos durante o treinamento, percepção na interação com o ambiente imersivo, utilizando controles e o HMD, percepção de melhora cognitiva e/ou motora ao final do treinamento, duração do treinamento e sessões, sugestões de melhoria e possível uso futuro (Apêndice 5, pág. 144).

4.6 Delineamento

Este é um estudo quase-experimental com avaliações pré e pós-intervenção. Foram realizadas comparações entre o grupo de treinamento (GT) e o grupo controle (GC), a fim de avaliar o efeito do treinamento cognitivo e motor na realidade virtual imersiva na plataforma SLB. Foi um delineamento fatorial 2 x 2, onde o fator tipo de intervenção foi manipulado entre sujeitos e o fator momento da avaliação foi manipulado intra-sujeitos. A variável independente manipulada foi o tipo de intervenção e as variáveis dependentes foram os desempenhos dos participantes nos testes de memória de trabalho visuoespacial, destreza manual, aprendizagem e memória espacial, além de parâmetros eletrofisiológicos para avaliar o esforço cognitivo mental pré e pós-intervenção.

A intervenção teve duração de 5 semanas, sendo que o GT cognitivo e motor na RVI foi submetido a duas sessões semanais individuais de 30 minutos cada, num total equivalente a 10 sessões na plataforma SLB. No mesmo período, foi enviado individualmente via WhatsApp para o GC, dois vídeos semanais de aproximadamente \pm 20 min de duração, um total de 10 vídeos provenientes do YouTube, com temáticas variadas que abordavam o envelhecimento saudável, Figura 11. A parte do treinamento imersivo foi baseado no protocolo da versão não-imersiva do SLB de treinamento com pessoas idosas (Gamito et al., 2019, 2020).

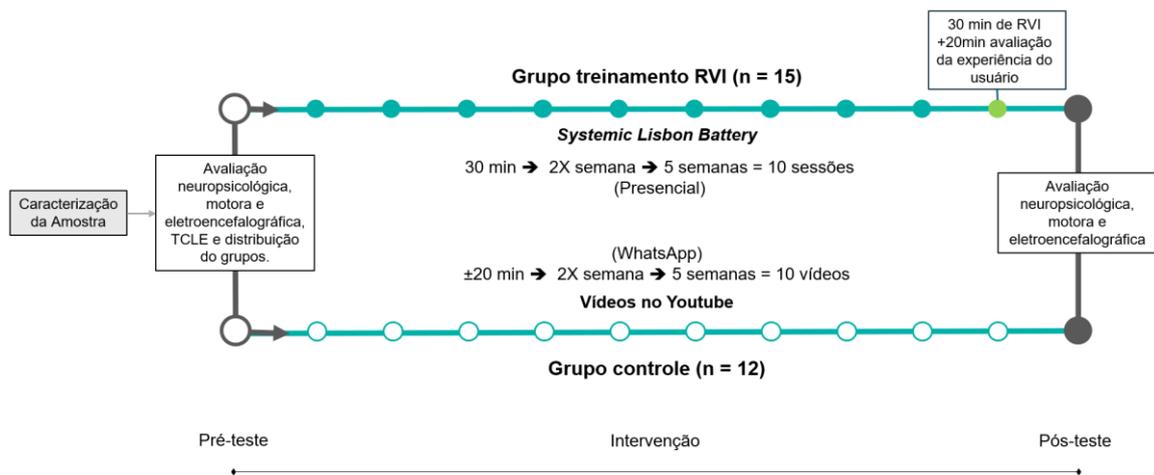


Figura 11. Desenho experimental, pré e pós-intervenção com sessões para avaliações neuropsicológicas e motoras e registro eletrofisiológico das tarefas.

4.7 Procedimentos

Os participantes foram recrutados com o apoio do Programa de Envelhecimento Ativo (EEFFTO/UFMG), a partir de uma palestra on-line de sensibilização com as pessoas idosas, como também por meio de divulgação da pesquisa nas turmas de atividades do programa de forma presencial e pelo WhatsApp. A etapa de caracterização da amostra foi executada na modalidade mutirão e com a participação de profissionais da área de saúde (educadora física, fonoaudiologia, psicóloga e terapeuta ocupacional). Após a triagem, participantes que apresentaram os critérios necessários para fazer parte da amostra do estudo, leram e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, que resalta os procedimentos e objetivos da pesquisa. As coletas de dados aconteceram nas salas do Grupo de Estudos em Desenvolvimento e Aprendizagem Motora (GEDAM), na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO) da UFMG.

4.7.1 Avaliação do pré-teste

A coleta dos dados de avaliação do pré-teste foi agendada de acordo com a disponibilidade de cada participante e foi realizada de forma individualizada em sessões com duração aproximada de 1h30 (Figura 12). Ao chegar para a avaliação, o participante foi acomodado em uma cadeira para a colocação e posicionamento dos eletrodos do EEG no escalpo seguindo o sistema 10-20 (Jasper, 1958). Também, quatro eletrodos embebidos em gel

condutor, foram fixados no processo mastoide em ambos os lados do crânio (eletrodos de referência), um terceiro no ponto médio da clavícula direita e um quarto aproximadamente na extremidade esternal da 9ª costela do lado esquerdo. Após a montagem do EEG no participante, o software B-Alert foi ativado e o amplificador *wireless* ligado e sincronizado ao computador via entrada USB. Em seguida, foi feito o teste de impedância dos eletrodos por meio do software de aquisição. Um valor abaixo de 50kΩ (quilo ohms) de impedância foi adotado, pois indica que 95% dos segundos capturados das métricas cognitivas estão com boa qualidade (Advanced Brain Monitoring, 2009). Após alcançar um valor baixo de impedância em todos os eletrodos, o participante foi posicionado confortavelmente em frente ao computador para realizar as três tarefas de *baseline*, para a criação do perfil cognitivo individualizado de cada participante através do software de aquisição. O participante foi informado de que deveria evitar movimentos bruscos com a cabeça e fazer comentários acerca da tarefa a fim de evitar possíveis interferências no sinal registrado pelo EEG. A execução das tarefas de *baseline* teve duração aproximada de 6 min.

Após as tarefas de *baseline*, os participantes iniciaram as avaliações de desempenho cognitivo (TBC) e motor (GPT), as tarefas foram aleatorizadas entre sujeitos. As instruções foram passadas para o participante de forma padronizada e dúvidas foram sanadas antes de cada tarefa. Todas as tarefas e etapas só iniciavam após a ordem verbal “preparar, já” feita pelo pesquisador responsável pelo registro do EEG, juntamente com o acionar do cronômetro.

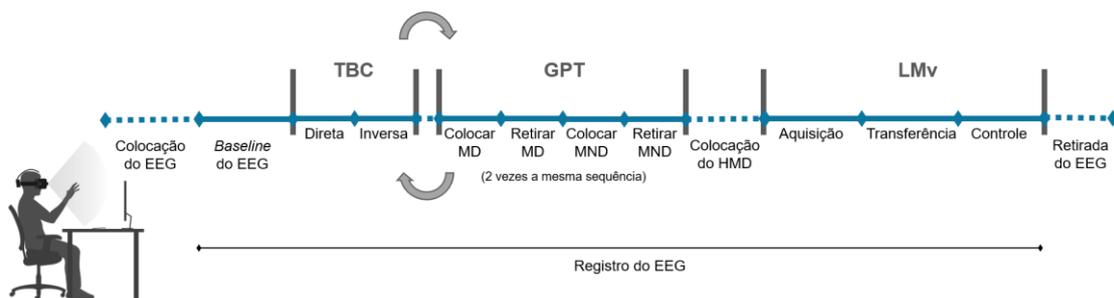


Figura 12. Procedimento pré e pós-teste. TBC = Teste dos Blocos de Corsi, GPT = *Grooved Pegboard Teste*, LMv = Labirinto de Morris Virtual, EEG = Eletroencefalograma, HMD = *Head Mounted Display*.

Na tarefa do TBC, o examinador começava sempre com a instrução da ordem, demonstrando a sequência direta e o ritmo de toque em dois blocos quaisquer. O teste iniciava com a apresentação pelo examinador de uma série direta de dois blocos pré-determinada que, em seguida, deveria ser repetida pelo participante na mesma sequência, isto é, do primeiro até

o último bloco. A cada duas séries de mesmo *span* (mesma extensão de blocos), uma nova sequência era acrescida de um bloco. Esta etapa terminava quando o participante não conseguia repetir as duas séries de mesmo *span*. Após o final da primeira etapa, a instrução da ordem inversa era apresentada e demonstrada para o participante. Nesta etapa, o participante tinha que tocar nos blocos indicando uma sequência inversa a apresentada pelo examinador, isto é, do último para o primeiro bloco. Como na ordem direta, a cada duas séries de mesmo *span*, uma nova sequência era apresentada pelo examinador e acrescida de um bloco. O teste terminava quando o participante não conseguia completar duas séries de mesmo *span*.

A tarefa do GPT foi executada pelo participante sempre na mesma ordem. As instruções foram apresentadas pelo examinador indicando a ordem de encaixe dos pinos para cada condição e mão a ser testada. A condição foi iniciada e cronometrada após a ordem verbal e finalizada quando o último pino foi solto da mão testada. A definição de dominância das mãos foi por autorrelato do participante. A primeira condição constituiu em colocar os pinos o mais rápido possível com a mão dominante (MD), depois a condição de retirar os pinos com a mesma mão. Em seguida, as mesmas condições (colocar e retirar) foram executadas, mas utilizando a mão não-dominante (MND). Ao completar as quatro condições, o participante repetia uma nova sequência com as quatro condições, sendo desafiado a tentar melhorar o tempo da condição anterior.

Após as avaliações no mundo real, o participante foi convidado a vestir o HMD de realidade virtual imersiva para executar a tarefa de aprendizagem espacial no LMv. O HMD foi ajustado na cabeça sobre a fita do EEG, garantindo o conforto e capacidade visual do participante. Uma nova impedância foi testada para garantir a qualidade dos sinais. Antes de iniciar o LMv, o participante foi apresentado aos controles manuais e instruído a utilizar os botões do controle da mão direita para andar para frente (gatilho com dedo indicador) e girar para os lados com a pequena alavanca analógica (*joystick* com o dedo polegar). O controle da mão esquerda não tinha nenhum botão ativo, mas ambos controles manuais tinham a representação de uma mão (avatar) em movimento no espaço.

Antes de iniciar o teste no LMv, o participante fazia um pequeno treino executando duas tentativas da fase de controle para aprender a manusear o manete e navegar no ambiente virtual. Após o treino, os participantes iniciaram a fase de aquisição, na qual um áudio de voz masculina instruíu o participante a encontrar uma esfera laranja em um buraco no gramado de uma praça, utilizando como referência quatro construções localizadas fora da praça (ver transcrição do áudio no Apêndice 3, pág. 122). O buraco estava localizado sempre no mesmo lugar, enquanto

o participante saia, a cada tentativa, de uma das quatro coordenadas distintas, no limite do gramado da praça (A, B, C, D), Figura 13A. Foram realizadas oito tentativas, considerando duas para cada saída. A ordem das saídas foi a mesma para todos os participantes (B, C, A, D, C, A, D, B). Caso o participante não encontrasse o buraco em 60 segundos, era direcionado para o buraco e tinha 5 segundos para visualizar as construções em volta e se localizar no ambiente. Ao final da fase de aquisição, uma única tentativa de teste era apresentada ao participante, na fase de transferência ele tinha 60 segundos para encontrar o mesmo buraco, no entanto, com duas construções subtraídas do entorno. A saída utilizada para teste foi a saída A, Figura 13B. Na fase de controle do LMv, o objetivo era chegar o mais rápido possível a uma fonte visível no gramado da praça. Foram oito tentativas e a ordem de saídas foi a mesma para todos os participantes (B, C, A, D, C, A, D, B), sendo duas tentativas para a mesma saída, Figura 13C. Oito participantes não finalizaram a fase de transferência e controle do LMv por terem sentido enjoos de intensidade distintas. Finalizada a tarefa no LMv, o HMD e o equipamento de EEG foram retirados e o participante dispensado.

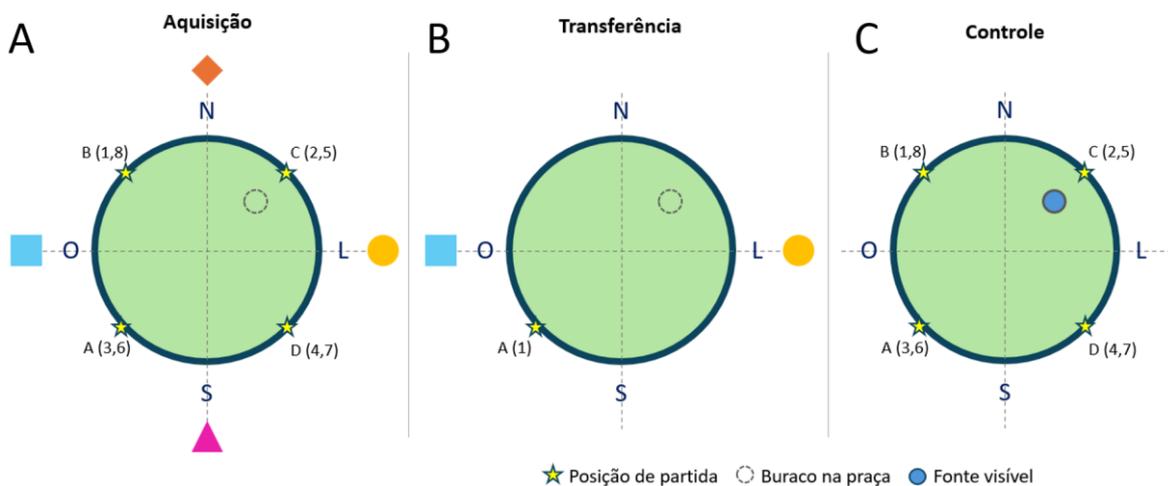


Figura 13. Gráficos representando as fases da tarefa no LMv: aquisição, transferência e controle. Estrelas representam o ponto de partida do indivíduo em cada tentativa. **A.** Fase de aquisição com 8 tentativas, os elementos geométricos coloridos representam as pistas distais (quatro) e no quadrante NE o buraco tracejado (alvo). **B.** Fase de transferência com uma tentativa e subtração de duas pistas distais. **C.** Fase de pistas proximais com 8 tentativas e no quadrante NE a fonte em azul.

Após o pré-teste, os participantes foram alocados nos GT e de controle GC. Dos oito participantes que tiveram enjoos ou desconforto (*cybersickness*) e não finalizaram tarefa do LMv, três foram excluídos da amostragem, pois tiveram sintomas negativos graves. Os outros cinco participantes com sintomas menos marcantes foram distribuídos entre o GT (n = 2) e o

GC ($n = 3$) de forma a equilibrar o perfil dos grupos. A amostra foi constituída e contrabalançada entre dois grupos, GT com 15 participantes e o GC com 12 participantes.

4.7.2 Procedimento do treinamento na RVI

Os quinze participantes que foram alocados no GT tiveram as sessões de treinamento na RVI agendadas de acordo com a disponibilidade de cada um. Foi elaborada uma agenda com dez sessões fixas de 30 min, duas vezes por semana, durante cinco semanas para cada participante. Houve a preocupação em ajustar as sessões com os dias e horários em que os participantes tinham as atividades do Programa de Envelhecimento Ativo na universidade. Em todas as sessões do treinamento, o procedimento iniciou com os participantes se acomodando em uma cadeira giratória e colocando HMD, em seguida segurando os manetes nas mãos direita e esquerda, sempre relembrando as funções da mão-esquerda: alavanca (movimento para o lado esquerdo e direito, para frente e trás), botão para agarrar objetos (dedo médio), botão de seleção (dedo indicador); e da mão-direita: alavanca (girar o corpo para a esquerda e para direita), botão para agarrar objetos (dedo médio), botão de seleção (indicador). Em seguida, o instrutor iniciava a plataforma SLB, selecionando as tarefas e o nível de dificuldade a serem treinados no dia, Figura 14.



Figura 14. Interface de configuração do treinamento no SLB. Seleção, ordem e configuração do nível de dificuldade

A primeira sessão de treinamento teve duração de 30 min. A primeira tarefa foi de reconhecimento dos ambientes: sala, quarto, saída da casa, banheiro. Assim, os participantes aprenderam a usar os manetes para navegar pela casa e interagir com os objetos e instruções do SLB, Figura 15. Após conhecerem os ambientes, os participantes executaram duas tarefas relacionadas com as atividades diárias no ambiente banheiro. Na tarefa de escovar os dentes, participantes aprenderam a agarrar os objetos com as duas mãos e a movimentar as mãos segurando os objetos. Em seguida, foram tomar banho no chuveiro. Tinham que girar as torneiras para abrir a água e ajustar a temperatura, além de selecionar os três produtos para colocar no cabelo. Todas as tarefas foram executadas com a visão na primeira pessoa, permitindo que os movimentos fossem feitos de forma mais livre e próximo ao natural, Figuras 16. A ordem das sessões e tarefas estão descritas no roteiro da Tabela 1. Cada participante teve seu próprio ritmo de treinamento, levando em consideração a rapidez nas habilidades desenvolvidas ou dificuldades enfrentadas, mas todos completaram as tarefas e níveis propostos para as dez sessões. Na última sessão, após o treinamento, os participantes responderam a uma entrevista semiestruturada sobre a experiência durante o treinamento na realidade virtual imersiva e o QEU. Esta etapa teve duração aproximada de 20 min.

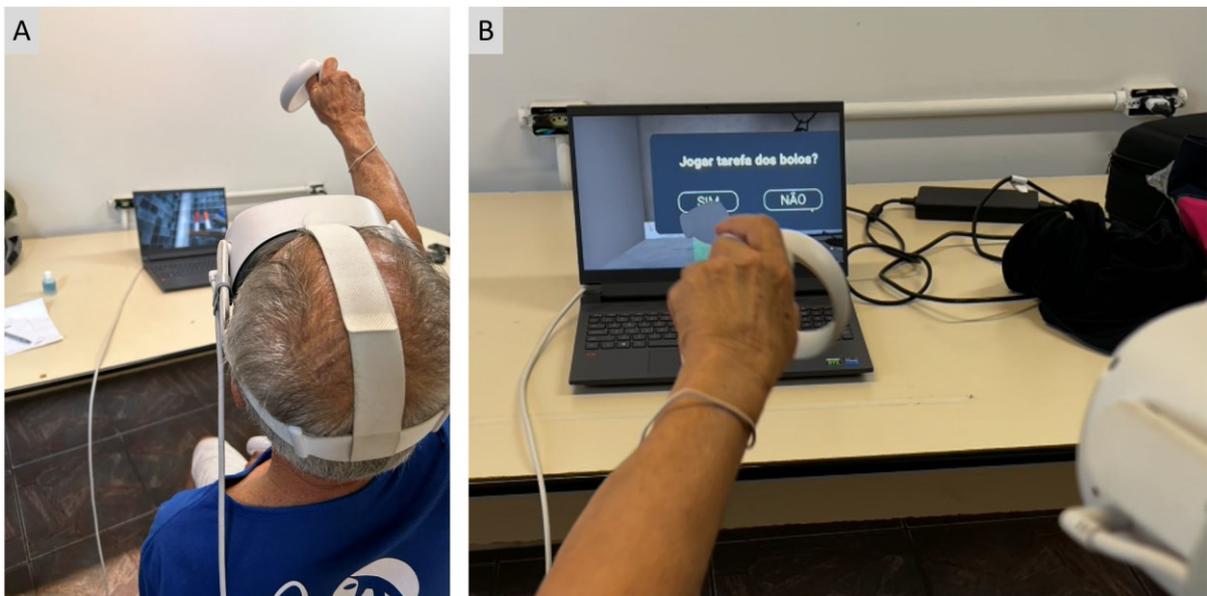


Figura 15. Interação com o ambiente SLB. **A.** Movimento para alcançar e agarrar o produto na prateleira do chuveiro. **B.** Interação com as instruções no SLB.



Figura 16. Movimento das mãos e tronco no ambiente SLB. **A.** Uso da mão esquerda para abrir a geladeira. **B.** Flexão e rotação do tronco para arrumar os sapatos.

Tabela 1

Roteiro das 10 sessões de treinamento no SLB. Cada sessão com 30 minutos de duração.

<i>Nº Sessão</i>	<i>Tarefa</i>	<i>Nível</i>	<i>Descrição</i>
1	Navegação		Navegar no SLB e aprender a usar os manetes
	Escovar dente	Único	Aprender a segurar objetos e movimentar com as duas mãos
	Chuveiro	Três produtos	Aprimorar habilidade motora usando os manetes
2	Fazer Bolo	Receita visível	Fazer receita de bolo com 6 ingredientes
	Fazer Bolo	Receita visível	Repetir a tarefa e fazê-la mais rapidamente
	Relógio	60 e 120 segundos	Atenção focada
3	Fazer Bolo	Receita visível (30 s)	Memorizar ingredientes da receita.
	Sapateira	Tamanho	Arrumar por mesmo tamanho e por tamanho oposto
	Sapateira	Cor	Arrumar sapateira por mesma cor e por cor diferente
4	Frigorífico	Único	Organizar produtos na geladeira e prateleiras
	Frigorífico	Único	Repetir a tarefa e fazê-la mais rapidamente
	Sapateira	Tamanho e cor	Arrumar por tamanho e cor iguais e por tamanho e cor diferentes
5	Fazer Bolo	Receita distrator	Explorar a cozinha e novos produtos
	Supermercado	Três produtos	Memorizar lista de compras e busca visual
	Supermercado	Três produtos	Repetir a tarefa e fazê-la mais rapidamente, com novos produtos
6	Supermercado	Cinco produtos	Memorizar lista de compras e busca visual
	Farmácia	Três produtos	Memorizar lista visualmente
	Supermercado	Cinco produtos	Repetir a tarefa e fazê-la mais rapidamente, com novos produtos
7	Supermercado	Sete produtos	Memorizar lista de compras e busca visual
	Farmácia	Cinco produtos	Memorizar lista visualmente

	Chuveiro	Seis produtos	Repetir a tarefa e fazê-la mais rapidamente, com novos produtos
8	Supermercado	Sete produtos	Repetir a tarefa e fazê-la mais rapidamente, com novos produtos
	Farmácia	Sete produtos	Memorizar lista visualmente
	Galeria de arte	Único	Treinar atenção, jogo de sete erros em três quadros
9	Fazer Bolo	Receita visível (30 s)	Repetir a tarefa e fazê-la mais rapidamente
	Explorar a cidade		Orientação visuoespacial, ir até a galeria
	Galeria de arte	Único	Busca visual de cinco elementos em três quadros
10	Chuveiro	Nove produtos	Repetir a tarefa e fazê-la mais rapidamente
	Relógio	60 e 180 segundos	Atenção focada
	Tarefa livre		Explorar cidade ou fazer uma tarefa de sua preferência

Nota. SLB = Plataforma Systemic Lisbon Battery

Em paralelo, cada participante do GC recebia vídeos semanais (terças e sextas) sobre envelhecimento saudável via WhatsApp. Os vídeos tinham entre 20 e 30 minutos de duração e eram disponibilizados através de um link para o YouTube. O participante poderia assistir quando achasse conveniente e deveria responder à mensagem fazendo um pequeno comentário sobre o que achou do conteúdo do vídeo.

4.7.3 Avaliação de pós-teste

A coleta de avaliação do pós-teste foi agendada após a conclusão do período de treinamento e de acordo com a disponibilidade de cada participante. Foram realizadas sessões individualizadas com duração aproximada de 1h30, seguindo o procedimento realizado na avaliação de pré-teste. A ordem de execução das tarefas motora e cognitiva foram alternadas intra-sujeito. A tarefa na realidade virtual foi mantida como a última para não interferir no registro de EEG por causa do equipamento de RVI. Nenhum participante teve *cybersickness* grave ou moderado nessa etapa. Todos que não conseguiram finalizar a tarefa do LMv no pré-teste, finalizaram essa etapa sem interrupção, exceto uma participante que não concluiu a fase de controle do LMv, pois ocorreu um problema no sistema.

4.8 Variáveis

4.8.1 Variável independente

Treinamento cognitivo-motor em realidade virtual imersiva

4.8.2 Variáveis dependentes

- Memória de trabalho visuoespacial:

Escore - O escore total é igual ao número de acertos \times *span* alcançado

Span – Quantidade de elementos da maior sequência alcançada (extensão).

Acertos - Total de sequências repetidas corretamente.

- Destreza manual:

Tempo de resposta (TResp) - O tempo de resposta foi utilizado para avaliar a execução do movimento na tarefa motora GPT e foi definido como sendo o tempo decorrido entre o início do estímulo para iniciar a tarefa e a soltura do último pino. A unidade de medida de tempo de resposta foi registrada em segundos (s).

- Aprendizagem e memória espacial:

Tempo de movimento (TM) – o tempo de movimento do LMv foi registrado pelo sistema em segundos (s), do momento da saída até o alcance do perímetro do alvo nas fases de aquisição, transferência e controle. O tempo de movimento máximo permitido na tarefa foi de 60 segundos.

- Esforço cognitivo

Índice de engajamento: Esta medida se relaciona à demanda da tarefa para captura de informação, varredura visual e atenção sustentada (Berka et al., 2007). O engajamento cognitivo do indivíduo na tarefa é calculado a partir de um algoritmo de classificação usando quatro estados cognitivos numa escala de 0 a 1: sonolência para valor de 0,1; em distração para 0,3; em baixo engajamento para 0,6 e alto engajamento para 0,9. Cada 1 s de sinal de EEG é classificado em um desses estados cognitivos e o EEG – Índice de engajamento foi utilizado como sendo a média entre esses estados.

Índice de workload: Este índice é uma medida relacionada à carga de memória de trabalho e com o aumento da dificuldade aritmética mental ou de resolução de problemas demandada na execução da tarefa (Berka et al., 2007). O valor dessa variável classifica o esforço cognitivo do indivíduo em alto índice de *workload*, para valores de

probabilidade próximos de 1, e em baixo índice de *workload*, para valores de probabilidade próximos de 0. Cada 1 s de sinal de EEG é classificado em alto ou baixo e o EEG – Índice de *workload* utilizado foi a média entre estes dois estados.

4.9 Análise de dados

Foram realizadas estatísticas descritivas de média, desvio padrão, mínimo e máximo para caracterização da amostra. As comparações das médias sociodemográficas, clínicas e de hábitos de uso de tecnologias entre os dois grupos foram realizadas por meio de testes para amostras independentes t-Student ou teste U de Mann-Whitney no caso das variáveis que não apresentaram normalidade dos dados. A análise descritiva dos demais dados se deu a partir da média e desvio padrão. A verificação da normalidade dos dados foi realizada através do teste Shapiro-Wilk e o pressuposto de homocedasticidade pelo teste de Levene, quando necessário. Para análise das variáveis relacionadas à memória de trabalho visuoespacial, destreza manual e ao esforço cognitivo foram utilizados ANOVAs *two-way* com medidas repetidas no segundo fator (2 grupos x 2 momentos) para comparação dos grupos nos momentos pré e pós. Para as análises *post-hoc*, foi utilizado o teste de Tukey ou Bonferroni para indicar as diferenças existentes entre os grupos. Na análise inferencial da aprendizagem e memória espacial na RVI, os momentos pré e pós-intervenção foram analisados separadamente. Para cada momento (pré e pós) foram conduzidos ANOVAs *two-way* com medidas repetidas no segundo fator (2 grupos x 2 blocos de tentativas) para comparação dos grupos nas fases de aquisição e condição controle. Para as análises *post-hoc* foi utilizado o teste de Bonferroni. Para comparação do desempenho dos grupos na fase de transferência foi realizado o teste para amostras independentes U de Mann-Whitney. O Eta parcial ao quadrado (η^2_p) foi usado como medida de tamanho do efeito da ANOVA. O valor de significância adotado foi de $\alpha = 0,05$. Para realizar os procedimentos estatísticos, utilizou-se o pacote estatístico *open source* JASP, versão 0.18.1 (JASP Team, 2023).

5 RESULTADOS

5.1 Análise descritiva da caracterização da amostra final

Inicialmente os 28 participantes selecionados foram divididos em dois grupos: o grupo de treinamento na RVI (GT; n = 15) e grupo controle (GC; n = 13). Uma participante do GC (n = 1) não finalizou a última etapa do pós-teste por razões pessoais e teve seus dados excluídos. O fluxograma abaixo, Figura 17, descreve o número de participantes iniciais e a perda amostral ocorrida em cada etapa da pesquisa.

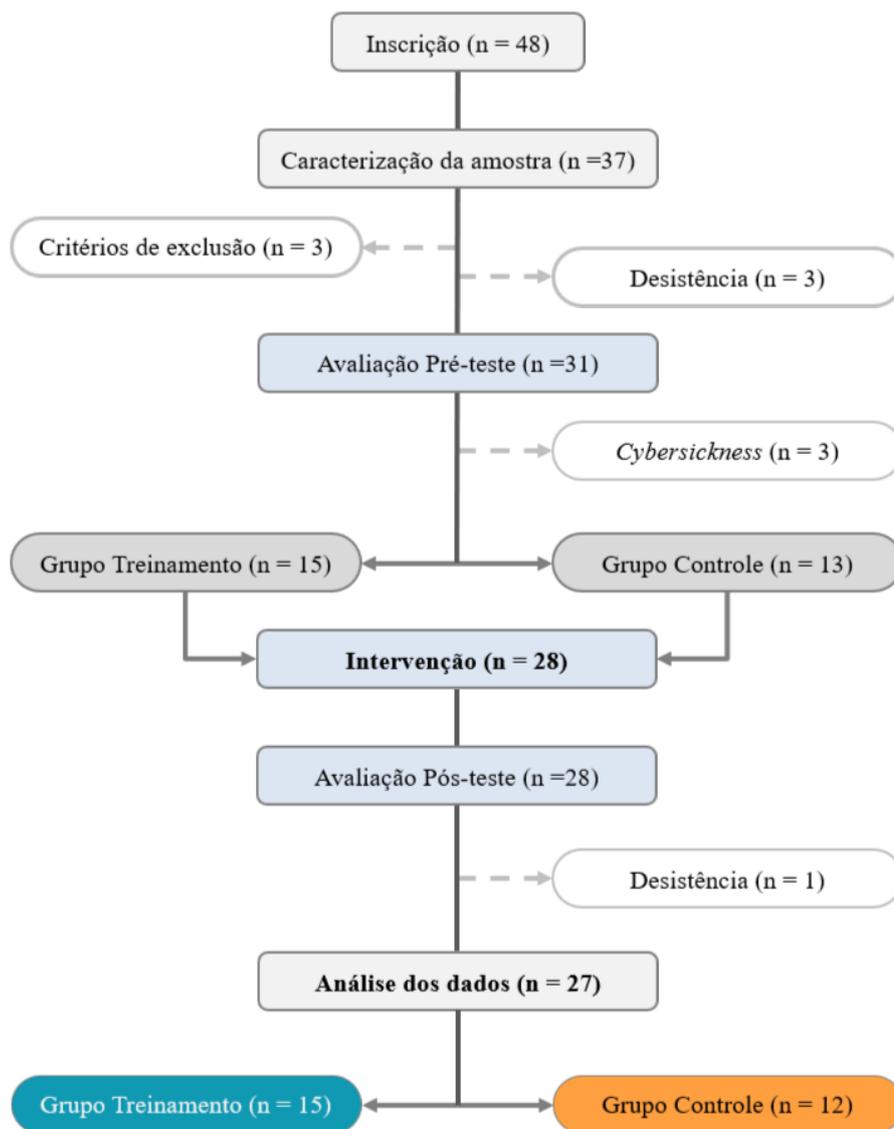


Figura 17. Fluxograma do Protocolo do Estudo.

Para análise foram considerados os dados do GT, composto por 15 participantes com idades entre 62 e 76 anos ($M = 68,13$ e $DP = 3,96$), sendo 12 mulheres (80%) e 03 homens (20%). O GC foi composto por 12 participantes com idade entre 54 e 82 ($M = 67,16$ e $DP = 9,40$), sendo 10 mulheres (83%) e 02 homens (17%). Características demográficas, clínicas e de hábitos de uso de tecnologias dos participantes são apresentados na Tabela 2, indicando que não há diferença inicial entre os grupos GT e GC.

Tabela 2

Caracterização da Amostra, variáveis sociodemográficas, clínicas e tecnológicas dos grupos

Variável	GT (n = 15)			GC (n = 12)			p-valor
	M (DP)	Min.	Max.	M (DP)	Min.	Max.	
Idade	68,13 (3,96)	62	76	67,16 (9,40)	54	82	0,721
Sexo	12 (Mulheres); 3 (Homens)			10 (Mulheres); 2 (Homens)			
Mão dominante	14 (Direita); 1 (Esquerda)			11 (Direita); 1 (Esquerda)			
Educação	12,80 (2,54)	8	16	12,58 (3,96)	8	21	0,650 ^a
MEEM	27,80 (1,61)	24	30	27,16 (2,65)	21	30	0,451
GDS 15	1,26 (1,28)	0	4	1,41 (0,66)	1	3	0,592 ^a
QBMI	9,47 (4,31)	5,4	19,1	8,26 (2,97)	5,7	16,4	0,591 ^a
Uso de Tecnologia							
Computador	3,93 (2,25)	1	7	3,66 (2,96)	1	7	0,648 ^a
Smartphone	7,00	7	7	7,00	7	7	ND ^b
GPS Maps	4,26 (2,01)	1	7	2,66 (2,06)	1	7	0,064 ^a
Videogames	1,00	1	1	1,41 (0,90)	1	4	ND ^b
Jogos no celular	2,80 (2,48)	1	7	2,58 (2,10)	1	7	0,956 ^a

Nota. M = média; DP = desvio padrão; Min.= mínimo; Max.= máximo; ND = não determinado; Educação = anos de estudo dos participantes; MEEM = Escore no Mini-Exame do Estado Mental; GDS-15 = Escore da Escala de Depressão Geriátrica; QBMI = Escore do Questionário Baecke Modificado para Idosos; Frequência no uso de tecnologias = escala de 1 = 'não usa' até 7 = 'diariamente'. ^a Teste Mann-Whitney (não paramétrico). ^b Variância igual a zero.

5.2 Avaliação de memória de trabalho visuoespacial

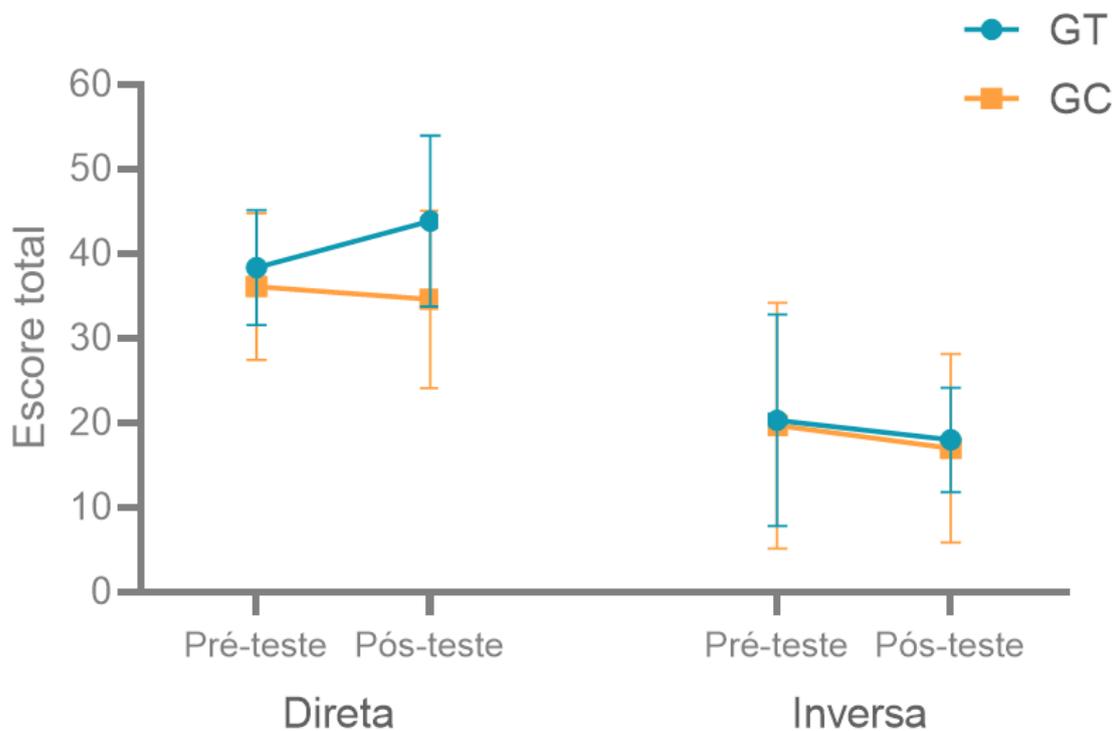
5.2.1 Escore Total no Teste dos Blocos de Corsi

Sequência direta. A estatística descritiva do escore total na sequência direta dos grupos GT e GC está representada na Figura 18 e na Tabela 3. O teste inferencial detectou diferença para a interação entre fatores grupo e momento [$F(1,25) = 3,94$, $p = 0,05$, $\eta^2_p = 0,136$]. O teste *post-hoc* de Tukey indicou que o GT apresentou maior escore total que o GC no momento pós

($p = 0,05$). Não houve diferença para os fatores grupo [$F(1,25) = 3,61$, $p = 0,06$, $\eta^2_p = 0,126$] e momento [$F(1,25) = 1,26$, $p = 0,07$, $\eta^2_p = 0,048$].

Sequência inversa. A estatística descritiva do escore total na sequência inversa dos grupos GT e GC está representada na Figura 18 e na Tabela 3. O teste inferencial não detectou diferença para os fatores grupo [$F(1,25) = 0,04$, $p = 0,83$, $\eta^2_p = 0,002$], momento [$F(1,25) = 1,26$, $p = 0,27$, $\eta^2_p = 0,048$] e interação entre os fatores grupo e momento [$F(1,25) = 0,00$, $p = 0,93$, $\eta^2_p = 0,000$].

Figura 18. Escore Total da Sequência Direta e Inversa no TBC.



Nota: A barra de erros representa o desvio padrão.

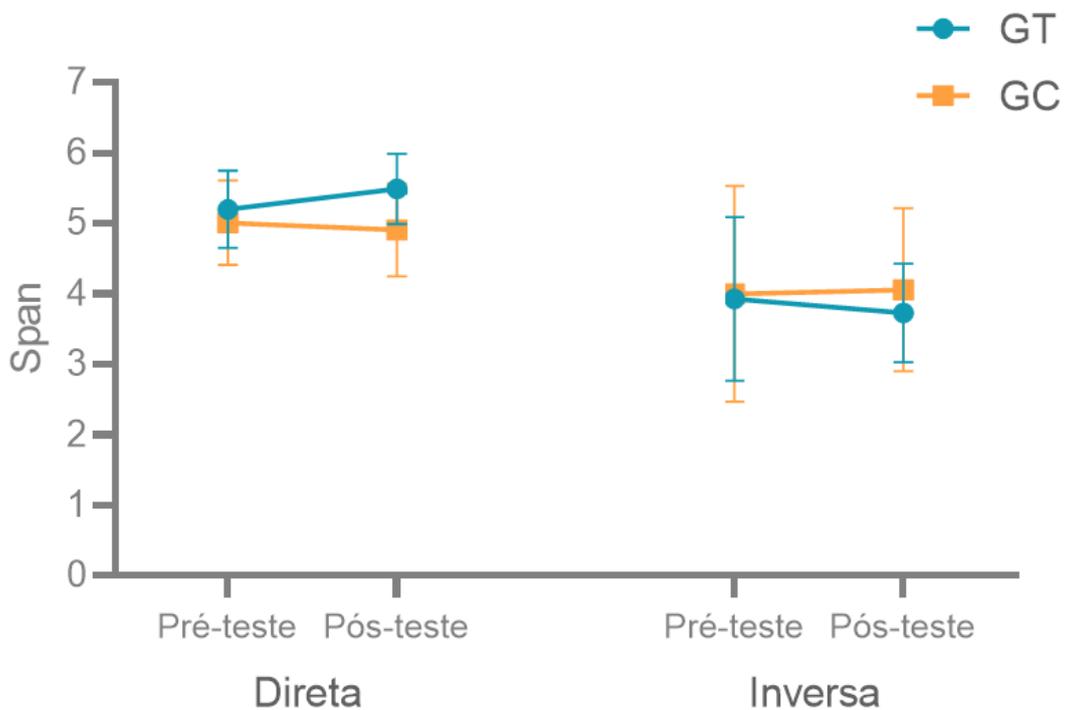
5.2.2 Span no Teste dos Blocos de Corsi

Sequência direta. A estatística descritiva do *span* na sequência direta dos grupos GT e GC está representada na Figura 19 e na Tabela 3. A análise inferencial detectou diferença para o fator grupo [$F(1,25) = 4,04$, $p = 0,05$, $\eta^2_p = 0,139$]. O teste *post-hoc* de Tukey indicou que o GT apresentou maior *span* nas sequências que o GC ($p = 0,05$). Não houve diferença para o

fator momento [$F(1,25) = 0,64, p = 0,42, \eta^2_p = 0,025$] e interação entre os fatores grupo e momento [$F(1,25) = 2,63, p = 0,11, \eta^2_p = 0,095$].

Sequência inversa. A estatística descritiva do *span* na sequência inversa dos grupos GT e GC está representada na Figura 19 e na Tabela 3. A análise inferencial não detectou diferença para os fatores grupo [$F(1,25) = 0,28, p = 0,59, \eta^2_p = 0,011$], momento [$F(1,25) = 0,07, p = 0,78, \eta^2_p = 0,003$] e interação entre os fatores grupo e momento [$F(1,25) = 0,27, p = 0,60, \eta^2_p = 0,011$].

Figura 19. *Span da Sequências Direta e Inversa no TBC.*



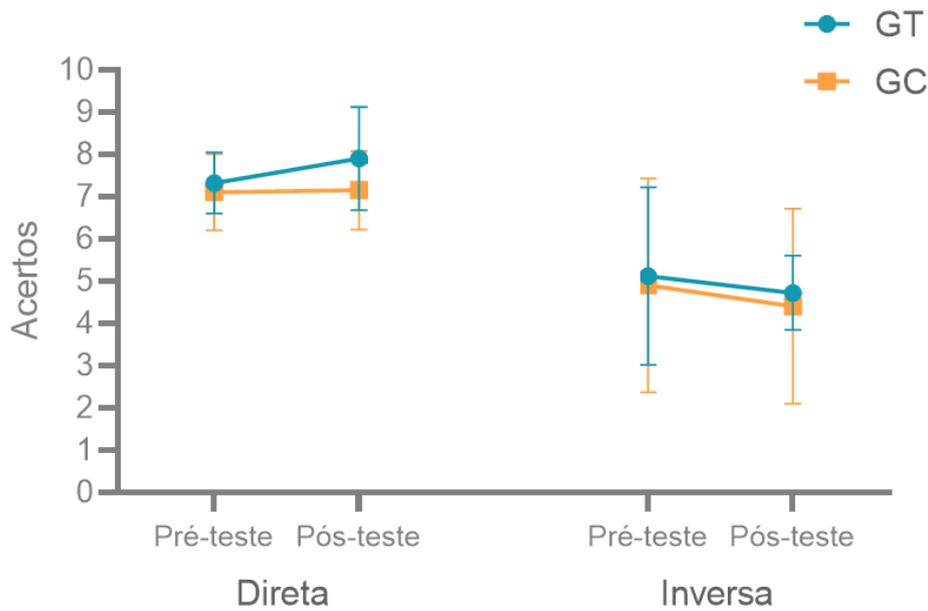
Nota: A barra de erros representa o desvio padrão.

5.2.3 Acertos no Teste dos Blocos de Corsi

Sequência direta. A estatística descritiva do número de acertos na sequência direta dos grupos GT e GC está representada na Figura 20 e na Tabela 3. A análise inferencial não detectou diferença para os fatores grupo [$F(1,25) = 2,48, p = 0,12, \eta^2_p = 0,090$], momento [$F(1,25) = 2,05, p = 0,165, \eta^2_p = 0,076$] e interação entre os fatores grupo e momento [$F(1,25) = 1,53, p = 0,22, \eta^2_p = 0,058$].

Sequência inversa. A estatística descritiva do número de acertos na sequência inversa dos grupos GT e GC está representada na Figura 20 e na Tabela 3. A análise inferencial não detectou diferença para os fatores grupo [$F(1,25) = 0,15$, $p = 0,70$, $\eta^2_p = 0,006$], momento [$F(1,25) = 1,39$, $p = 0,24$, $\eta^2_p = 0,053$] e interação entre os fatores grupo e momento [$F(1,25) = 0,01$, $p = 0,89$, $\eta^2_p = 0,000$].

Figura 20. Acertos da Sequências Direta e Inversa no TBC.



Nota: A barra de erros representa o desvio padrão.

Tabela 3

Análise descritiva e inferencial Pré-teste e Pós-teste entre os grupos GT e GC no TBC.

Variáveis	Pré-teste		Pós-teste		p-value
	GT (n=15)	GC (n=12)	GT (n=15)	GC (n=12)	
	M (SD)	M (SD)	M (SD)	M (SD)	
Direta - Escore total	38,44 (6,80)	36,19 (8,65)	43,94 (10,10)	34,66 (10,47)	0,05 ^a
Direta - <i>Span</i>	5,20 (0,55)	5,01 (0,60)	5,49 (0,50)	4,91 (0,66)	0,05*
Direta - Acertos	7,33 (0,72)	7,11 (0,90)	7,91 (1,22)	7,16 (0,93)	0,12
Inversa - Escore total	20,36 (12,49)	19,75 (14,54)	18,06 (6,17)	17,07 (11,16)	0,83
Inversa - <i>Span</i>	3,93 (1,16)	4,00 (1,53)	3,73 (0,70)	4,06 (1,16)	0,59
Inversa - Acertos	5,13 (2,16)	4,91 (2,53)	4,73 (0,88)	4,41 (2,31)	0,70

Nota. M = média; DP = desvio padrão; Escore total = número de acertos \times *span*; *Span* = sequência máxima alcançada; Acertos = tentativas corretas. ^a Interação fator grupo e momento, *pós-hoc* de Tukey, diferença entre grupos ($p=0,05$). O asterisco indica diferença significativa entre os grupos ($p \leq 0,05$).

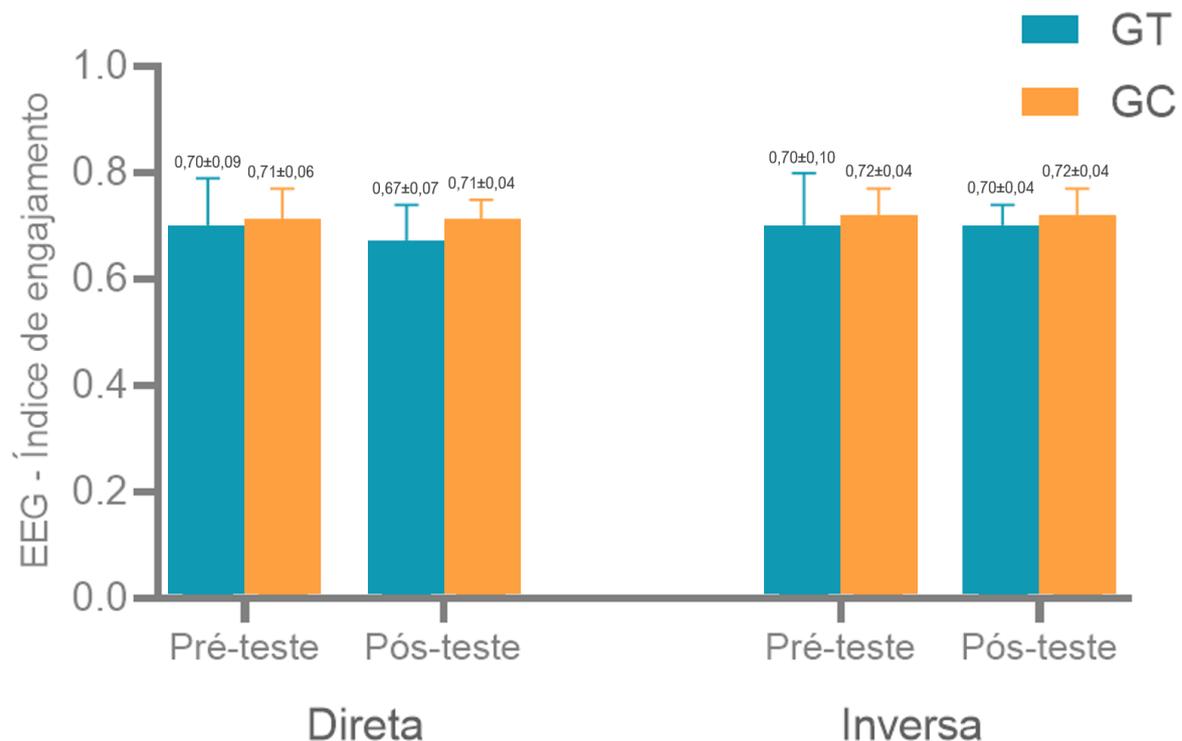
5.2.4 Esforço cognitivo no Teste dos Blocos de Corsi

5.2.4.1 Índice de engajamento

Sequência direta. A estatística descritiva do índice de engajamento na sequência direta dos grupos GT e GC está representada na Figura 21. A análise inferencial não detectou diferença para os fatores grupo [$F(1,25) = 0,93$, $p = 0,34$, $\eta^2_p = 0,036$], momento [$F(1,25) = 0,41$, $p = 0,52$, $\eta^2_p = 0,016$] e interação entre os fatores grupo e momento [$F(1,25) = 1,03$, $p = 0,31$, $\eta^2_p = 0,040$].

Sequência inversa. A estatística descritiva do índice de engajamento na sequência inversa dos grupos GT e GC está representada na Figura 21. A análise inferencial não detectou diferença para os fatores grupo [$F(1,25) = 0,92$, $p = 0,34$, $\eta^2_p = 0,036$], momento [$F(1,25) = 0,00$, $p = 0,95$, $\eta^2_p < 0,001$] e interação entre os fatores grupo e momento [$F(1,25) = 0,03$, $p = 0,86$, $\eta^2_p = 0,001$].

Figura 21. Índice de Engajamento Sequências Direta e Inversa no TBC.



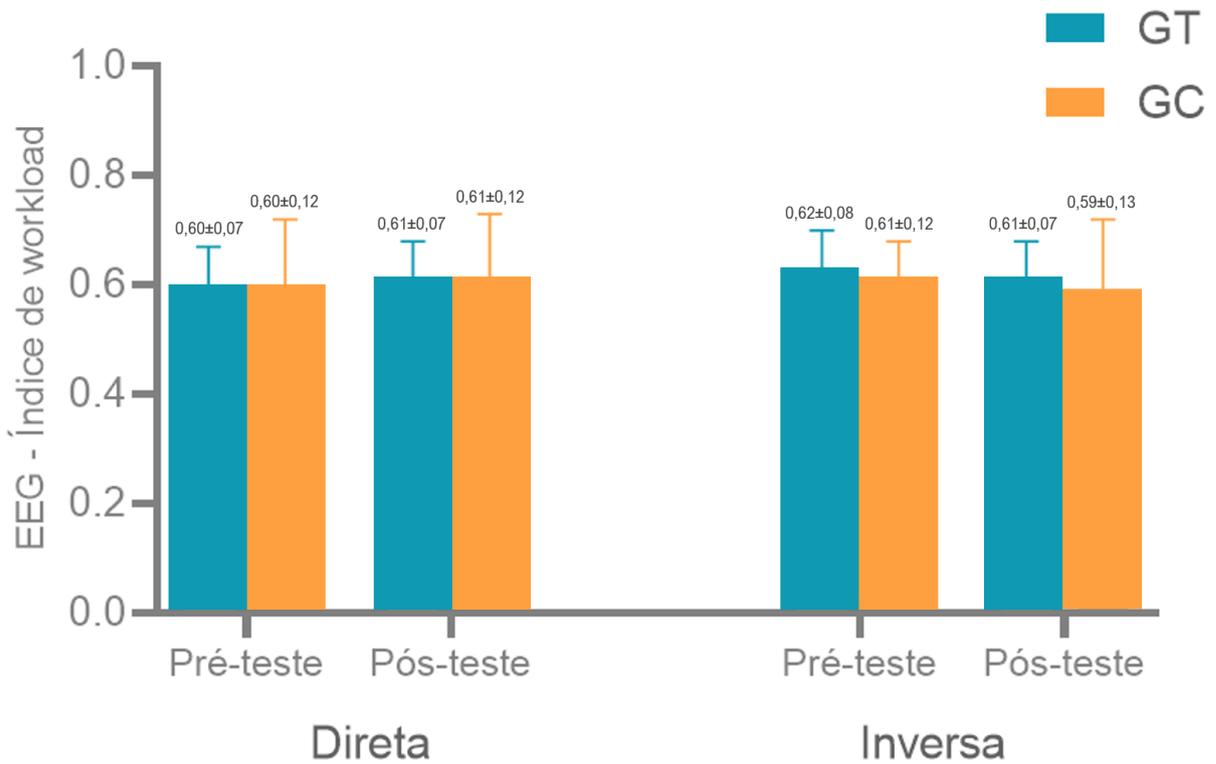
Nota: A barra de erros representa o desvio padrão.

5.2.4.1 Índice de workload

Sequência direta. A estatística descritiva do índice de *workload* na sequência direta dos grupos GT e GC está representada na Figura 22. A análise inferencial não detectou diferença para os fatores grupo [$F(1,25) = 0,01$, $p = 0,90$, $\eta^2_p < 0,001$], momento [$F(1,25) = 0,89$, $p = 0,35$, $\eta^2_p = 0,035$] e interação entre os fatores grupo e momento [$F(1,25) = 0,00$, $p = 0,96$, $\eta^2_p < 0,001$].

Sequência inversa. A estatística descritiva do índice de *workload* na sequência inversa dos grupos GT e GC está representada na Figura 22. A análise inferencial não detectou diferença para os fatores grupo [$F(1,25) = 0,13$, $p = 0,71$, $\eta^2_p = 0,005$], momento [$F(1,25) = 1,89$, $p = 0,18$, $\eta^2_p = 0,070$] e interação entre os fatores grupo e momento [$F(1,25) = 0,11$, $p = 0,73$, $\eta^2_p = 0,005$].

Figura 22. Índice de Workload Sequências Direta e Inversa no TBC.



Nota: A barra de erros representa o desvio padrão.

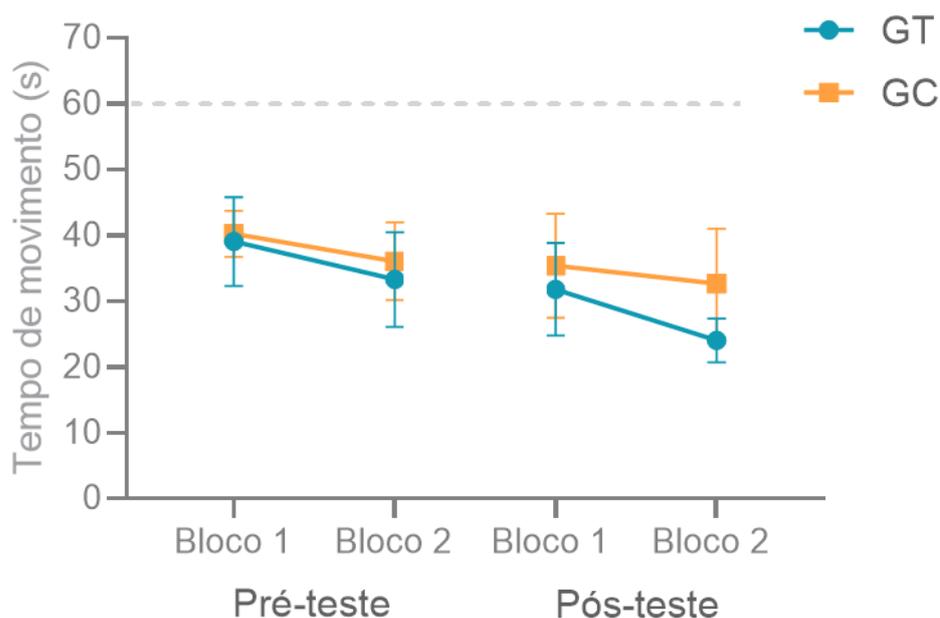
5.3 Desempenho na avaliação de aprendizagem e memória espacial na RVI

5.3.1 Fase de aquisição no Labirinto de Morris Virtual

Pré-teste aquisição. A estatística descritiva do tempo de movimento no pré-teste da fase de aquisição do LMv entre os grupos GT e GC está representada na Figura 23. A análise inferencial detectou diferença no fator bloco [$F(1,24) = 13,95$, $p = 0,001$, $\eta^2_p = 0,368$]. O teste *post-hoc* de Bonferroni indicou que o Bloco 2 apresentou menor tempo de movimento que o Bloco 1 ($p = 0,001$). Não houve diferença para os fatores grupo [$F(1,24) = 0,91$, $p = 0,35$, $\eta^2_p = 0,037$] e interação entre os fatores grupo e bloco [$F(1,24) = 0,33$, $p = 0,56$, $\eta^2_p = 0,014$].

Pós-teste aquisição. A estatística descritiva do tempo de movimento no pós-teste da fase de aquisição do LMv entre os grupos GT e GC está representada na Figura 23. A análise inferencial detectou diferença para os fatores grupo [$F(1,25) = 6,47$, $p = 0,01$, $\eta^2_p = 0,206$], blocos [$F(1,25) = 25,07$, $p < 0,001$, $\eta^2_p = 0,501$] e interação entre os fatores grupo e bloco [$F(1,25) = 5,86$, $p = 0,02$, $\eta^2_p = 0,190$]. O teste *post-hoc* Bonferroni indicou que GT apresentou menor tempo de movimento que o GC ($p = 0,017$) e que o Bloco 1 apresentou maior tempo de movimento que o Bloco 2 ($p < 0,001$). Em relação à interação entre fatores grupo e bloco o *post-hoc* indicou que o GT e GC apresentaram maior tempo de movimento no Bloco 1 em comparação ao Bloco 2 ($p < 0,001$) e que o GT apresentou menor tempo de movimento que o GC no Bloco 2 ($p = 0,014$).

Figura 23. Pré-teste e Pós-teste na Fase de Aquisição do LMv.



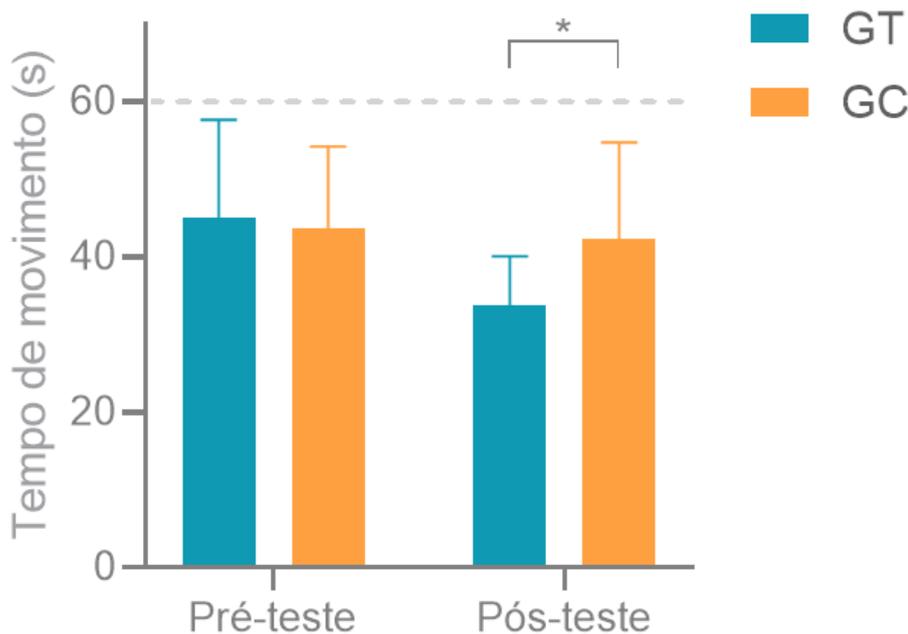
Nota: A barra de erros representa o desvio.

5.3.2 Fase de transferência no Labirinto de Morris Virtual

Pré-teste transferência. A estatística descritiva do tempo de movimento dos grupos GT e GC na fase de transferência do LMv no momento pré-teste está representada na Figura 24. O teste de amostras independentes de Mann-Whitney não detectou diferença significativa entre os grupos [$U = 52$, $p = 0,68$, $r = -0,11$].

Pós-teste transferência. A estatística descritiva do tempo de movimento dos grupos GT e GC na fase de transferência do LMv no momento pós-teste está representada na Figura 24. O teste de amostras independentes de Mann-Whitney detectou diferença entre os grupos [$U = 46$, $p = 0,03$, $r = -0,48$], sendo que o grupo GT apresentou menor tempo de movimento que o grupo GC.

Figura 24. Pré-teste e Pós-teste na Fase de Transferência do LMv.



Nota: A barra de erros representa o desvio padrão da mediana.

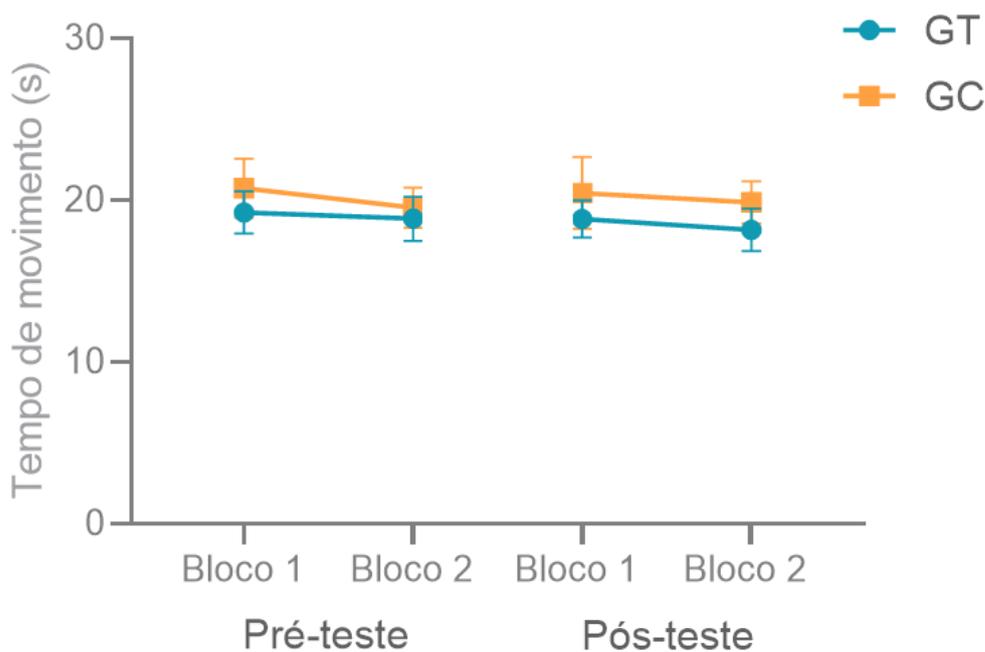
5.3.3 Fase controle no Labirinto de Morris Virtual

Pré-teste controle. A estatística descritiva do tempo de movimento dos grupos GT e GC na fase de controle do LMv no momento pré-teste está representada na Figura 25. A análise inferencial detectou diferença para os fatores grupo [$F(1,20) = 4,37$, $p = 0,04$, $\eta^2_p = 0,180$] e bloco [$F(1,20) = 5,80$, $p = 0,02$, $\eta^2_p = 0,225$]. O teste *post-hoc* de Bonferroni indicou que o

grupo GT apresentou menor tempo de movimento que o grupo GC ($p=0,04$) e que o Bloco 1 foi mais lento que o Bloco 2 ($p = 0,02$). Não houve interação entre os fatores grupo e bloco [$F(1,20) = 1,58, p = 0,22, \eta^2_p = 0,073$].

Pós-teste controle. A estatística descritiva do tempo de movimento dos grupos GT e GC na fase de controle do LMv no momento pós-teste está representada na Figura 25. A análise inferencial detectou diferença para os fatores grupo [$F(1,24) = 12,91, p = 0,001, \eta^2_p = 0,350$] e bloco [$F(1,24) = 5,30, p = 0,03, \eta^2_p = 0,181$]. O teste *post-hoc* de Bonferroni indicou que o grupo GT apresentou menor tempo de movimento que o grupo GC ($p=0,001$) e que o Bloco 1 foi mais lento que o Bloco 2 ($p = 0,03$). Não houve interação entre os fatores grupo e bloco [$F(1,24) = 0,03, p = 0,85, \eta^2_p = 0,001$].

Figura 25. Pré-teste e Pós-teste na Fase Controle do LMv.



Nota: A barra de erros representa o desvio.

5.3.4 Esforço cognitivo no Labirinto de Morris Virtual

5.3.4.1 Índice de engajamento pré-teste

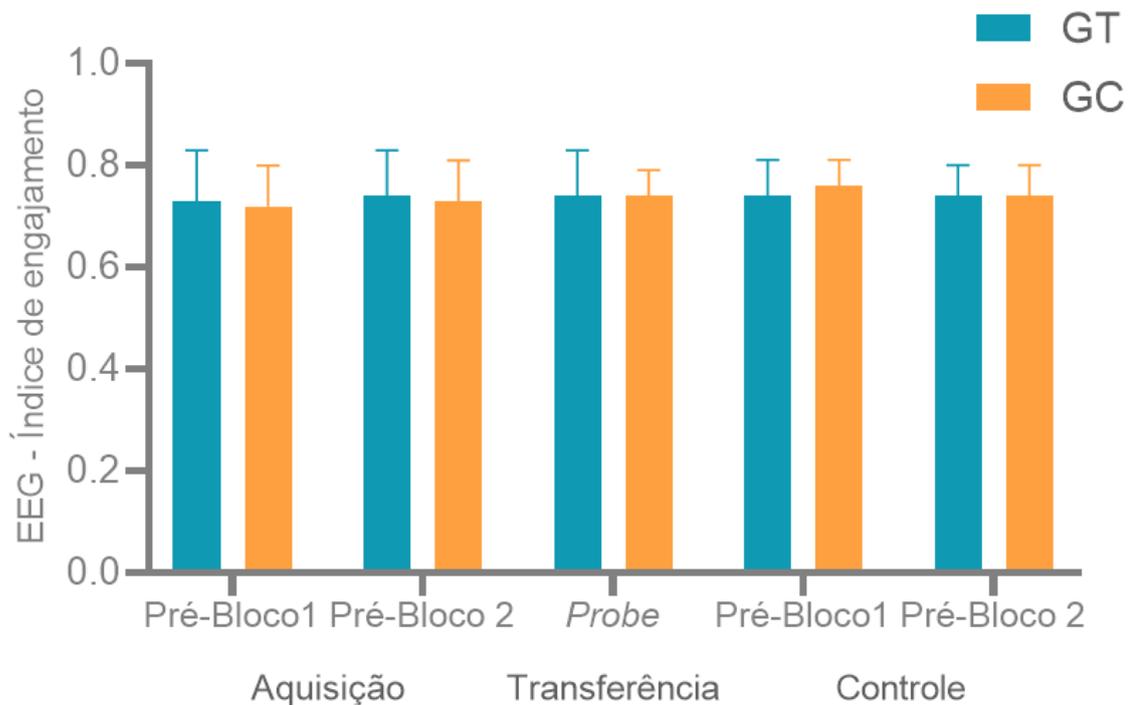
Pré-teste aquisição. A estatística descritiva do índice de engajamento no pré-teste da fase de aquisição do LMv entre os grupos GT e GC está representada na Figura 26. A análise inferencial não detectou diferença para os fatores grupo [$F(1,24) = 0,07, p = 0,79, \eta^2_p = 0,003$],

blocos [$F(1,24) = 0,27, p = 0,60, \eta^2_p = 0,011$] e interação entre os fatores grupo e bloco [$F(1,24) = 0,01, p = 0,89, \eta^2_p < 0,001$].

Pré-teste transferência. A estatística descritiva do índice de engajamento no pré-teste da fase de transferência no LMv entre os grupos GT e GC está representada na Figura 26. O teste de amostras independentes de Mann-Whitney não detectou diferença significativa entre os grupos [$U = 58, p = 1,00, r = 0,00$].

Pré-teste controle. A estatística descritiva do índice de engajamento no pré-teste da fase de controle do LMv entre os grupos GT e GC está representada na Figura 26. O teste inferencial detectou diferença para os fatores blocos [$F(1,18) = 4,99, p = 0,03, \eta^2_p = 0,217$] e interação entre os fatores grupos e blocos [$F(1,18) = 5,67, p = 0,02, \eta^2_p = 0,240$]. O teste *post-hoc* de Bonferroni indicou que o Bloco 1 apresentou maior engajamento que o Bloco 2 ($p=0,038$) e que o GC apresentou maior engajamento no Bloco 1 que no Bloco 2 ($p = 0,036$). O teste inferencial não detectou diferença significativa para o fator grupos [$F(1,18) = 0,03, p = 0,86, \eta^2_p = 0,002$],

Figura 26. Índice de Engajamento Pré-Teste do LMv.



Nota: A barra de erros representa o desvio.

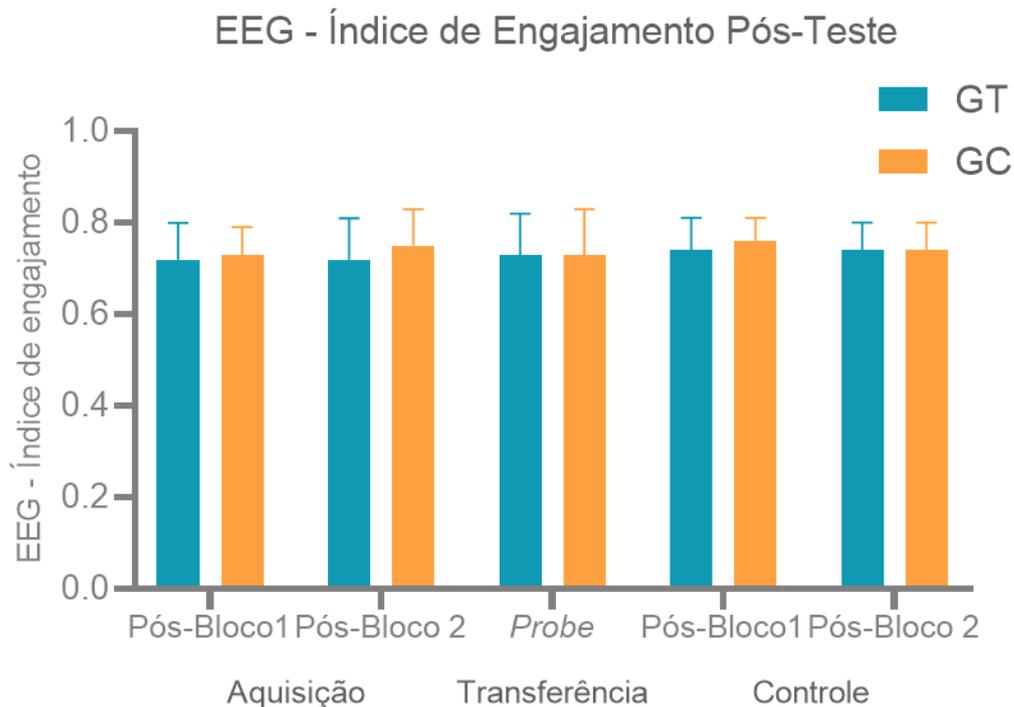
5.3.4.2 Índice de engajamento pós-teste

Pós-teste aquisição. A estatística descritiva do índice de engajamento no pós-teste da fase de aquisição do LMv entre os grupos GT e GC está representada na Figura 27. A análise inferencial não detectou diferença para os fatores grupo [$F(1,25) = 0,25$, $p = 0,62$, $\eta^2_p = 0,010$], bloco [$F(1,25) = 0,87$, $p = 0,35$, $\eta^2_p = 0,034$] e interação entre os fatores grupo e bloco [$F(1,25) = 1,78$, $p = 0,19$, $\eta^2_p = 0,067$].

Pós-teste transferência. A estatística descritiva do índice de engajamento no pós-teste da fase de transferência no LMv entre os grupos GT e GC está representada na Figura 27. O teste de amostras independentes de Mann-Whitney não detectou diferença significativa entre os grupos [$U = 89$, $p = 0,98$, $r = -0,011$].

Pós-teste controle. A estatística descritiva do índice de engajamento no pós-teste da fase de controle do LMv entre os grupos GT e GC está representada na Figura 27. A análise inferencial não detectou diferença para os fatores grupo [$F(1,24) = 0,002$, $p = 0,96$, $\eta^2_p < 0,001$], bloco [$F(1,24) = 0,007$, $p = 0,93$, $\eta^2_p < 0,001$] e interação entre os fatores grupo e bloco [$F(1,24) = 0,47$, $p = 0,49$, $\eta^2_p = 0,019$].

Figura 27. Índice de Engajamento Pós-Teste do LMv.



Nota: A barra de erros representa o desvio.

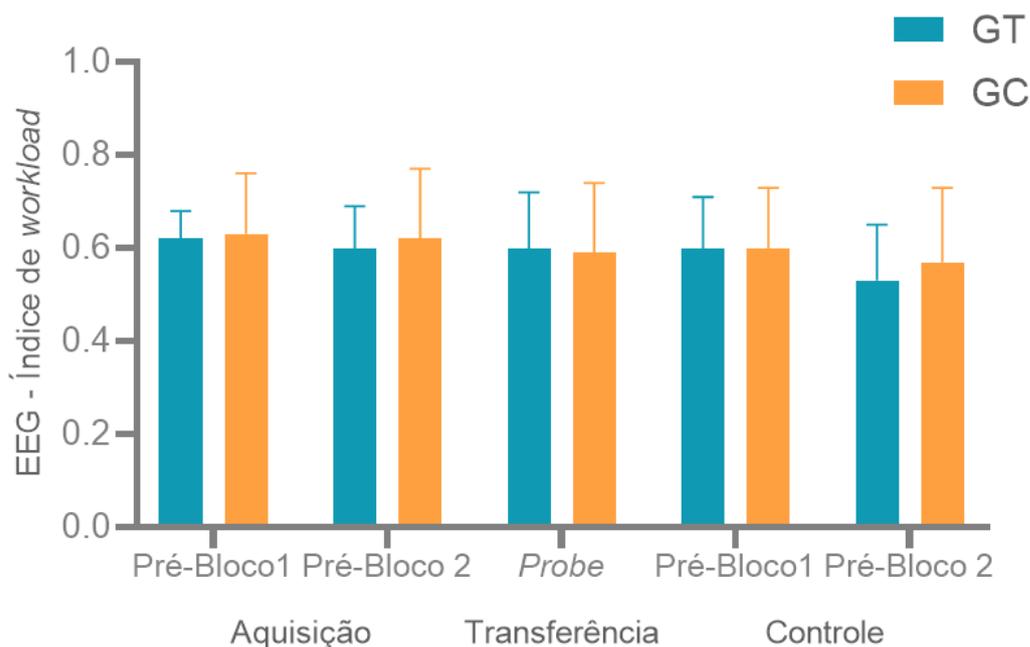
5.3.4.3 Índice de *workload* pré-teste

Pré-teste aquisição. A estatística descritiva do índice de *workload* no pré-teste da fase de aquisição do LMv entre os grupos GT e GC está representada na Figura 28. A análise inferencial não detectou diferença para os fatores grupo [$F(1,22) = 0,08$, $p = 0,77$, $\eta^2_p = 0,004$], bloco [$F(1,22) = 1,42$, $p = 0,24$, $\eta^2_p = 0,061$] e interação entre os fatores grupo e bloco [$F(1,22) = 0,28$, $p = 0,59$, $\eta^2_p = 0,013$].

Pré-teste transferência. A estatística descritiva do índice de *workload* no pré-teste da fase de transferência no LMv entre os grupos GT e GC está representada na Figura 28. O teste de amostras independentes T-student não detectou diferença significativa entre os grupos [$t(15) = 0,11$, $p = 0,91$, $d = 0,057$].

Pré-teste controle. A estatística descritiva do índice de *workload* no pré-teste da fase de controle do LMv entre os grupos GT e GC está representada na Figura 28. A análise inferencial detectou diferença para o fator bloco [$F(1,15) = 11,27$, $p = 0,004$, $\eta^2_p = 0,429$] O teste *post-hoc* de Bonferroni indicou que o Bloco 1 apresentou maior *workload* que o Bloco 2 ($p = 0,004$). O teste inferencial não detectou diferença significativa para os fatores grupo [$F(1,15) = 0,09$, $p = 0,76$, $\eta^2_p = 0,006$] e interação entre os fatores grupo e bloco [$F(1,15) = 2,41$, $p = 0,14$, $\eta^2_p = 0,138$].

Figura 28. Índice de *Workload* Pré-Teste do LMv.



Nota: A barra de erros representa o desvio.

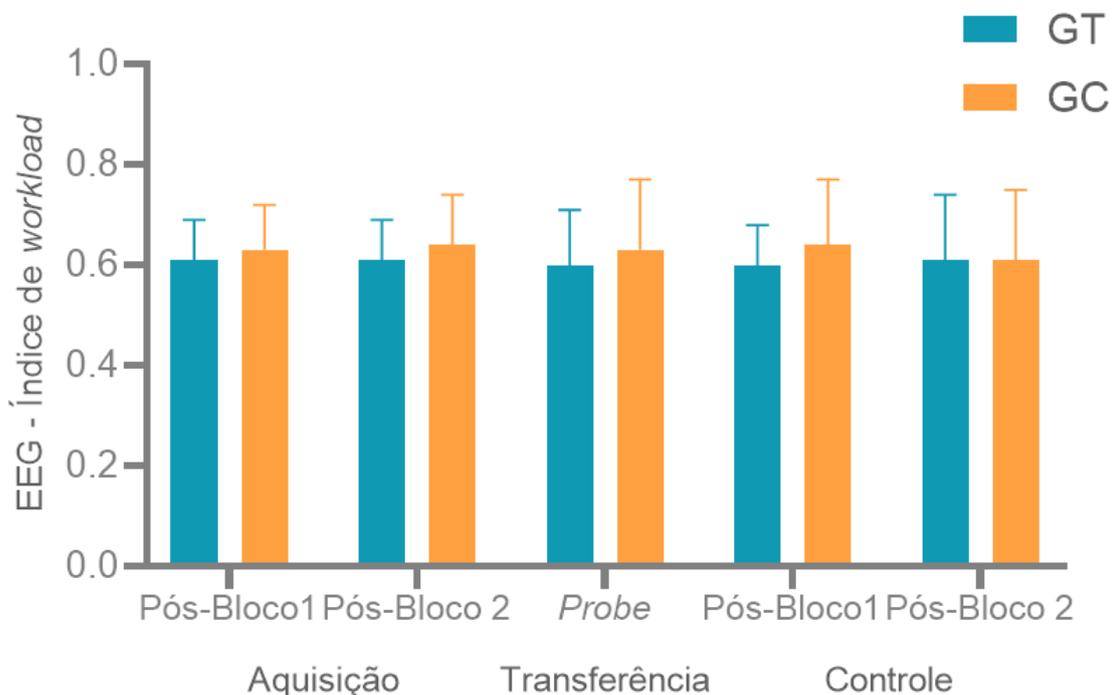
5.3.4.4 Índice de *workload* pós-teste

Pós-teste aquisição. A estatística descritiva do índice de *workload* no pós-teste da fase de aquisição do LMv entre os grupos GT e GC está representada na Figura 29. A análise inferencial não detectou diferença para os fatores grupo [$F(1,22) = 0,39, p = 0,53, \eta^2_p = 0,018$], bloco [$F(1,22) = 0,01, p = 0,91, \eta^2_p < 0,001$] e interação entre os fatores grupo e bloco [$F(1,22) = 0,17, p = 0,67, \eta^2_p = 0,008$].

Pós-teste transferência. A estatística descritiva do índice de *workload* no pós-teste da fase de transferência no LMv entre os grupos GT e GC está representada na Figura 29. O teste de amostras independentes T-student não detectou diferença significativa entre os grupos [$t(22) = -0,46, p = 0,65, d = -0,189$].

Pós-teste controle. A estatística descritiva do índice de *workload* no pós-teste da fase de controle do LMv entre os grupos GT e GC está representada na Figura 29. A análise inferencial não detectou diferença para os fatores grupo [$F(1,22) = 0,20, p = 0,65, \eta^2_p = 0,009$], bloco [$F(1,22) = 0,22, p = 0,63, \eta^2_p = 0,010$] e interação entre os fatores grupo e bloco [$F(1,22) = 0,54, p = 0,46, \eta^2_p = 0,024$].

Figura 29. Índice de *Workload* Pós-Teste do LMv.



Nota: A barra de erros representa o desvio.

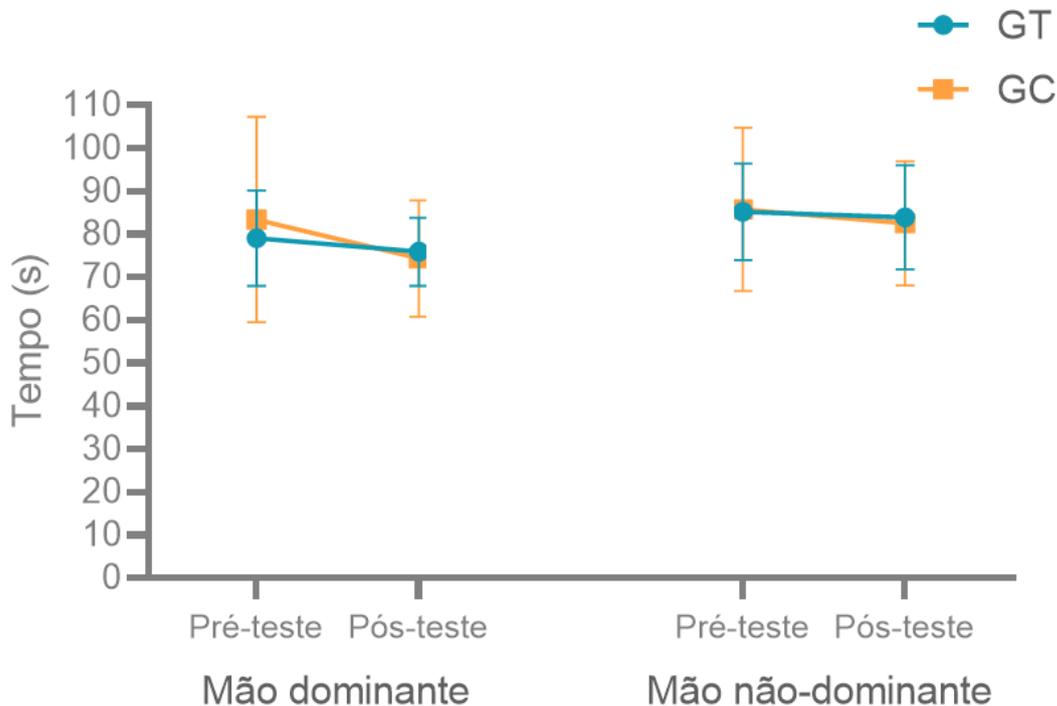
5.4 Desempenho motor de destreza manual

5.4.1 Colocar Pinos no *Grooved Pegboard Test*

Mão dominante. A estatística descritiva para o desempenho da mão dominante, durante a tarefa de colocar os pinos dos grupos GT e GC, está representada na Figura 30. A análise inferencial detectou diferença para o fator momento [$F(1,25) = 6,45$, $p = 0,01$, $\eta^2_p = 0,205$]. O teste *post-hoc* de Bonferroni indicou que o desempenho no momento pós foi melhor que no momento pré ($p = 0,01$). Não houve diferença para os fatores grupo [$F(1,25) = 0,07$, $p = 0,79$, $\eta^2_p = 0,003$] e interação entre os fatores grupo e momento [$F(1,25) = 1,53$, $p = 0,22$, $\eta^2_p = 0,058$].

Mão não-dominante. A estatística descritiva para o desempenho da mão não-dominante, durante a tarefa de colocar os pinos dos grupos GT e GC, está representada na Figura 30. A análise inferencial não detectou diferença para os fatores grupo [$F(1,25) = 0,007$, $p = 0,93$, $\eta^2_p < 0,001$], momento [$F(1,25) = 1,23$, $p = 0,27$, $\eta^2_p = 0,047$] e interação entre os fatores grupo e momento [$F(1,25) = 0,24$, $p = 0,62$, $\eta^2_p = 0,010$].

Figura 30. Colocar Pinos com a Mão Dominante e a Mão Não-Dominante no GPT.



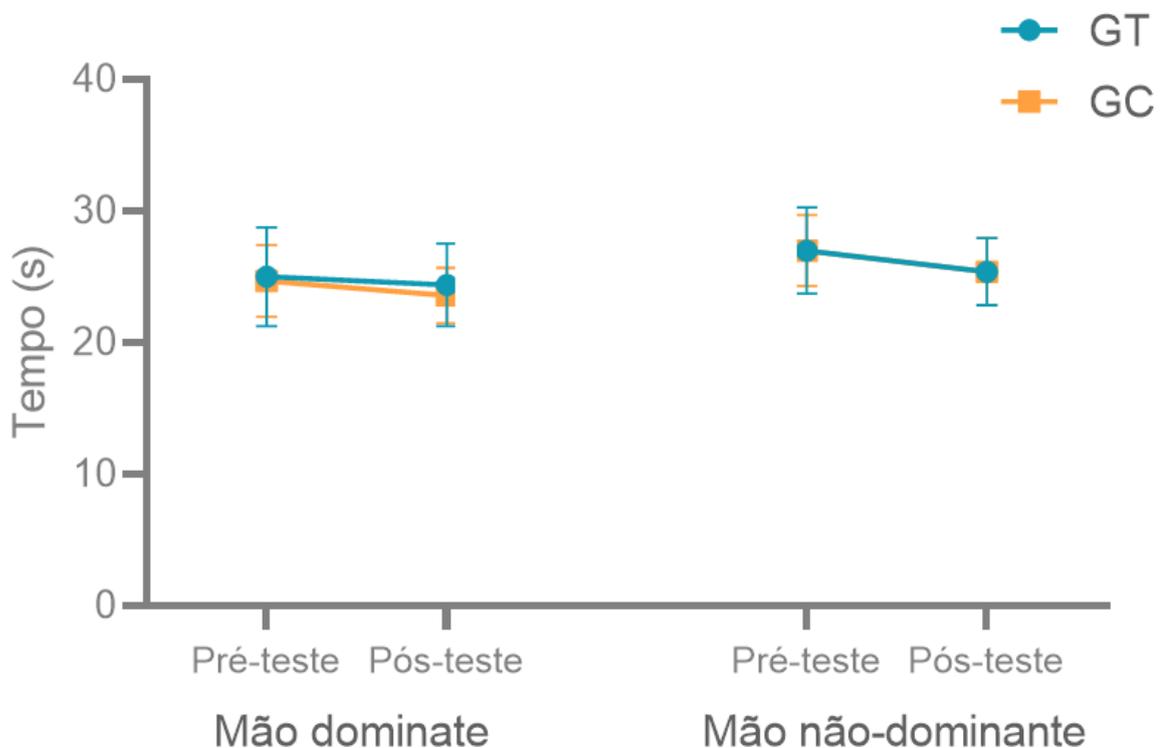
Nota: A barra de erros representa o desvio padrão.

5.4.2 Retirar Pinos no Teste Grooved Pegboard

Mão dominante. A estatística descritiva para o desempenho da mão dominante, durante a tarefa de retirar os pinos dos grupos GT e GC, está representada na Figura 31. A análise inferencial detectou diferença para fator momento [$F(1,25) = 4,80, p = 0,03, \eta^2_p = 0,161$]. O teste *post-hoc* de Bonferroni indicou que o desempenho no momento pós foi melhor que no momento pré ($p = 0,03$). Não houve diferença para os fatores grupo [$F(1,25) = 0,25, p = 0,61, \eta^2_p = 0,010$] e interação entre os fatores grupo e momento [$F(1,25) = 0,38, p = 0,54, \eta^2_p = 0,015$].

Mão não-dominante. A estatística descritiva para o desempenho da mão não-dominante, durante a tarefa de retirar os pinos dos grupos GT e GC, está representada na Figura 31. A análise inferencial não detectou diferença para os fatores grupo [$F(1,25) = 0,005, p = 0,94, \eta^2_p < 0,001$], momento [$F(1,25) = 2,10, p = 0,15, \eta^2_p = 0,078$] e interação entre os fatores grupo e momento [$F(1,25) = 3,40, p = 0,07, \eta^2_p = 0,120$].

Figura 31. Retirar Pinos com a Mão Dominante e Mão Não-Dominante no GPT.



Nota: A barra de erros representa o desvio padrão.

5.4.3 Esforço cognitivo no *Grooved Pegboard Test*

5.4.3.1 Índice de engajamento

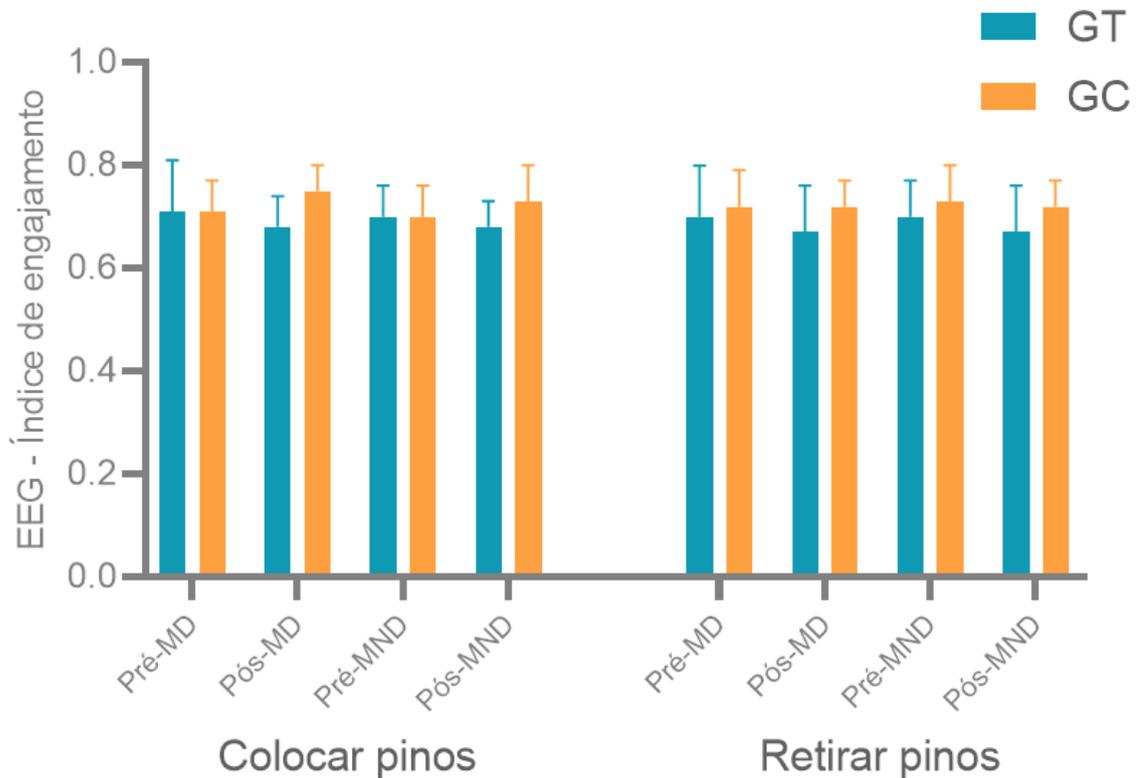
Colocar mão dominante. A estatística descritiva do índice de engajamento para colocar os pinos com a mão dominante dos grupos GT e GC está representada na Figura 32. A análise inferencial não detectou diferença para os fatores grupo [$F(1,25) = 2,56, p = 0,12, \eta^2_p = 0,093$], momento [$F(1,25) = 0,05, p = 0,81, \eta^2_p = 0,002$] e interação entre os fatores grupo e momento [$F(1,25) = 3,39, p = 0,07, \eta^2_p = 0,120$].

Colocar mão não-dominante. A estatística descritiva do índice de engajamento para colocar os pinos com a mão não-dominante dos grupos GT e GC está representada na Figura 32. A análise inferencial não detectou diferença para os fatores grupo [$F(1,25) = 2,64, p = 0,11, \eta^2_p = 0,096$], momento [$F(1,25) = 0,07, p = 0,78, \eta^2_p = 0,003$] e interação entre os fatores grupo e momento [$F(1,25) = 2,64, p = 0,11, \eta^2_p = 0,096$].

Retirar mão dominante. A estatística descritiva do índice de engajamento para retirar os pinos com a mão dominante dos grupos GT e GC está representada na Figura 32. A análise inferencial não detectou diferença para os fatores grupo [$F(1,25) = 1,72, p = 0,20, \eta^2_p = 0,064$], momento [$F(1,25) = 0,38, p = 0,54, \eta^2_p < 0,015$] e interação entre os fatores grupo e momento [$F(1,25) = 1,03, p = 0,32, \eta^2_p = 0,040$].

Retirar mão não-dominante. A estatística descritiva do índice de engajamento para retirar os pinos com a mão não-dominante dos grupos GT e GC está representada na Figura 32. A análise inferencial não detectou diferença para os fatores grupo [$F(1,25) = 3,44, p = 0,07, \eta^2_p = 0,121$], momento [$F(1,25) = 0,64, p = 0,42, \eta^2_p < 0,025$] e interação entre os fatores grupo e momento [$F(1,25) = 0,50, p = 0,48, \eta^2_p = 0,020$].

Figura 32. Índice de Engajamento Mão Dominante e Mão Não-Dominante no GPT.



Nota: MD = mão dominante e MND = mão não-dominante. A barra de erros representa o desvio padrão.

5.4.3.2 Índice de *Workload*

Colocar mão dominante. A estatística descritiva do índice de *workload* para colocar os pinos com a mão dominante dos grupos GT e GC está representada na Figura 33. A análise inferencial não detectou diferença para os fatores grupo [$F(1,25) = 0,01$, $p = 0,89$, $\eta^2_p < 0,001$], momento [$F(1,25) = 0,95$, $p = 0,33$, $\eta^2_p = 0,037$] e interação entre os fatores grupo e momento [$F(1,25) = 0,02$, $p = 0,86$, $\eta^2_p = 0,001$].

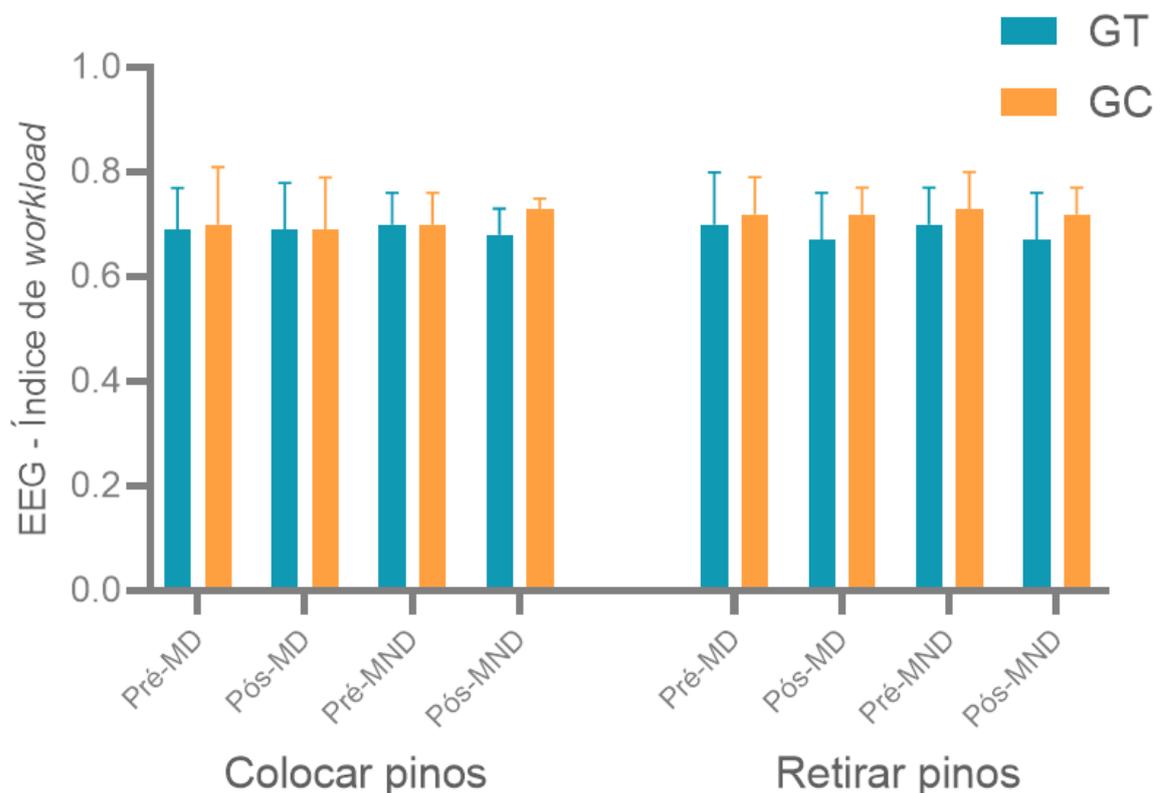
Colocar não-dominante. A estatística descritiva do índice de *workload* para colocar os pinos com a mão não-dominante dos grupos GT e GC está representada na Figura 33. A análise inferencial não detectou diferença para os fatores grupo [$F(1,25) = 2,64$, $p = 0,11$, $\eta^2_p = 0,096$], momento [$F(1,25) = 0,07$, $p = 0,78$, $\eta^2_p = 0,003$] e interação entre os fatores grupo e momento [$F(1,25) = 1,70$, $p = 0,20$, $\eta^2_p = 0,064$].

Retirar mão dominante. A estatística descritiva do índice de *workload* para retirar os pinos com a mão dominante dos grupos GT e GC está representada na Figura 33. A análise

inferencial não detectou diferença para os fatores grupo [$F(1,25) = 1,72, p = 0,20, \eta^2_p = 0,064$], momento [$F(1,25) = 0,38, p = 0,54, \eta^2_p < 0,015$] e interação entre os fatores grupo e momento [$F(1,25) = 1,03, p = 0,32, \eta^2_p = 0,040$].

Retirar mão não-dominante. A estatística descritiva do índice de *workload* para retirar os pinos com a mão não-dominante dos grupos GT e GC está representada na Figura 33. A análise inferencial não detectou diferença para os fatores grupo [$F(1,25) = 3,44, p = 0,07, \eta^2_p = 0,121$], momento [$F(1,25) = 0,64, p = 0,42, \eta^2_p = 0,025$] e interação entre os fatores grupo e momento [$F(1,25) = 0,50, p = 0,48, \eta^2_p = 0,020$].

Figura 33. Índice de Workload Mão Dominante e Mão Não-Dominante no GPT.



Nota: MD = mão dominante e MND = mão não-dominante. A barra de erros representa o desvio padrão.

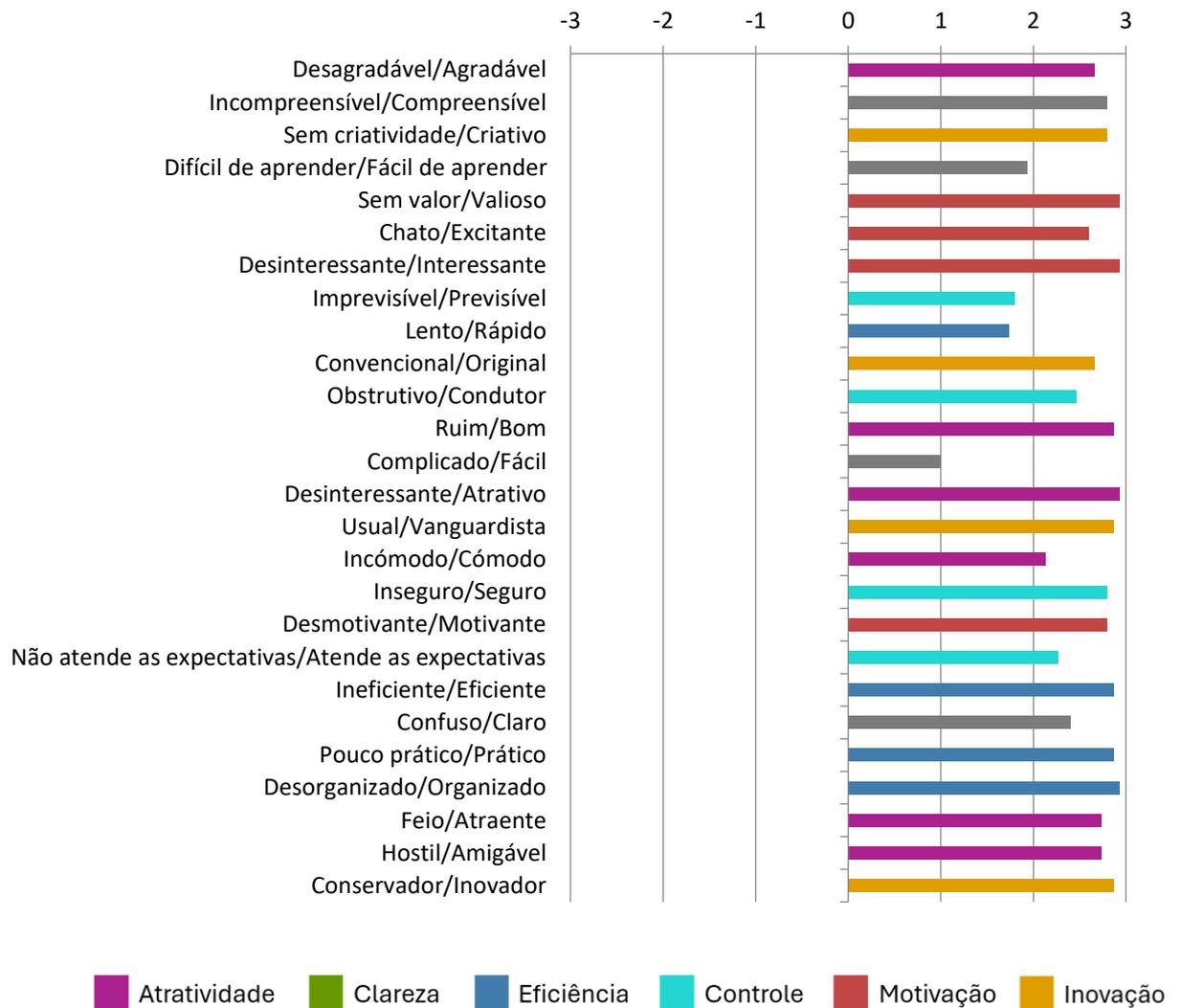
5.5 Resultados da experiência do usuário após exposição ao treinamento na RVI

5.5.1 Escala da Experiência do usuário para o treinamento na RVI

O valor da média por itens do QEU, após o treinamento na RVI, avaliado pelo GT, está representado na Figura 34. As estatísticas descritivas e o Coeficiente do Alfa de Cronbach para

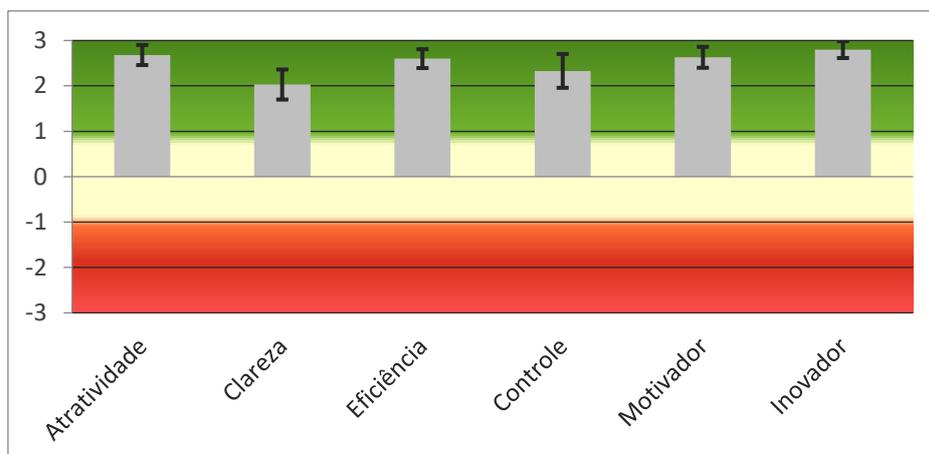
a consistência das escalas subjetivas de Atratividade, Clareza, Eficiência, Controle, Motivação e Inovação para a avaliação do treinamento estão descritos na Figura 35 e Tabela 4. Todas as avaliações do treinamento na RVI foram muito positivas.

Figura 34. Valor das médias por item do Questionário da Experiência do Usuário.



Nota: A faixa da escala varia entre -3 (terrivelmente ruim) e +3 (extremamente bom).

Figura 35. Média e variância das Escalas do QEU para o GT.



Nota: A faixa da escala varia entre -3 (terrivelmente ruim) e +3 (extremamente bom).

Tabela 4 – Média e Variância das escalas do QEU

Subescalas	Média	Variância	N	Coef. Alfa de Cronbach
Atratividade	2,68	0,19	15	0,80
Clareza	2,03	0,43	15	0,64
Eficiência	2,60	0,17	15	0,66
Controle	2,33	0,54	15	0,65
Motivação	2,63	0,15	15	0,65
Inovação	2,80	0,14	15	0,78

Nota. Consistência das escalas. Valores do Coef. de Alfa $\alpha \leq 0,30$ (muito baixa), $0,30 < \alpha \leq 0,60$ (baixa), $0,60 < \alpha \leq 0,75$ (moderada), $0,75 < \alpha \leq 0,90$ (alta), $\alpha > 0,90$ (muito alta).

O coeficiente alfa de Cronbach determina o grau de confiabilidade do questionário usado para avaliar a experiência e satisfação dos participantes do grupo GT com a utilização da RVI para treinamento cognitivo e motor. Os resultados mostram que dois itens, Atratividade (80%) e Inovação (76%) tiveram uma confiabilidade alta, os demais Clareza (64%), Eficiência (66%), Controle (65%) e Motivação (65%), tiveram uma confiabilidade moderada. Isso se deve, em parte, pela inconsistência nas respostas devido ao desconhecimento dos respondentes de alguns termos técnicos utilizados no questionário.

.5.2 Entrevista sobre a experiência do usuário e usabilidade

As impressões sobre a experiência dos participantes do GT durante o treinamento cognitivo e motor na RVI foram extraídas de uma entrevista semiestruturada, após as dez sessões de exposição. Nenhum dos participantes havia utilizado anteriormente de forma sistemática a RVI, apenas em demonstrações pontuais e/ou relatando o uso dos óculos 3D nos cinemas. Os participantes do GT possuem hábitos e frequência diária no uso de smartphone (100%) e computador (20%), além de aplicativos de mapas/GPS (30%) e jogos de celular (20%). Nenhum dos participantes joga videogame, mas 20% possuem assistente virtual em casa. As impressões dos participantes estão organizadas e detalhadas no Apêndice 6, pág. 145. Abaixo, um breve relato dessa experiência.

Os participantes foram questionados sobre a principal motivação e objetivo que os levaram a aderir ao treinamento cognitivo-motor na RVI. O principal motivador entre os participantes foi poder contribuir com a ciência de forma a gerar benefícios futuros para as pessoas idosas. O declínio cognitivo é a principal preocupação, assim, o objetivo foi poder estimular a memória em um ambiente inovador.

“Era uma pesquisa no ambiente daqui da UFMG e eu precisava de apoio para a memória. A ideia foi um tratamento mesmo.” (P01)

“Por ser uma coisa inovadora e que vai trazer muitos benefícios para o idoso.” (P34)

Após dez sessões utilizando a realidade virtual imersiva, os participantes avaliaram a experiência como sendo muito positiva. Aprender uma coisa nova foi enriquecedor para muitos. O uso de expressões como *“fantástico”, “superinteressante”, “excelente incentivador”, “bacana”*, foi associado à surpresa de terem conseguido chegar ao final do treinamento ainda motivados com o próprio desempenho, *“não imaginava que eu ia chegar a tanto”*. Quando questionados se acharam fácil ou difícil interagir no ambiente imersivo, os participantes tiveram a clara percepção da curva de aprendizagem durante o treinamento e, ao final das dez sessões, sentiram-se mais confiantes, principalmente na utilização dos controles manuais (manetes).

“Teve dias que eu saía daqui pensando que ‘esse negócio é muito interessante’, ... eu mando do lado de fora e dentro do virtual, assim, você tem que raciocinar a mesma coisa, você tem que ver, observar, guardar na memória, executar a coordenação motora, sabe?... A realidade do meu corpo é a realidade do virtual.” (P18)

“Foi uma experiência fantástica! Nunca imaginei que a gente conseguia fazer essas coisas no virtual. Para mim, estava longe da minha realidade. Mas eu achei muito interessante, tornou-se um prazer, uma motivação de querer fazer sempre melhor! Para

mim, foi um excelente incentivador, maravilhosa essa experiência que eu vivi aqui esses dias!” (P29)

As tarefas que mais chamaram atenção dos participantes estão relacionadas com o exercício da memória de trabalho e busca visual (supermercado), atenção (relógio e galeria), memória visual (farmácia), organização (sapateira e geladeira) e orientação espacial (cidade). A principal dificuldade que sentiram na execução dessas tarefas está relacionada ao domínio “*dos manetes*”. Usar dois controles, um em cada mão, a princípio, foi um desafio para os participantes. Em média, os participantes reportaram que ficaram mais confiantes no uso dos controles a partir da quarta sessão. Ao mesmo tempo, a experiência de interagir, agarrar, girar com as duas mãos, permitiu uma sensação de domínio da ação, uma experiência inédita de extensão do próprio corpo para interagir com o ambiente imersivo, muito próximo aos movimentos no ambiente real.

“Tudo que eu fiz tem ligação com a minha vida diária, eu pratiquei mais para meu dia a dia, tem que ficar atento no que você vai fazer e no que você precisa.” (P04)

“Estava difícil, pois eu não estava tendo domínio nas minhas mãos. Só depois de umas duas semanas, quatro sessões aprendi a mexer no dedo médio [botão agarrar]. Até então eu estava frustrada comigo.” (P34)

“Eu não tive dificuldade, achei tranquilo, mas a gente vai pegando confiança. Na primeira da farmácia a gente ia um por um, hoje já consigo pegar dois produtos, um em cada mão, segurar e virar com o manete. Evolui muito! Achei naturais os movimentos, na hora de pegar o cestinho, agarrar!” (P05)

O uso do HMD (óculos) possibilitou a “sensação de presença” no ambiente imersivo. No que se refere a esse aspecto, os participantes reportaram a vivência de outros espaços, de uma viagem. Alguns destacaram ter sentido uma leve pressão por causa do peso do HMD, mas não a ponto de interferir na experiência imersiva. Quatro participantes apresentaram enjoos durante o treinamento, o momento de maior desconforto foi relacionado ao Labirinto de Morris virtual no pré-teste. Apenas duas participantes relataram enjoos nas primeiras sessões na plataforma SBL.

Os óculos que me levaram para lá! O aparelho em si é incomodo! Mas a visão que você tem, ela parece que entra dentro do seu cérebro e você realmente está ali. Me sentia de corpo e alma ali dentro. Quando você tira os óculos, sabe, dá um choque!” (P07)

“Não, foi tranquilo! Naquele dia eu senti um pouco, fiquei com medo de cair no buraco, depois nunca mais senti. Numa boa, não parece que a gente ficava aqui meia hora, eu achava muito rápido.” (P09)

Ao avaliarem o próprio desempenho nas tarefas durante o treinamento, participantes relataram que foram melhorando aos poucos, de forma gradual, deixando de serem dominados pelo ambiente e passando a dominar suas ações. A percepção de melhora foi de todos, não só na execução das tarefas, mas também na percepção de evolução nos aspectos cognitivos. Vários relataram a generalização do treinamento cognitivo para as atividades diárias em suas casas. Disseram estar mais atentos, organizados, focados, mais rápidos para executar tarefas e aptos a memorizar as coisas que, há pouco tempo, tinham dificuldades.

“Lógico que senti e estou trazendo para o meu dia a dia, para prestar atenção. Com isso aqui estou vendo que eu tenho que focar, se vou mexer na roupa, tenho que fazer isso primeiro antes de fazer outra coisa. Ajuda a focar na tarefa.” (P06)

A maioria dos participantes considerou que o tempo de 30 min por sessão é suficiente para ficarem imersos. Aqueles que empolgaram com a RVI, sugeriram que o treinamento deveria ser mais frequente, com três ou mais sessões por semana. Alguns apontaram que aproveitariam mais se houvesse mais de dez sessões, pois demoraram praticamente a metade das sessões para dominarem os manetes e, só ao final, sentiram-se mais confiantes. Outro ponto de motivação foi o alinhamento do treinamento com os dias em que iam à Universidade participar das atividades do Programa de Envelhecimento Ativo. Ao resumirem sua experiência na realidade imersiva várias questões positivas foram apontadas, mas podemos destacar a oportunidade de viver uma experiência que jamais imaginaram.

“Tranquilo, se fizer mais vezes seguido, todo dia..., 30 min é pouco, eu ficaria uma hora. Eu sempre te dizia, ‘já acabou’?... Mais sessões, mais frequentes aí a pessoa ia desenvolver mais.” (P21)

“Foi muito além da minha expectativa! Aqui é o que a gente precisa de cognição, precisa de memória, precisa de controle motor, precisa de visão espacial, precisa de direcionamento. Então é não deixar o cérebro caducar, enferrujar! É movimentar todas as áreas do cérebro e inclusive esse lance de prevenção, que eu acho muito interessante.” (P01)

6 DISCUSSÃO

O objetivo do presente estudo foi investigar o efeito do treinamento cognitivo-motor na RVI para pessoas idosas ativas em parâmetros comportamentais e eletrofisiológicos. As hipóteses eram que o grupo submetido ao treinamento cognitivo e motor em um ambiente multidomínio de AIVD na plataforma de RVI *Systemic Lisbon Battery*, comparado ao grupo controle, apresentaria: 1) melhor desempenho na avaliação de memória de trabalho visuoespacial; 2) melhor desempenho na tarefa de destreza manual; 3) melhor desempenho na tarefa de aprendizagem e memória espacial no ambiente imersivo; 4) menor esforço cognitivo em todas as tarefas; 5) relato de uma experiência positiva após a exposição à realidade virtual imersiva. Com relação à hipótese 5, vale lembrar que apenas o grupo de treinamento realizou a avaliação de experiência do usuário. Em parte, as hipóteses relativas aos parâmetros comportamentais de memória de trabalho visuoespacial e aprendizagem e memória espacial na RVI foram confirmadas, enquanto de destreza manual não foi confirmada. Os resultados dos parâmetros eletrofisiológicos não suportaram as hipóteses levantadas. A hipótese que considera a experiência após a exposição ao treinamento na RVI, também foi confirmada.

A amostra final incluiu 27 pessoas idosas ativas, com idade média de 67,52 anos, predominando o sexo feminino. Os participantes foram contrabalanceados entre GT na RVI e GC, sem diferenças significativas nas características iniciais. Foram considerados, para o contrabalanceamento dos grupos os resultados nos MEEM e critérios de idade, sexo e mão-dominante. Apesar de ser uma amostra de conveniência, o tamanho final foi comparável ao de estudos similares sobre treinamento cognitivo em RVI com idosos.

O presente estudo apresenta contribuições relevantes quanto ao uso da RVI para intervenções cognitivas e motoras em pessoas idosas ativas. Foi constatado que o treinamento cognitivo e motor na RVI, utilizando as tarefas multidomínio de AIVD na plataforma SLB, durante 10 sessões de 30 minutos (cinco semanas), teve um efeito significativo na melhoria da memória de trabalho visuoespacial e na aprendizagem e memória espacial em pessoas idosas ativas. Foram constatadas também a aceitabilidade e a usabilidade destes instrumentos, ao atuarem como meios de treinamento cognitivo-motor, garantindo a aderência à intervenção, bem como indicando um fator motivacional de inclusão tecnológica para pessoas idosas.

6.1 Efeito do treinamento na tarefa de memória de trabalho visuoespacial e esforço cognitivo

Um dos principais achados deste estudo indica uma melhora no desempenho do GT na sequência direta do TBC, após o treinamento na RVI. O GT melhorou significativamente o escore total e o número do *span*, além de ter apresentado maior número de acertos (não significativo) no pós-teste da sequência direta do TBC, quando comparado ao GC. Em conjunto, estes resultados indicam que houve uma melhora na memória de trabalho visuoespacial do GT decorrente do treinamento na RVI. Diferentemente, os resultados da sequência inversa do TBC não indicaram melhoras significativas em nenhuma das variáveis.

Os resultados mostram que os dois grupos tiveram desempenho similar ao manter a informação na MTV e executar o caminho inverso. Segundo Kessels et al. (2008), é possível argumentar que a sequência direta avalia a capacidade de o sujeito manter a informação visuoespacial por um breve período de tempo, sendo uma boa medida para avaliar o componente visuoespacial da memória de trabalho (Baddeley, 2003; Kessels et al., 2008; Mitolo et al., 2017). Por sua vez, a sequência inversa seria mais complexa para as pessoas idosas, pois requer tanto a manutenção da informação quanto a manipulação, isto é, executar uma sequência inversa dos blocos. Assim, a sequência inversa não só envolve o componente visuoespacial, mas também pode envolver o executivo central da memória de trabalho (Baddeley, 2003; Guevara et al., 2018; Kessels et al., 2008; Mitolo et al., 2017; C. Wang et al., 2018). Nesse sentido, o desempenho inverso pode estar associado a maior demanda de atenção e aos processos de inibição necessários para inverter a ordem de reprodução de uma sequência (Guevara et al., 2018).

Uma hipótese pode ser proposta a partir desses resultados obtidos no TBC ordem direta e ordem inversa. A hipótese é a da especificidade do treinamento para a memória de trabalho visuoespacial, pois os tipos de tarefas sequenciais praticadas na RVI demandavam de manutenção de informações ativas na memória de trabalho e execução de suas sequências na ordem direta que foram apresentadas aos voluntários do grupo experimental. Se essa hipótese estiver correta, há um limite de transferência do que se treina na RVI para a função neuropsicológica. Nguyen et al. (2019) encontraram que melhorias cognitivas relacionadas ao treinamento são geralmente restritas a tarefas treinadas.

Até o presente momento, não há na literatura o uso do TBC convencional para avaliar o treinamento na RVI com pessoas idosas, o que dificulta uma análise comparativa. No entanto, no estudo de Mitolo et al. (2017), foi aplicado um treinamento de aprendizagem de rotas no

ambiente real em um grupo de pessoas idosas ($n = 30$), durante 14 sessões de 60 minutos, duas vezes por semana, para verificar os efeitos de transferência em processos cognitivos utilizando o TBC. Nos resultados, além da melhora imediata de desempenho, foi observada a transferência de amplitude visuoespacial no TBC com benefício mantido após três meses (Mitolo et al., 2017). Em ambientes virtuais, estudos anteriores reportaram que o treinamento cognitivo multidomínio de curta duração, tanto em um ambiente virtual não-imersivo com pessoas idosas (Gamito et al., 2019, 2020), quanto em RVI com pessoas com comprometimento cognitivo leve (Kang et al., 2021), tiveram um efeito positivo na função visuoespacial medido pelo teste da Figura Complexa de Rey (RCFT), resultados que se alinham com os achados deste estudo e confirmam esta hipótese.

Considerando as variáveis relativas ao esforço cognitivo registradas pelo EEG durante a tarefa do TBC, a hipótese era de que os índices de engajamento e *workload* diminuiriam no pós-teste do GT quando comparado ao GC. Contudo, não foram encontradas diferenças significativas nessas variáveis entre os testes e grupos, tanto na sequência direta, quanto na sequência inversa do TBC. O índice de engajamento está relacionado a processos que envolvem coleta de informações, varredura visual e atenção sustentada (Berka et al., 2004, 2007), assim, era esperado que o índice refletisse a melhoria do desempenho na sequência direta do GT, indicando uma maior eficiência neural e menor acesso aos recursos visuoespaciais para executar a mesma tarefa (Lelis-Torres et al., 2017). Vale ressaltar que a análise descritiva do índice de engajamento entre pré e pós-teste, na sequência direta do GT, indicou uma diminuição na média do índice, mas não o suficiente para acusar uma diferença estatística. O índice de *workload* do EEG está associado a maiores demandas cognitivas incluindo a carga de memória de trabalho, resolução de problemas, integração de informação e raciocínio analítico (Berka et al., 2004, 2007). Isso pode explicar o ocorrido no TBC, indicando a constante demanda da memória de trabalho com o aumento do *span* das sequências (Berka et al., 2007) e não apresentando diferença entre os grupos e nem entre os momentos. Estes resultados refutam a hipótese de que a tarefa demandaria menor carga cognitiva no pós-teste, resultado do aprendizado da tarefa após o treinamento na RVI. Uma possível explicação é a da eficiência neural, que se refere à capacidade do cérebro de executar tarefas cognitivas com o mínimo necessário de ativação neural, ou seja, à habilidade de processar informações de maneira eficaz sem demandar altos níveis de atividade em áreas cerebrais específicas (Liao et al., 2020). Em termos práticos, uma maior eficiência neural significa que o cérebro pode realizar funções cognitivas complexas, como memória, atenção e tomada de decisão, utilizando menos recursos, o que geralmente se

traduz em um melhor desempenho. Quando o cérebro utiliza seus recursos de forma mais eficiente, ele consegue alcançar resultados superiores com menor esforço (Jordan et al., 2020). No caso do presente estudo, apesar do esforço cognitivo dos grupos serem semelhantes indica que houve uma maior eficiência neural do GT indicado pelo melhor desempenho.

6.2 Efeito do treinamento na tarefa de aprendizagem e memória espacial e esforço cognitivo

No presente estudo, o Labirinto de Morris virtual (LMv) foi utilizado para avaliar a aprendizagem e memória espacial de pessoas idosas ativas, em diferentes tarefas de navegação, que dependem de referências visuais para se orientar no ambiente imersivo. No primeiro contato com o ambiente imersivo (pré-teste), os resultados de desempenho no LMv não apresentaram diferença entre grupos, apenas entre blocos, sugerindo, como esperado, que os dois grupos aprenderam a navegar de forma similar durante todas as fases (aquisição, transferência e controle). Após o treinamento cognitivo-motor na RVI, contudo, os resultados indicaram um efeito de grupo, apontando uma melhora significativa do GT no desempenho em todas as fases do LMv, quando comparado ao GC. Os resultados mostraram um efeito positivo do treinamento cognitivo-motor na RVI para a aprendizagem espacial através da avaliação por meio do LMv. De forma similar, Masoumzadeh & Moussavi (2020), aplicaram o teste *VR Morris Water Test* desenvolvido para avaliar a cognição espacial, após um treinamento em um simulador de direção em RVI. O treinamento foi aplicado em pessoas com diferentes níveis de demências (n = 11) durante 10 sessões de 30 min, por duas semanas seguidas e os resultados apontaram uma melhora significativa na cognição espacial avaliada por meio do *VR Morris Water Test* (Masoumzadeh & Moussavi, 2020). Tais achados se alinham aos deste estudo e apontam que melhorias em funções que tradicionalmente declinam com a idade podem ser obtidas com estimulação em RVI. Outro destaque é a adaptação no teste LMv que foi sensível para diferenciar os efeitos do treinamento na RVI. A memória espacial envolvendo a navegação em ambientes complexos é um fator crucial para uma boa autonomia do idoso.

A avaliação do esforço cognitivo no pré-teste, durante a navegação no LMv, mostrou, como esperado, que o EEG-índice de engajamento e o índice de *workload* não apresentaram diferença estatística na fase de aquisição e na fase de transferência. No entanto, na fase de controle foram encontradas diferenças entre o bloco 1 e 2, em ambos os índices, refletindo o aprendizado no desempenho desta fase da tarefa. Na fase de controle do LMv, os participantes foram instruídos a navegar até um alvo visível na praça, utilizando uma estratégia egocêntrica,

menos comprometida no processo de envelhecimento e dependente do córtex parietal (Gazova et al., 2013; Lester et al., 2017).

Os resultados do pós-teste, ao contrário do que se esperava, indicaram que não houve diferença entre os grupos em nenhuma das fases do LMv na avaliação do esforço cognitivo. O esperado era que ambos os índices fossem menores para o GT, em todas as fases, refletindo o desempenho do pós-teste. Estes resultados podem estar relacionados com a complexidade da tarefa no LMv, aliados ao processamento da memória de trabalho relacionado à idade. A interação eficiente entre os recursos de memória de longo prazo e memória de trabalho permite que pessoas equilibrem as demandas cognitivas em tarefas complexas. Assim, ao executar a mesma tarefa, pessoas idosas saudáveis apresentaram continuamente maior esforço cognitivo do que adultos mais jovens. Esta observação sugere que um esforço cognitivo excessivo pode ser causada pelo uso ineficiente dos recursos cerebrais e pode ser potencialmente um sinal de comprometimento cognitivo (Shadpour et al., 2023). A diminuição da eficiência neural pode explicar o aumento da variabilidade e a redução da velocidade de resposta em tarefas cognitivas (Liao et al., 2020), no caso do LMv como no TBC, podemos inferir que o GT teve melhor eficiência neural comparado ao GC, implicando em um melhor desempenho nas tarefas.

6.3 Efeito do treinamento na tarefa de destreza manual e esforço cognitivo

Na avaliação de destreza manual no *Grooved Pegboard* (GPT), não houve diferença estatística de desempenho entre grupos no pós-teste em nenhuma das quatro condições: (1) colocar os pinos com a mão dominante (MD) e com a (2) mão não-dominante (MND) e (3) retirar os pinos com a MD e com a (4) MND. Era esperado que o tempo de resposta fosse menor para o GT no pós-teste em todas as condições, quando comparado ao GC. Contudo, houve diferença entre os momentos pré-teste e pós-teste, isto é, os dois grupos melhoraram em ambas as condições da MD. Esse resultado indica baixa confiabilidade teste-reteste. Em outras palavras o efeito de aprendizagem foi da aplicação do GPT em dois momentos, pois ambos os grupos aprenderam.

Foram encontrados na literatura dois estudos com pacientes clínicos que avaliaram o efeito de intervenções em RV não-imersiva por meio da destreza manual no GPT (S. Lee et al., 2016; Waliño-Paniagua et al., 2019). No estudo de Waliño-Paniagua et al. (2019), não foram observadas diferenças significativas na destreza manual em pacientes com esclerose múltipla alocados no grupo de terapia ocupacional (TO) convencional (n = 8) e no grupo experimental TO+RV (n = 8) utilizando o GPT, mas foram constatadas melhorias em relação à precisão e à

eficácia de determinadas tarefas funcionais. A justificativa dada para este achado recai no tamanho pequeno da amostra, que pode ter influenciado estes resultados (Waliño-Paniagua et al., 2019). Em contrapartida, no estudo de Lee et al., (2016) foi utilizado um treinamento bilateral dos membros superiores na RV (n = 10) comparado com exercícios convencionais de TO (n=8) em pacientes com acidente vascular encefálico (AVE). Os resultados indicam que houve melhora significativa nas avaliações GPT entre os grupos, sugerindo que a RV é um meio viável e benéfico de melhorar a função dos membros superiores em exercícios de AIVD (S. Lee et al., 2016). Apesar do GPT ser usado como uma medida primária de destreza motora, algumas pesquisas indicam que o desempenho neste teste pode refletir também fatores cognitivos como: atenção, funções executivas, memória e organização visuoespacial, principalmente quando associado a testes neuropsicológicos (Tolle et al., 2020). Estudos mostram uma associação consistente entre as funções cognitivas e diferentes aspectos da função física, como velocidade da marcha, mobilidade, equilíbrio, força muscular e função das mãos (Ashendorf et al., 2009; Hesseberg et al., 2020; Tolle et al., 2020; VanGilder et al., 2018).

O GPT é um teste neuropsicológico bem consolidado e amplamente utilizado em diversos tipos de investigações. Nesse caso, uma possível explicação de não ter havido uma diferença entre os grupos, foi o fato de os participantes manterem suas atividades físicas regulares, exigindo igualmente dos aspectos motores e cognitivos. Podemos também supor que o número de sessões de treinamento na RVI não foi suficiente para impactar de forma mais incisiva o desempenho de destreza manual dos participantes do GT. Ou mesmo, e talvez o mais pertinente, o GPT não foi um instrumento sensível o bastante para avaliar as melhoras na destreza manual neste contexto. A maioria das tarefas no SLB exigiam movimentos mais amplos, não havendo assim, similaridade das tarefas realizadas no RVI que poderiam impactar em um teste que demanda modulação de força e precisão no pós-teste no GPT.

Os fatores que influenciam a performance dos movimentos manuais são o índice de dificuldade da tarefa e o de lateralidade que, por sua vez, estão relacionados com a quantidade de informação que as pessoas conseguem processar (Fitts, 1954). Assim, se o índice de dificuldade da tarefa for alto e se for executado com a mão não-dominante o esforço mental pode aumentar (Lelis-Torres et al., 2017b). Os resultados do EEG-índice de engajamento e o índice de *workload* do esforço cognitivo indicam que não houve diferença estatística entre o GT comparado ao GC durante pré e pós-teste nas quatro condições. Esses resultados refletem os achados de desempenho na tarefa do GPT. No entanto, é possível perceber uma diminuição do índice de engajamento no pós-teste do GT em todas as condições na busca visual por

informações no ambiente (Figura 36) o que sugere uma melhora na atenção e organização visuoespacial, mas não o suficiente para ter impacto no desempenho da tarefa. A medida que a dificuldade da tarefa diminui, o fluxo sanguíneo cerebral diminui nas áreas associadas ao planejamento, exigindo menor processamento visuomotor (Winstein et al., 1997).

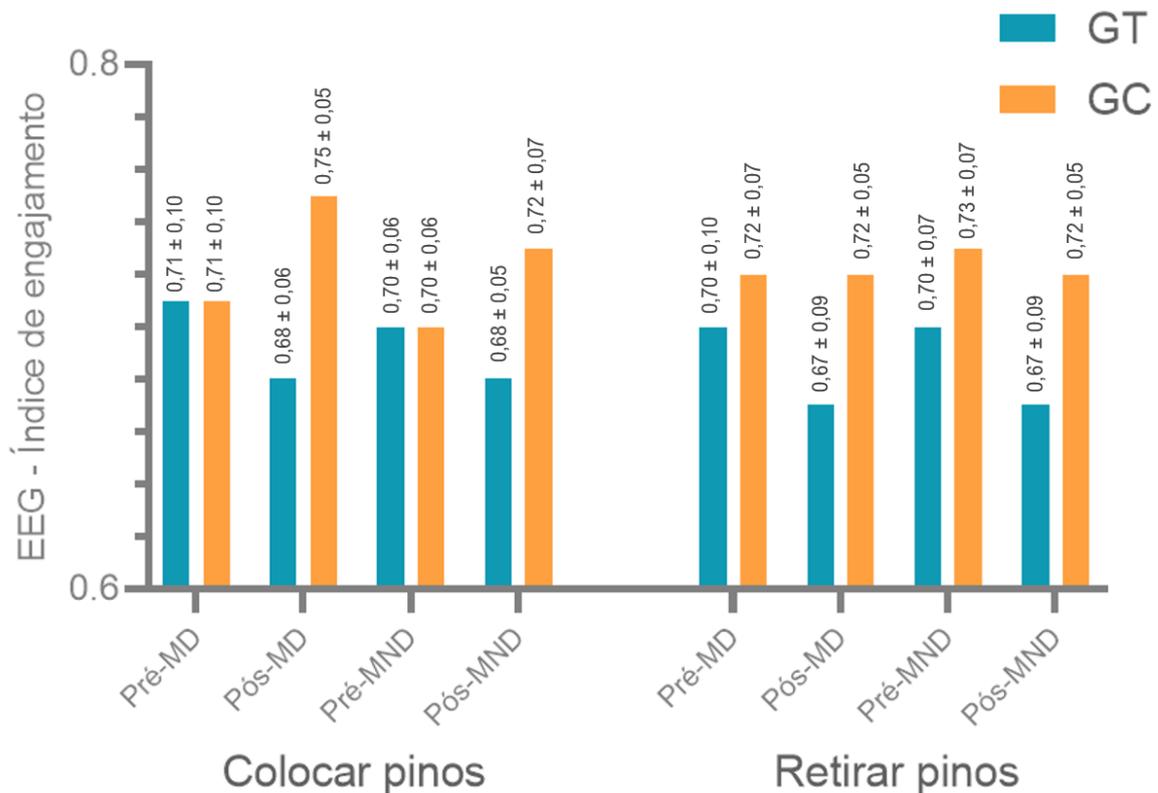


Figura 36. Análise descritiva do EEG - índice de engajamento na tarefa do GPT para colocar e retirar pinos nos momentos pré e pós-teste.

Outro ponto observado é a diminuição no índice de *workload* no pós-teste do GT nas condições de retirada da MD e MND. Níveis mais baixos de *workload*, durante a execução da tarefa, indicam uma tarefa mais fácil de ser executada (Lelis-Torres et al., 2017b). O estudo de Lelis-Torres et al. (2017b) investigou a relação entre o nível de carga mental, o índice de dificuldade da tarefa e a lateralidade nos movimentos manuais na execução do GPT. As análises de lateralidade indicaram menor tempo de movimento com a mão direita em relação à mão esquerda, sem haver diferença entre os índices de *workload*. O esforço cognitivo reflete um subconjunto de funções executivas envolvidas no planejamento e monitoramento que, possivelmente, são mais necessárias na colocação dos pinos devido a maior demanda visuomotor (Lelis-Torres et al., 2017b).

6.4 Experiência de pessoas idosas durante a exposição ao treinamento em RVI

No presente estudo, a avaliação da experiência do treinamento cognitivo e motor no sistema SLB pelos 15 participantes do GT aconteceu na última sessão de treinamento e foi registrada quantitativamente por meio do questionário da experiência do usuário (QEU) e qualitativamente através de relatos individuais da experiência durante o treinamento na RVI. Em relação à usabilidade e à UX do sistema SLB, tanto o QEU, quanto as entrevistas, revelaram que a experiência avaliada pelos participantes foi bastante positiva.

Dos itens avaliados no QEU (Schrepp et al., 2017), a Atratividade refere-se a uma dimensão de valência pura, uma reação emocional numa dimensão de aceitação/rejeição ao ambiente imersivo e foi muito bem avaliada entre os participantes do GT. Clareza, Eficiência e Controle são aspectos pragmáticos de qualidade, ou seja, descrevem a natureza da interação relacionadas às tarefas e aos objetivos que o usuário deve alcançar ao usar o SLB. O item Clareza, mesmo tendo a menor avaliação, foi considerado muito bom. Motivação e Inovação são aspectos de qualidade hedônica, ou seja, não se relacionam a tarefas e objetivos, mas descrevem aspectos relacionados ao prazer ou diversão no uso do sistema. A Inovação está diretamente relacionada à novidade e à criatividade da plataforma, sendo o item com melhor avaliação entre os participantes do GT. Poucos estudos na RVI aplicaram o QEU, um estudo piloto de Matamala-Gomez et al. (2020) avaliou o ambiente imersivo para tratamento de transtornos alimentares com cinco pacientes com anorexia nervosa. Foram relatados altos níveis de corporificação em um corpo semelhante ao tamanho real e percebido a partir de perspectivas egocêntrica e allocêntrica, no entanto, foram necessários ajustes adicionais para melhorar a usabilidade do sistema RV e a experiência do usuário (Matamala-Gomez et al., 2020). Comparando, a plataforma SLB foi mais bem avaliada, não só em termos de usabilidade e eficácia do sistema, mas também considerando fatores motivacionais.

A experiência do treinamento cognitivo-motor na RVI, proposta neste estudo, foi muito bem avaliada pelos participantes do GT (Apêndice 6, pág. 145). Mesmo com problemas pontuais de interação com o sistema, como travamento do sistema e tempo de aprendizagem inicial no uso dos manetes, a usabilidade geral foi considerada muito boa e motivante. Na literatura, é possível encontrar estudos que avaliam positivamente a usabilidade de sistemas para pessoas idosas ou com questões clínicas, mas a maioria são sistemas não-imersivos (Arlati et al., 2021; Tuena et al., 2020). Em conformidade com o estudo de Huygelier et al. (2019), houve aceitação no uso do HMD para esse público específico. No caso, desconfortos mínimos

foram relatados, especificamente relacionados aos ajustes na colocação do equipamento e um leve sobrepeso do HMD.

Uma boa “sensação de presença” foi proporcionada pelo sistema SLB que permitiu aos participantes se envolver com as tarefas no ambiente virtual durante o treinamento e muito poucos participantes sentiram *cybersickness* iniciais (Weech et al., 2019). No presente estudo foi observado que os participantes que relataram o *cybersickness* no pré-teste não tiveram o mesmo desconforto no pós-teste, indicando que esse *cybersickness* pode ser atenuado com o aumento no número de exposições ao ambiente.

Apesar de resultados inconsistentes encontrados na literatura sobre treinamento cognitivo e motor na RV não-imersiva e imersiva (H. Kim et al., 2021; Riaz et al., 2021), estudos recentes têm relatado efeitos médios a altos em funções cognitivas globais, memória e função executiva ao comparar diretamente, em sua maioria, intervenções entre pessoas idosas ativas e pessoas com limitações cognitivas (Buele et al., 2023; Kang et al., 2021; Ortiz-Mallasén et al., 2024). O presente estudo traz evidências importantes acerca do treinamento cognitivo-motor na RVI para pessoas idosas fisicamente ativas. Como resultado do treinamento durante cinco semanas com dez sessões de 30 minutos na plataforma imersiva de atividades instrumentais da vida diária, foi verificado um tamanho de efeito de médio a alto em processos cognitivos visuoespaciais. Houve principalmente uma melhora significativa nas funções de memória de trabalho visuoespacial e navegação espacial. Como também, foi constatada uma adesão de 100% ao treinamento, o que sugere que o uso da tecnologia imersiva é um fator motivacional de inclusão tecnológica para pessoas idosas. Este estudo demonstra a viabilidade de intervenções na RVI para manter ou aprimorar funções cognitivas e motoras em pessoas idosas ativas.

6.5 Limitações e direções futuras

Dentre as limitações desse estudo, destaca-se o tamanho amostral obtido por conveniência e o fato de os participantes não terem sido randomizados entre os grupos e sim contrabalançados, o que pode ter criado um viés de seleção. Assim, recomenda-se novos estudos com uma amostra maior do que a do presente estudo, utilizando o cálculo amostral e randomização. Vale ressaltar que para as medidas que foram encontrados efeitos significativos do treinamento na RVI, muitas delas mostram um tamanho de efeito de médio a alto mostrando a diferença entre os grupos, mesmo com a amostra por conveniência. Houve a falta de especificidade do teste motor (GPT) para avaliar a destreza manual considerando as atividades

que foram treinadas na RVI. Sugere-se a aplicação de tarefas de destreza e função manual mais complexas do que a do GPT, pois as demandas motoras apresentadas na plataforma parecem ser mais complexas do que as exigidas no teste aplicado nesse estudo. Por fim, sugere-se novas métricas eletroencefalográficas, pois se há mudança no comportamento, deve haver mudanças neurobiológicas, e ao que tudo indica, as utilizadas no presente estudo não foram sensíveis para capturar essas relações.

7 CONCLUSÃO

O presente estudo investigou os efeitos do treinamento cognitivo-motor na realidade virtual imersiva para pessoas idosas ativas. Os resultados indicaram que houve uma melhora das funções visuoespaciais relacionadas à memória de trabalho e navegação espacial para os indivíduos que treinaram na RVI. No entanto, o treinamento não contribuiu para a melhoria direta das funções motoras finas e de esforço cognitivo, o que pode indicar que alguns instrumentos utilizados podem não ter sido sensíveis o suficiente para avaliar a melhora da intervenção para pessoas idosas ativas. Os resultados indicaram, ainda, a aceitabilidade ao uso dos equipamentos e aderência total da referida amostra ao treinamento na RVI. Em conjunto, os achados obtidos sugerem que o treinamento cognitivo-motor na RVI pode aprimorar as habilidades visuoespaciais ao expor pessoas idosas ativas em um ambiente virtual enriquecido, construído para atividades instrumentais da vida diária.

REFERÊNCIAS

- Almeida, O. P., & Almeida, S. A. (1999). Reliability of the Brazilian version of the geriatric depression scale (GDS) short form. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, *57*(2 B), 421–426. <https://doi.org/10.1590/s0004-282x1999000300013>
- Anguera, J. A., Boccanfuso, J., Rintoul, J. L., Al-Hashimi, O., Faraji, F., Janowich, J., Kong, E., Larraburo, Y., Rolle, C., Johnston, E., & Gazzaley, A. (2013). Video game training enhances cognitive control in older adults. *Nature*, *501*(7465), 97–101. <https://doi.org/10.1038/nature12486>
- Anguera, J. A., Schachtner, J. N., Simon, A. J., Volponi, J., Javed, S., Gallen, C. L., & Gazzaley, A. (2021). Long-term maintenance of multitasking abilities following video game training in older adults. *Neurobiology of Aging*, *103*, 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2021.02.023>
- Anguera, J. A., Volponi, J. J., Simon, A. J., Gallen, C. L., Rolle, C. E., Anguera-Singla, R., Pitsch, E. A., Thompson, C. J., & Gazzaley, A. (2022). Integrated cognitive and physical fitness training enhances attention abilities in older adults. *Npj Aging*, *8*(1). <https://doi.org/10.1038/s41514-022-00093-y>
- Arlati, S., Di Santo, S. G., Franchini, F., Mondellini, M., Filiputti, B., Luchi, M., Ratto, F., Ferrigno, G., Sacco, M., & Greci, L. (2021). Acceptance and usability of immersive virtual reality in older adults with objective and subjective cognitive decline. *Journal of Alzheimer's Disease*, *80*(3), 1025–1038. <https://doi.org/10.3233/JAD-201431>
- Ashendorf, L., Vanderslice-Barr, J. L., & McCaffrey, R. J. (2009). Motor tests and cognition in healthy older adults. *Applied Neuropsychology*, *16*(3), 171–176. <https://doi.org/10.1080/09084280903098562>
- Baddeley, A. (2003). Working memory: looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, *4*(10), 829–839. <https://doi.org/10.1038/nrn1201>
- Batista, L. N., Apolinário-Souza, T., Amaral-Medeiros, D., & Fernandes, L. A. (2024). Influência Do Sexo E Nível Cognitivo Na Destreza Manual Em Pessoas Idosas. *Corpoconsciência*, *June*, e16012. <https://doi.org/10.51283/rc.28.e16012>
- Bauer, A. C. M., & Andringa, G. (2020). The Potential of Immersive Virtual Reality for Cognitive Training in Elderly. *Gerontology*, *66*(6), 614–623. <https://doi.org/10.1159/000509830>
- Bauer, R. M. (2014). Visuospatial, visuoperceptual, and visuoconstructional disorders. In *Clinical neuropsychology: A pocket handbook for assessment (3rd ed.)*. (pp. 436–462). <https://doi.org/10.1037/14339-020>

- Belleville, S. (2008). Cognitive training for persons with mild cognitive impairment. *International Psychogeriatrics*, 20(1), 57–66. <https://doi.org/10.1017/S104161020700631X>
- Berka, C., Izzetoglu, K., Bunce, S., Onaral, B., Pourrezaei, K., & Chance, B. (2004). Real-Time Analysis of EEG Indexes of Alertness, Cognition, and Memory Acquired With a Wireless EEG Headset. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 17(2), 211–227. <https://doi.org/10.1207/s15327590ijhc1702>
- Berka, C., Levendowski, D. J., Lumicao, M. N., Yau, A., Davis, G., Zivkovic, V. T., Olmstead, R. E., Tremoulet, P. D., & Craven, P. L. (2007). EEG correlates of task engagement and mental workload in vigilance, learning, and memory tasks. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 78(5 II).
- Berry, A. S., Zanto, T. P., Clapp, W. C., Hardy, J. L., Delahunt, P. B., Mahncke, H. W., & Gazzaley, A. (2010). The influence of perceptual training on working memory in older adults. *PLoS ONE*, 5(7), 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011537>
- Bertolucci, P. H. F., Brucki, S. M. D., Campacci, S. R., & Juliano, Y. (1994). O Mini-Exame do Estado Mental em uma população geral: impacto da escolaridade. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, 52(1), 01–07. <https://doi.org/10.1590/s0004-282x1994000100001>
- Bo, J., Borza, V., & Seidler, R. D. (2009). Age-Related Declines in Visuospatial Working Memory Correlate With Deficits in Explicit Motor Sequence Learning. *Journal of Neurophysiology*, 102(5), 2744–2754. <https://doi.org/10.1152/jn.00393.2009>
- Bohil, C. J., Alicea, B., & Biocca, F. A. (2011). Virtual reality in neuroscience research and therapy. *Nature Reviews Neuroscience*, 12(12). <https://doi.org/10.1038/nrn3122>
- Bowman, D. A., & McMahan, R. P. (2007). Virtual reality: How much immersion is enough? *Computer*, 40(7), 36–43. <https://doi.org/10.1109/MC.2007.257>
- Bryden, P. J., & Roy, E. A. (2005). A new method of administering the Grooved Pegboard Test: Performance as a function of handedness and sex. *Brain and Cognition*, 58(3), 258–268. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2004.12.004>
- Buele, J., Varela-Aldás, J. L., & Palacios-Navarro, G. (2023). Virtual reality applications based on instrumental activities of daily living (iADLs) for cognitive intervention in older adults: a systematic review. In *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* (Vol. 20, Issue 1). BioMed Central. <https://doi.org/10.1186/s12984-023-01292-8>
- Cabeza, R., Albert, M., Belleville, S., Craik, F. I. M., Duarte, A., Grady, C. L., Lindenberger, U., Nyberg, L., Park, D. C., Reuter-Lorenz, P. A., Rugg, M. D., Steffener, J., & Rajah, M. N. (2018). Maintenance, reserve and compensation: the cognitive neuroscience of healthy ageing. In *Nature Reviews Neuroscience* (Vol. 19, Issue 11, pp. 701–710). Springer US.

<https://doi.org/10.1038/s41583-018-0068-2>

- Cabeza, R., Anderson, N. D., Locantore, J. K., & McIntosh, A. R. (2002). Aging gracefully: Compensatory brain activity in high-performing older adults. *NeuroImage*, *17*(3), 1394–1402. <https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1280>
- Cai, L., Chan, J. S. Y., Yan, J. H., & Peng, K. (2014). Brain plasticity and motor practice in cognitive aging. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *6*(MAR), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2014.00031>
- Campo-Prieto, P., Cancela, J. M., & Rodríguez-Fuentes, G. (2021). Immersive virtual reality as physical therapy in older adults: present or future (systematic review). *Virtual Reality*, *0123456789*. <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00495-x>
- Causse, M., Chua, Z. K., & Rémy, F. (2019). Influences of age, mental workload, and flight experience on cognitive performance and prefrontal activity in private pilots: a fNIRS study. *Scientific Reports*, *9*(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44082-w>
- Chen, Y., & Crawford, J. D. (2020). Allocentric representations for target memory and reaching in human cortex. In *Annals of the New York Academy of Sciences* (Vol. 1464, Issue 1, pp. 142–155). <https://doi.org/10.1111/nyas.14261>
- Chiu, H. L., Chu, H., Tsai, J. C., Liu, D., Chen, Y. R., Yang, H. L., & Chou, K. R. (2017). The effect of cognitive-based training for the healthy older people: A meta-analysis of randomized controlled trials. *PLoS ONE*, *12*(5), 1–20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176742>
- Clare, L., Marková, I., Verhey, F., & Kenny, G. (2005). Awareness in dementia: A review of assessment methods and measures. *Aging and Mental Health*, *9*(5), 394–413. <https://doi.org/10.1080/13607860500142903>
- Colombo, D., Serino, S., Tuena, C., Pedroli, E., Dakanalis, A., Cipresso, P., & Riva, G. (2017). Egocentric and allocentric spatial reference frames in aging: A systematic review. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *80*(July), 605–621. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.07.012>
- Corsi, P. M. (1972). Human memory and the medial temporal region of the brain (Doctoral Dissertation). *Dissertations Abstracts International.*, *34*(2), 819B.
- Coyle, H., Traynor, V., & Solowij, N. (2015). Computerized and virtual reality cognitive training for individuals at high risk of cognitive decline: Systematic review of the literature. *American Journal of Geriatric Psychiatry*, *23*(4), 335–359. <https://doi.org/10.1016/j.jagp.2014.04.009>
- Cummings, J. J., & Bailenson, J. N. (2016). How Immersive Is Enough? A Meta-Analysis of the Effect of Immersive Technology on User Presence. *Media Psychology*, *19*(2), 272–

309. <https://doi.org/10.1080/15213269.2015.1015740>

- de Bruin, N., Bryant, D. C., MacLean, J. N., & Gonzalez, C. L. R. (2016). Assessing Visuospatial Abilities in Healthy Aging: A Novel Visuomotor Task. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 8(FEB), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2016.00007>
- Dehais, F., Lafont, A., Roy, R., & Fairclough, S. (2020). A Neuroergonomics Approach to Mental Workload, Engagement and Human Performance. In *Frontiers in Neuroscience* (Vol. 14, Issue April, pp. 1–17). <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00268>
- Dennis, N. A., & Cabeza, R. (2015). Neuroimaging of Healthy Cognitive Aging. In *The Handbook of Aging and Cognition*. <https://doi.org/10.4324/9780203837665.ch1>
- Dermody, G., Whitehead, L., Wilson, G., & Glass, C. (2020). The role of virtual reality in improving health outcomes for community-dwelling older adults: Systematic review. *Journal of Medical Internet Research*, 22(6). <https://doi.org/10.2196/17331>
- Devos, H., Gustafson, K., Ahmadnezhad, P., Liao, K., Mahnken, J. D., Brooks, W. M., & Burns, J. M. (2020). Psychometric properties of NASA-TLX and index of cognitive activity as measures of cognitive workload in older adults. *Brain Sciences*, 10(12), 1–13. <https://doi.org/10.3390/brainsci10120994>
- Diersch, N., & Wolbers, T. (2019). *The potential of virtual reality for spatial navigation research across the adult lifespan*. <https://doi.org/10.1242/jeb.187252>
- Doniger, G. M., Beeri, M. S., Bahar-Fuchs, A., Gottlieb, A., Tkachov, A., Kenan, H., Livny, A., Bahat, Y., Sharon, H., Ben-Gal, O., Cohen, M., Zeilig, G., & Plotnik, M. (2018). Virtual reality-based cognitive-motor training for middle-aged adults at high Alzheimer's disease risk: A randomized controlled trial. *Alzheimer's and Dementia: Translational Research and Clinical Interventions*, 4, 118–129. <https://doi.org/10.1016/j.trci.2018.02.005>
- Eisapour, M., Cao, S., Domenicucci, L., & Boger, J. (2018). Participatory Design of a Virtual Reality Exercise for People with Mild Cognitive Impairment. *Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '18, April*, 1–9. <https://doi.org/10.1145/3170427.3174362>
- Ekstrom, A. D. (2015). Why vision is important to how we navigate. *Hippocampus*, 25(6), 731–735. <https://doi.org/10.1002/hipo.22449>
- Ekstrom, A. D., Huffman, D. J., & Starrett, M. (2017). Where Are You Going? The Neurobiology of Navigation Interacting networks of brain regions underlie human spatial navigation: a review and novel synthesis of the literature. *J Neurophysiol*, 118, 3328–3344. <https://doi.org/10.1152/jn.00531.2017>
- Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the

- amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47(6), 381–391. <https://doi.org/10.1037/h0055392>
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). “Mini-mental state.” *Journal of Psychiatric Research*, 12(3), 189–198. [https://doi.org/10.1016/0022-3956\(75\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0022-3956(75)90026-6)
- Gamito, P., Morais, D., Oliveira, J., Ferreira Lopes, P., Picareli, L. F., Matias, M., Correia, S., & Brito, R. (2016). Systemic Lisbon Battery: Normative Data for Memory and Attention Assessments. *JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies*, 3(1), e5. <https://doi.org/10.2196/rehab.4155>
- Gamito, P., Oliveira, J., Alves, C., Santos, N., Coelho, C., & Brito, R. (2020). Virtual Reality-Based Cognitive Stimulation to Improve Cognitive Functioning in Community Elderly: A Controlled Study. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 23(3), 150–156. <https://doi.org/10.1089/cyber.2019.0271>
- Gamito, P., Oliveira, J., Morais, D., Coelho, C., Santos, N., Alves, C., Galamba, A., Soeiro, M., Yerra, M., French, H., Talmers, L., Gomes, T., & Brito, R. (2019). Cognitive Stimulation of Elderly Individuals with Instrumental Virtual Reality-Based Activities of Daily Life: Pre-Post Treatment Study. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 22(1), 69–75. <https://doi.org/10.1089/cyber.2017.0679>
- Gazova, I., Laczó, J., Rubinova, E., Mokrisova, I., Hyncicova, E., Andel, R., Vyhnalek, M., Sheardova, K., Coulson, E. J., & Hort, J. (2013). Spatial navigation in young versus older adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 5(DEC), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2013.00094>
- Gazzaley, A., Clapp, W., Kelley, J., McEvoy, K., Knight, R. T., & D’Esposito, M. (2008). Age-related top-down suppression deficit in the early stages of cortical visual memory processing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(35), 13122–13126. <https://doi.org/10.1073/pnas.0806074105>
- Gazzaley, A., & Nobre, A. C. (2012). Top-down modulation: Bridging selective attention and working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(2), 129–135. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.11.014>
- Guevara, M. A., Cruz Paniagua, E. I., Hernández González, M., Sandoval Carrillo, I. K., Almanza Sepúlveda, M. L., Hevia Orozco, J. C., & Amezcua Gutiérrez, C. (2018). EEG activity during the spatial span task in young men: Differences between short-term and working memory. *Brain Research*, 1683, 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2018.02.004>
- Halbig, A., & Latoschik, M. E. (2021). A Systematic Review of Physiological Measurements, Factors, Methods, and Applications in Virtual Reality. *Frontiers in Virtual Reality*, 2(July), 1–32. <https://doi.org/10.3389/frvir.2021.694567>

- Hedden, T., & Gabrieli, J. D. E. (2004). Insights into the ageing mind: A view from cognitive neuroscience. *Nature Reviews Neuroscience*, 5(2), 87–96. <https://doi.org/10.1038/nrn1323>
- Hesseberg, K., Tangen, G. G., Pripp, A. H., & Bergland, A. (2020). Associations between Cognition and Hand Function in Older People Diagnosed with Mild Cognitive Impairment or Dementia. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders Extra*, 10(3), 195–204. <https://doi.org/10.1159/000510382>
- Huang, K. T. (2020). Exergaming Executive Functions: An Immersive Virtual Reality-Based Cognitive Training for Adults Aged 50 and Older. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 23(3), 143–149. <https://doi.org/10.1089/cyber.2019.0269>
- Huygelier, H., Schraepen, B., van Ee, R., Vanden Abeele, V., & Gillebert, C. R. (2019). Acceptance of immersive head-mounted virtual reality in older adults. *Scientific Reports*, 9(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41200-6>
- Iachini, T., Iavarone, A., Senese, V. P., Ruotolo, F., & Ruggiero, G. (2009). Visuospatial Memory in Healthy Elderly, AD and MCI: A Review. *Current Aging Science*, 43–59.
- Iordan, A. D., Cooke, K. A., Moored, K. D., Katz, B., Buschkuehl, M., Jaeggi, S. M., Polk, T. A., Peltier, S. J., Jonides, J., & Reuter-Lorenz, P. A. (2020). Neural correlates of working memory training: Evidence for plasticity in older adults. *NeuroImage*, 217(February), 116887. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.116887>
- Johnson, R. R., Popovic, D. P., Olmstead, R. E., Stikic, M., Levendowski, D. J., & Berka, C. (2011). Drowsiness/alertness algorithm development and validation using synchronized EEG and cognitive performance to individualize a generalized model. *Biological Psychology*, 87(2), 241–250. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2011.03.003>
- Kang, J. M., Kim, N., Lee, S. Y., Woo, S. K., Park, G., Yeon, B. K., Park, J. W., Youn, J.-H., Ryu, S.-H., Lee, J.-Y., & Cho, S.-J. (2021). Effect of Cognitive Training in Fully Immersive Virtual Reality on Visuospatial Function and Frontal-Occipital Functional Connectivity in Predementia: Randomized Controlled Trial. *Journal of Medical Internet Research*, 23(5), e24526. <https://doi.org/10.2196/24526>
- Kessels, R. P. C., Van Den Berg, E., Ruis, C., & Brands, A. M. A. (2008). The backward span of the corsi block-tapping task and its association with the WAIS-III digit span. *Assessment*, 15(4), 426–434. <https://doi.org/10.1177/1073191108315611>
- Kessels, R. P. C., Van Zandvoort, M. J. E., Postma, A., Kappelle, L. J., & De Haan, E. H. F. (2000). The Corsi Block-Tapping Task: Standardization and normative data. *Applied Neuropsychology*, 7(4), 252–258. https://doi.org/10.1207/S15324826AN0704_8
- Kilteni, K., Groten, R., & Slater, M. (2012). The Sense of Embodiment in virtual reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 21(4), 373–387.

https://doi.org/10.1162/PRES_a_00124

- Kim, A., Darakjian, N., & Finley, J. M. (2017). Walking in fully immersive virtual environments: an evaluation of potential adverse effects in older adults and individuals with Parkinson's disease. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, *14*(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12984-017-0225-2>
- Kim, H., Hong, J. P., Kang, J. M., Kim, W. H., Maeng, S., Cho, S. E., Na, K. S., Oh, S. H., Park, J. W., Cho, S. J., & Bae, J. N. (2021). Cognitive reserve and the effects of virtual reality-based cognitive training on elderly individuals with mild cognitive impairment and normal cognition. *Psychogeriatrics*, *21*(4), 552–559. <https://doi.org/10.1111/psyg.12705>
- Kober, S. E., Kurzmann, J., & Neuper, C. (2012). Cortical correlate of spatial presence in 2D and 3D interactive virtual reality: An EEG study. *International Journal of Psychophysiology*, *83*(3), 365–374. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.12.003>
- Kravitz, D. J., Saleem, K. S., Baker, C. I., & Mishkin, M. (2011). A new neural framework for visuospatial processing. *Nature Reviews Neuroscience*, *12*(4), 217–230. <https://doi.org/10.1038/nrn3008>
- Kronovsek, T., Hermand, E., Berthoz, A., Castilla, A., Gallou-Guyot, M., Daviet, J.-C., & Perrochon, A. (2021). Age-related decline in visuo-spatial working memory is reflected by dorsolateral prefrontal activation and cognitive capabilities. *Behavioural Brain Research*, *398*(October 2020), 112981. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2020.112981>
- Lampit, A., Hallock, H., & Valenzuela, M. (2014). Computerized Cognitive Training in Cognitively Healthy Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis of Effect Modifiers. *PLoS Medicine*, *11*(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001756>
- Lancia, S., Cofini, V., Carrieri, M., Ferrari, M., & Quaresima, V. (2018). Are ventrolateral and dorsolateral prefrontal cortices involved in the computerized Corsi block-tapping test execution? An fNIRS study. *Neurophotonics*, *5*(01), 1. <https://doi.org/10.1117/1.nph.5.1.011019>
- Lecavalier, N., Ouellet, É., Boller, B., & Belleville, S. (2018). Use of immersive virtual reality to assess episodic memory: A validation study in older adults. *Neuropsychological Rehabilitation*, *0*(0), 1–19. <https://doi.org/10.1080/09602011.2018.1477684>
- Lee, J., & Kim, H. J. (2022). Normal Aging Induces Changes in the Brain and Neurodegeneration Progress: Review of the Structural, Biochemical, Metabolic, Cellular, and Molecular Changes. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *14*(June), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2022.931536>
- Lee, S., Kim, Y., & Lee, B. H. (2016). Effect of Virtual Reality-based Bilateral Upper Extremity Training on Upper Extremity Function after Stroke: A Randomized Controlled Clinical

- Trial. *Occupational Therapy International*, 23(4), 357–368. <https://doi.org/10.1002/oti.1437>
- Lelis-Torres, N., Ugrinowitsch, H., Albuquerque, M. R., Apolinário-Souza, T., & Lage, G. M. (2017). The level of mental workload related to the index of difficulty of the motor task and handedness. *Brazilian Journal of Motor Behavior*, 11(1), 1–10. <https://doi.org/10.20338/bjmb.v11i1.99>
- Lelis-Torres, N., Ugrinowitsch, H., Apolinário-Souza, T., Benda, R. N., & Lage, G. M. (2017). Task engagement and mental workload involved in variation and repetition of a motor skill. *Scientific Reports*, 7(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15343-3>
- Lester, A. W., Moffat, S. D., Wiener, J. M., Barnes, C. A., & Wolbers, T. (2017). The Aging Navigational System. *Neuron*, 95(5), 1019–1035. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2017.06.037>
- Levac, D. E., Huber, M. E., & Sternad, D. (2019). Learning and transfer of complex motor skills in virtual reality: a perspective review. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 16(1), 121. <https://doi.org/10.1186/s12984-019-0587-8>
- Li, G., Anguera, J. A., Javed, S. V., Adeel Khan, M., Wang, G., & Gazzaley, A. (2020). Enhanced Attention Using Head-mounted Virtual Reality. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 32(8), 1438–1454. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01560
- Liao, Y. Y., Tseng, H. Y., Lin, Y. J., Wang, C. J., & Hsu, W. C. (2020). Using virtual reality-based training to improve cognitive function, instrumental activities of daily living and neural efficiency in older adults with mild cognitive impairment. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 56(1), 47–57. <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.19.05899-4>
- Lindenberger, U., & Lövdén, M. (2019). Brain Plasticity in Human Lifespan Development: The Exploration–Selection–Refinement Model. *Annual Review of Developmental Psychology*, 1(1), 197–222. <https://doi.org/10.1146/annurev-devpsych-121318-085229>
- Lövdén, M., Schaefer, S., Noack, H., Bodammer, N. C., Kühn, S., Heinze, H. J., Düzel, E., Bäckman, L., & Lindenberger, U. (2012). Spatial navigation training protects the hippocampus against age-related changes during early and late adulthood. *Neurobiology of Aging*, 33(3), 620.e9–620.e22. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2011.02.013>
- Lövdén, M., Wenger, E., Mårtensson, J., Lindenberger, U., & Bäckman, L. (2013). Structural brain plasticity in adult learning and development. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 37(9), 2296–2310. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.02.014>
- Maguire, E. A., Gadian, D. G., Johnsrude, I. S., Good, C. D., Ashburner, J., Frackowiak, R. S. J., & Frith, C. D. (2000). Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi

- drivers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97(8), 4398–4403. <https://doi.org/10.1073/pnas.070039597>
- Marín-Morales, J., Higuera-Trujillo, J. L., Greco, A., Guixeres, J., Llinares, C., Gentili, C., Scilingo, E. P., Alcañiz, M., & Valenza, G. (2019). Real vs. immersive-virtual emotional experience: Analysis of psycho-physiological patterns in a free exploration of an art museum. *PLOS ONE*, 14(10), e0223881. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223881>
- Masoumzadeh, S., & Moussavi, Z. (2020). Does Practicing with a Virtual Reality Driving Simulator Improve Spatial Cognition in Older Adults? A Pilot Study. *Neuroscience Insights*, 15. <https://doi.org/10.1177/2633105520967930>
- Matamala-Gomez, M., Brivio, E., CHIRICO, A., Malighetti, C., Realdon, O., Serino, S., Dakanalis, A., Corno, G., Polli, N., Cacciatore, C., Riva, G., & Mantovani, F. (2020). *User Experience and usability of a new virtual reality set-up to treat eating disorders: a pilot study*. July. <https://doi.org/doi.org/10.31234/osf.io/b38ym>
- McKendrick, R., Feest, B., Harwood, A., & Falcone, B. (2019). Theories and Methods for Labeling Cognitive Workload: Classification and Transfer Learning. *Frontiers in Human Neuroscience*, 13(September), 1–20. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00295>
- Merhav, M., Riemer, M., & Wolbers, T. (2019). Spatial updating deficits in human aging are associated with traces of former memory representations. *Neurobiology of Aging*, 76(January), 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2018.12.010>
- Milner, A. D., & Goodale, M. A. (2008). Two visual systems re-viewed. *Neuropsychologia*, 46(3), 774–785. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.10.005>
- Mishra, S., Kumar, A., Padmanabhan, P., & Gulyás, B. (2021). Neurophysiological Correlates of Cognition as Revealed by Virtual Reality: Delving the Brain with a Synergistic Approach. *Brain Sciences*, 11(1), 51. <https://doi.org/10.3390/brainsci11010051>
- Mitolo, M., Borella, E., Meneghetti, C., Carbone, E., & Pazzaglia, F. (2017). How to enhance route learning and visuo-spatial working memory in aging: a training for residential care home residents. *Aging and Mental Health*, 21(5), 562–570. <https://doi.org/10.1080/13607863.2015.1132673>
- Moffat, S. D. (2009). Aging and spatial navigation: What do we know and where do we go? *Neuropsychology Review*, 19(4), 478–489. <https://doi.org/10.1007/s11065-009-9120-3>
- Morris, J. S., Ohman, A., & Dolan, R. J. (1998). Conscious and unconscious emotional learning in the human amygdala. *Nature*, 393(6684), 467–470. <https://doi.org/10.1038/30976>
- Morris, R. G. M. (1984). Developments of a water-maze procedure for studying spatial learning in the rat. *Journal of Neuroscience Methods*, 11(1), 47–60. <https://doi.org/10.1016/0165->

0270(84)90007-4

- Nagel, I. E., Preuschhof, C., Li, S.-C., Nyberg, L., Bäckman, L., Lindenberger, U., & Heekeren, H. R. (2009). Performance level modulates adult age differences in brain activation during spatial working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *106*(52), 22552–22557. <https://doi.org/10.1073/pnas.0908238106>
- Nguyen, L., Murphy, K., & Andrews, G. (2019). Cognitive and neural plasticity in old age: A systematic review of evidence from executive functions cognitive training. *Ageing Research Reviews*, *53*(May), 100912. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2019.100912>
- Nyberg, L., Lövdén, M., Riklund, K., Lindenberger, U., & Bäckman, L. (2012). Memory aging and brain maintenance. *Trends in Cognitive Sciences*, *16*(5), 292–305. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.04.005>
- Ortiz-Mallasén, V., Claramonte-Gual, E., González-Chordá, V. M., Llagostera-Reverter, I., Valero-Chillerón, M. J., & Cervera-Gasch, Á. (2024). Can Virtual Reality Help Improve Motor and Cognitive Function in Active Aging in Older Adults? A Scoping Review. *Healthcare (Switzerland)*, *12*(3), 1–17. <https://doi.org/10.3390/healthcare12030356>
- Park, D. C., & Bischof, G. N. (2013). The aging mind: neuroplasticity in response to cognitive training. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, *15*(1), 109–119. <https://doi.org/10.31887/DCNS.2013.15.1/dpark>
- Park, D. C., & Reuter-Lorenz, P. (2009). The Adaptive Brain: Aging and Neurocognitive Scaffolding. *Annual Review of Psychology*, *60*(1), 173–196. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093656>
- Perez-Marcos, D., Bieler-Aeschlimann, M., & Serino, A. (2018). Virtual reality as a vehicle to empower motor-cognitive neurorehabilitation. *Frontiers in Psychology*, *9*(OCT), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02120>
- Rabbi, A. F., Zony, A., de Leon, P., & Fazel-Rezai, R. (2012). Mental workload and task engagement evaluation based on changes in electroencephalogram. *Biomedical Engineering Letters*, *2*(3), 139–146. <https://doi.org/10.1007/s13534-012-0065-8>
- Ranchet, M., Morgan, J. C., Akinwuntan, A. E., & Devos, H. (2017). Cognitive workload across the spectrum of cognitive impairments: A systematic review of physiological measures. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *80*(September 2016), 516–537. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.07.001>
- Ren, J., Wu, Y. D., Chan, J. S. Y., & Yan, J. H. (2013). Cognitive aging affects motor performance and learning. *Geriatrics and Gerontology International*, *13*(1), 19–27. <https://doi.org/10.1111/j.1447-0594.2012.00914.x>
- Reuter-Lorenz, P. A., & Cappell, K. A. (2008). Neurocognitive aging and the compensation

- hypothesis. *Current Directions in Psychological Science*, *17*(3), 177–182. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2008.00570.x>
- Reynolds, N. C., Zhong, J. Y., Clendinen, C. A., Moffat, S. D., & Magnusson, K. R. (2019). Age-related differences in brain activations during spatial memory formation in a well-learned virtual Morris water maze (vMWM) task. *NeuroImage*, *202*(August), 116069. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.116069>
- Riaz, W., Khan, Z. Y., Jawaid, A., & Shahid, S. (2021). Virtual reality (Vr)-based environmental enrichment in older adults with mild cognitive impairment (mci) and mild dementia. *Brain Sciences*, *11*(8), 1–13. <https://doi.org/10.3390/brainsci11081103>
- Rodríguez-Aranda, C., Mittner, M., & Vasylenko, O. (2016). Association between executive functions, working memory, and manual dexterity in young and healthy older adults: An exploratory study. *Perceptual and Motor Skills*, *122*(1), 165–192. <https://doi.org/10.1177/0031512516628370>
- Rose, T., Nam, C. S., & Chen, K. B. (2018). Immersion of virtual reality for rehabilitation - Review. *Applied Ergonomics*, *69*(January), 153–161. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.01.009>
- Schrepp, M., Hinderks, A., & Thomaschewski, J. (2017). Design and Evaluation of a Short Version of the User Experience Questionnaire (UEQ-S). *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, *4*(6), 103. <https://doi.org/10.9781/ijimai.2017.09.001>
- Seidler, R. D., Bernard, J. A., Burutolu, T. B., Fling, B. W., Gordon, M. T., Gwin, J. T., Kwak, Y., & Lipps, D. B. (2010). Motor control and aging: Links to age-related brain structural, functional, and biochemical effects. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *34*(5), 721–733. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.10.005>
- Shadpour, S., Shafqat, A., Toy, S., Jing, Z., Attwood, K., Moussavi, Z., & Shafiei, S. B. (2023). Developing cognitive workload and performance evaluation models using functional brain network analysis. *Npj Aging*, *9*(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41514-023-00119-z>
- Simons, D. J., Boot, W. R., Charness, N., Gathercole, S. E., Chabris, C. F., Hambrick, D. Z., & Stine-Morrow, E. A. L. (2016). Do “Brain-Training” Programs Work? *Psychological Science in the Public Interest, Supplement*, *17*(3), 103–186. <https://doi.org/10.1177/1529100616661983>
- Sobinov, A. R., & Bensmaia, S. J. (2021). The neural mechanisms of manual dexterity. *Nature Reviews Neuroscience*, *22*(December). <https://doi.org/10.1038/s41583-021-00528-7>
- Studer-Luethi, B., Boesch, V., Lusti, S., & Meier, B. (2022). Fostering cognitive performance in older adults with a process- and a strategy-based cognitive training. *Aging*,

Neuropsychology, and Cognition, 00(00), 1–23.
<https://doi.org/10.1080/13825585.2022.2105298>

- Thach, K. S., Lederman, R., & Waycott, J. (2020). How older adults respond to the use of Virtual Reality for enrichment: A systematic review. *ACM International Conference Proceeding Series, December*, 303–313. <https://doi.org/10.1145/3441000.3441003>
- Thornberry, C., Cimadevilla, J. M., & Commins, S. (2021). Virtual Morris water maze: opportunities and challenges. *Reviews in the Neurosciences*, 32(8), 887–903. <https://doi.org/https://doi.org/10.1515/revneuro-2020-0149>
- Toepper, M., Gebhardt, H., Bauer, E., Haberkamp, A., Beblo, T., Gallhofer, B., Driessen, M., & Sammer, G. (2014). The impact of age on load-related dorsolateral prefrontal cortex activation. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 6(FEB), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2014.00009>
- Tolle, K. A., Rahman-Filipiak, A. M., Hale, A. C., Kitchen Andren, K. A., & Spencer, R. J. (2020). Grooved Pegboard Test as a measure of executive functioning. *Applied Neuropsychology:Adult*, 27(5), 414–420. <https://doi.org/10.1080/23279095.2018.1559165>
- Tremmel, C., Herff, C., Sato, T., Rechowicz, K., Yamani, Y., & Krusienski, D. (2019). Estimating Cognitive Workload in an Interactive Virtual Reality Environment using EEG. *Frontiers in Human Neuroscience*, 13(November), 401. <https://doi.org/10.3389/FNHUM.2019.00401>
- Tuena, C., Pedroli, E., Trimarchi, P. D., Gallucci, A., Chiappini, M., Goulene, K., Gaggioli, A., Riva, G., Lattanzio, F., Giunco, F., & Stramba-Badiale, M. (2020). Usability issues of clinical and research applications of virtual reality in older people: A systematic review. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14(April). <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00093>
- Ueno, D. T. [UNESP]. (2013). Validação do questionário Baecke modificado para idosos e proposta de valores normativos. *Aleph*, 54 f. : il., tabs. <https://doi.org/796 U22v>
- van der Ham, I. J. M., & Claessen, M. H. G. (2020). How age relates to spatial navigation performance: Functional and methodological considerations. *Ageing Research Reviews*, 58(May 2019), 101020. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2020.101020>
- VanGilder, J. L., Hengge, C. R., Duff, K., & Schaefer, S. Y. (2018). Visuospatial function predicts one-week motor skill retention in cognitively intact older adults. *Neuroscience Letters*, 664(November 2017), 139–143. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2017.11.032>
- Vorhees, C. V., & Williams, M. T. (2006). Morris water maze: procedures for assessing spatial and related forms of learning and memory. *Nature Protocols*, 1(2), 848–858. <https://doi.org/10.1038/nprot.2006.116>

- Waliño-Paniagua, C. N., Gómez-Calero, C., Jiménez-Trujillo, M. I., Aguirre-Tejedor, L., Bermejo-Franco, A., Ortiz-Gutiérrez, R. M., & Cano-De-La-Cuerda, R. (2019). Effects of a Game-Based Virtual Reality Video Capture Training Program Plus Occupational Therapy on Manual Dexterity in Patients with Multiple Sclerosis: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Healthcare Engineering*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/9780587>
- Walters, B. H., Huddleston, W. E., O'Connor, K., Wang, J., Bement, M. H., & Keenan, K. G. (2021). The role of eye movements, attention, and hand movements on age-related differences in pegboard tests. *Journal of Neurophysiology*, 126(5), 1710–1722. <https://doi.org/10.1152/jn.00629.2020>
- Wang, C., Yu, C., Song, M., Wang, C., Yu, C., Song, M., & Wang, Y. (2018). *based on multiple semantic features*. April. <https://doi.org/10.1117/12.2303355>
- Wang, L., Bolin, J., Lu, Z., & Carr, M. (2018). Visuospatial working memory mediates the relationship between executive functioning and spatial ability. *Frontiers in Psychology*, 9(DEC), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02302>
- Wang, P., Infurna, F. J., & Schaefer, S. Y. (2020). Predicting Motor Skill Learning in Older Adults Using Visuospatial Performance. *Journal of Motor Learning and Development*, 8(1), 38–51. <https://doi.org/10.1123/jmld.2018-0017>
- Weech, S., Kenny, S., & Barnett-Cowan, M. (2019). Presence and cybersickness in virtual reality are negatively related: A review. *Frontiers in Psychology*, 10(FEB), 1–19. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00158>
- Wenk, N., Penalver-Andres, J., Buetler, K. A., Nef, T., Müri, R. M., & Marchal-Crespo, L. (2023). Effect of immersive visualization technologies on cognitive load, motivation, usability, and embodiment. *Virtual Reality*, 27(1), 307–331. <https://doi.org/10.1007/s10055-021-00565-8>
- Wickens, C. D. (2002). Multiple resources and performance prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3(2), 159–177. <https://doi.org/10.1080/14639220210123806>
- Wickens, C. D. (2008). Multiple resources and mental workload. *Human Factors*, 50(3), 449–455. <https://doi.org/10.1518/001872008X288394>
- Winstein, C. J., Grafton, S. T., & Pohl, P. S. (1997). Motor task difficulty and brain activity: Investigation of goal-directed reciprocal aiming using positron emission tomography. *Journal of Neurophysiology*, 77(3), 1581–1594. <https://doi.org/10.1152/jn.1997.77.3.1581>
- Wright, W. G. (2014). Using virtual reality to augment perception, enhance sensorimotor adaptation, and change our minds. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 8(1 APR), 1–6.

<https://doi.org/10.3389/fnsys.2014.00056>

- Young, M. S., Brookhuis, K. A., Wickens, C. D., & Hancock, P. A. (2015). State of science: mental workload in ergonomics. In *Ergonomics* (Vol. 58, Issue 1, pp. 1–17). Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1080/00140139.2014.956151>
- Zanto, T. P., & Gazzaley, A. (2019). Aging of the frontal lobe. *Handbook of Clinical Neurology*, 163, 369–389. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804281-6.00020-3>
- Zhang, H., Huntley, J., Bhome, R., Holmes, B., Cahill, J., Gould, R. L., Wang, H., Yu, X., & Howard, R. (2019). Effect of computerised cognitive training on cognitive outcomes in mild cognitive impairment: A systematic review and meta-analysis. In *BMJ Open* (Vol. 9, Issue 8). <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-027062>
- Zhong, J. Y., Magnusson, K. R., Swarts, M. E., Clendinen, C. A., Reynolds, N. C., & Moffat, S. D. (2017). The application of a rodent-based morris water maze (MWM) protocol to an investigation of age-related differences in human spatial learning. *Behavioral Neuroscience*, 131(6), 470–482. <https://doi.org/10.1037/ne0000219>

APÊNDICE 1

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

1

Título do Estudo: **Treinamento cognitivo-motor na realidade virtual imersiva para idosos: relações entre parâmetros eletrofisiológicos e neuropsicológicos**

Prezado(a) participante,

Este é um convite para você participar *voluntariamente* em um treinamento cognitivo e motor de atividades da vida diária (AVD), num ambiente de realidade virtual imersiva (RVI). O estudo tem como objetivo avaliar o efeito do treinamento na melhora de aspectos visuoespaciais, de atenção, memória de trabalho e das habilidades motoras neste ambiente de imersão desenhado e adequado para o participante idoso. Estamos à disposição para esclarecer quaisquer dúvidas em relação à pesquisa antes e durante a execução dela. As informações necessárias para que você entenda este projeto de pesquisa estão descritas abaixo e poderão ser explicadas melhor pelo pesquisador que lhe apresentar este convite.

1. Procedimentos do treinamento

O treinamento será realizado em três etapas:

Pré-teste: Realizado em dois dias com sessões individuais.

No *1º dia*, após a triagem será aplicado um questionário para avaliar a função mental cognitiva e avaliação motora. Todos os procedimentos do 1º dia terão uma duração aproximada de 60 minutos.

No *2º dia*, será instalado um equipamento de eletroencefalografia (EEG) para medir suas atividades cerebrais, enquanto você executa alguns testes no ambiente de realidade virtual imersiva e no ambiente real. O primeiro teste será feito para avaliar seu nível de memória visual e de localização (visuoespacial) através do Blocos de Corsi. Você irá repetir a sequência apresentada tocando cada cubo. Uma tarefa de navegação em um labirinto de Morris. Essas tarefas serão executadas em um ambiente de realidade virtual. Todos os procedimentos do 2º dia terão uma duração aproximada de 90 minutos.

Treinamento: Duração de oito dias. **Grupo de treinamento:** O treinamento de reforço para cognição e práticas motoras no ambiente RVI, serão em sessões individuais de 30 minutos, duas vezes por semana, durante quatro semanas, que contabilizará um total de 4h de treino. Durante a interação no ambiente virtual, você permanecerá confortavelmente sentado. O treino será composto por tarefas de atividades da vida diária, como preparar uma receita de bolo, fazer compras no supermercado, organizar seu armário, passear no parque e na cidade dirigindo um carro, entre outras. **Grupo controle:** você será convidado a assistir um vídeo em sessões individuais de 30 minutos, duas vezes por semana, durante quatro semanas, que contabilizará um total de 4h.

Pós-teste: *um dia* após a última sessão de treinamento, haverá uma avaliação de suas funções cognitivas e habilidades motoras. Posteriormente, será instalado novamente a eletroencefalograma (EEG) para medir suas atividades cerebrais, enquanto você executa alguns testes no ambiente de realidade virtual imersiva, como no segundo dia do pré-teste. Todas os procedimentos do pós-teste, terão uma duração aproximada de 90 minutos.

Rubrica do voluntário

2. Riscos e desconfortos

O ambiente virtual foi adaptado e testado para o usuário idoso. Mesmo assim, pode ocorrer desconforto na utilização dos óculos de realidade virtual, além de constrangimento e ansiedade durante a realização das atividades. Nos treinamentos você permanecerá sentado para evitar riscos. Se sentir algum desconforto em algum momento, por favor, avise ao pesquisador para que ele possa avaliar a causa.

3. Benefícios em participar da pesquisa

Não há benefício direto para você. Porém, os benefícios indiretos serão decorrentes da melhor compreensão do efeito do treinamento do nível de memória de trabalho, atenção visuoespacial e das habilidades motoras em idosos. Dessa forma, os resultados desse estudo irão contribuir para uso de novas tecnologias e o avanço do conhecimento na área de Neurociências, Educação Física, Fisioterapia, Terapia Ocupacional e Comportamento Motor, assim como para a prática do profissional que atua com o treinamento e a reabilitação cognitiva e de habilidades motoras.

4. Confidencialidade

Os resultados da pesquisa serão utilizados em trabalhos científicos publicados ou apresentados oralmente em congressos e palestras sem que o seu nome ou qualquer característica que identifique você seja revelada. Os resultados gerais da pesquisa serão divulgados por meio de palestra aos participantes do grupo de atividade física em dia a ser agendado com a coordenação do Programa Envelhecimento Ativo.

5. Recusa e de desistência

A participação na pesquisa é inteiramente voluntária, e não há danos em se recusar a participar. Isso significa que você está livre para desistir de participar da pesquisa a qualquer momento, sem que haja algum prejuízo para você.

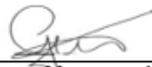
Você pode solicitar mais informações ao longo do estudo ou tirar dúvidas da pesquisa com o pesquisador responsável pelo projeto, Prof. Dr. Guilherme Menezes Lage, por meio do telefone (31) 98884-0411 ou e-mail: menezeslage@gmail.com. Após a leitura completa deste documento, caso concorde em participar do estudo, você deverá assinar em duas vias o termo de consentimento e rubricar todas as folhas. Uma das vias ficará com você e a outra com o pesquisador. Você poderá obter qualquer informação deste estudo com o pesquisador ou se tiver dúvidas sobre questões éticas, pode consultar o Comitê de Ética em Pesquisa (COEP), abaixo:

TERMO DE CONSENTIMENTO

Eu, _____, li e entendi toda a informação acima. Todas as minhas dúvidas foram satisfatoriamente respondidas e eu concordo em ser um voluntário do estudo.

Assinatura do voluntário

Data



Guilherme Menezes Lage

Data

Telefone de contato: _____

Comitê de Ética em Pesquisa (COEP-UFMG), na Av. Antônio Carlos, 6627 – Unidade administrativa II, 2º andar, sala 2005/ Campus Pampulha- UFMG Tel.: (31)3409 4592/ E-mail: coep@prpq.ufmg.br.

APÊNDICE 2

Questionário sócio demográfico, saúde e uso de tecnologias

Projeto: Treinamento cognitivo-motor na realidade virtual imersiva para idosos
 ESTUDO 1: Validação e usabilidade da RVI para idosos

Dia e horário: _____

1. Identificação

Nº: _____ Qual grupo pertence? adulto idoso

Participante: _____

Data de Nascimento: ____/____/____ Idade: ____ anos Sexo: F M

Endereço: _____

Ocupação: _____ Tel: () _____

Escolaridade: analfabeto (a)

Ensino Fundamental: incompleto completo

Ensino Médio: incompleto completo

Ensino Superior: incompleto completo

Pós-Graduação: Título de especialista Título de Mestre Título de Doutor

Tempo de estudo: _____ anos

Mora com alguém: sim não Grau de Parentesco: _____

Estado Civil: solteiro(a) casado(a) viúvo(a) separado(a)

Renda familiar mensal: 1-2 salários 3-5 salários 6-10 salários > 10 salários

2. Fatores relacionados a saúde

Problema de saúde? sim não Qual (is)? _____

Tem ou teve: AVC Câncer Covid-19 Diabetes Hipertensão Labirintite

Vacina contra Covid-19: não 1ª dose 2ª dose 3ª dose

Faz uso de medicamentos de forma contínua? sim não

Qual (is)? _____

Usa lentes corretivas ou óculos? sim não

Usa aparelho auditivo? sim não

Consome bebida alcoólica? sim não Freq: _____ X por semana Tempo: _____ Anos

Tabagismo: sim não Quantidade: _____ Tempo: _____ Anos

Atividade física: sim não Qual(is)? _____

Frequência: < 2 x/semana 3 a 5 x/ semana 6 a 7x/semana _____ Anos

Sono: _____ hs de sono por dia Insônia: sim não

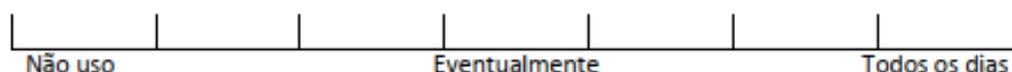
Mão dominante: direita esquerda

3. Uso de tecnologia

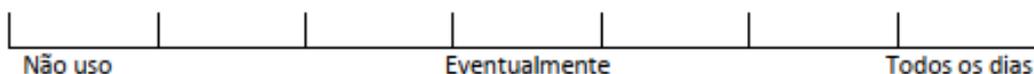
1. Quais das tecnologias abaixo você tem em casa e utiliza no seu dia a dia?

- ___ Desktop
 ___ Notebook
 ___ Tablet
 ___ Smartphone (iPhone, Samsung, Motorola)
 ___ SmartTV
 ___ Videogames (ex: Nintendo Wii, PlayStation, Xbox)
 ___ Assistente virtual (ex: Alexa, Google Assistente, Siri)
 ___ Realidade Virtual Imersiva (ex: Oculus Rift, HTC Vive)
 ___ Outros: _____

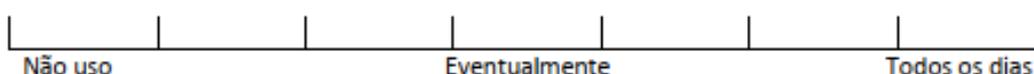
2. Com que frequência você utiliza o computador?



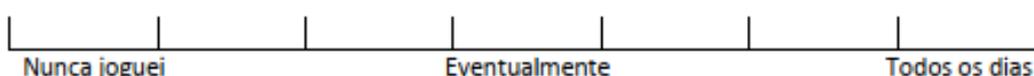
3. Com que frequência você utiliza a internet do smartphone?



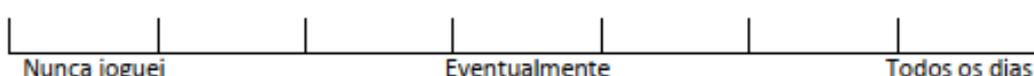
4. Com que frequência você usa aplicativos de localização (mapas, GPS) no smartphone ou no carro?



5. Com que frequência você joga ou jogava videogame (Xbox, Nintendo Wii, Playstation, PC...)?



6. Com que frequência você joga no seu celular?



7. Você já usou o óculo de realidade virtual imersiva? Como foi sua experiência? _____

APÊNDICE 3

Transcrição das instruções do Teste virtual análogo ao Labirinto de Morris (LMv)

Apresentação: Voz masculina: *“Olá, seja bem-vindo! Você agora irá participar de uma experiência dividida em quatro etapas. Mas, inicialmente, dê uma olhada à sua volta... mexa um pouco suas mãos... muito bem. Agora podemos começar!”*

Etapa de habituação: *“Nossa primeira etapa consiste no aprendizado dos controles que você possui. Dessa forma, ao final dessas instruções, uma sequência de bolinhas aparecerá na sua frente, e o seu objetivo é pegar o máximo de bolinhas que conseguir, em duas tentativas... para se mover, você deve utilizar o analógico do controle que está na sua mão esquerda. E para rotacionar sua visão, você pode girar a cabeça para os lados ou utilizar o analógico do controle que está na sua mão direita... então vamos lá. Tente pegar o maior número de bolinhas que conseguir.”*

Etapa aquisição (referência aloccêntrica): *“Certo! Nessa próxima etapa você deverá procurar por uma bolinha, semelhante as bolinhas da primeira etapa, que está escondida em um buraco nesse gramado. Isso será feito durante várias tentativas. Porém, para cada tentativa, existe um tempo limite para procurar, e, ao início delas, você será colocado em posições aleatórias dessa praça para começar a sua busca. Sendo assim, é bem importante utilizar as informações ao seu redor para lembrar onde a bolinha está. Assim que você encontrar essa bolinha, você deve entrar no buraco e esperar alguns segundos para confirmar que você encontrou corretamente a bolinha. Caso você ouça o som a seguir... “plim”... significa que você encontrou a bolinha com sucesso! Caso você não encontre a bolinha a tempo, uma nova mensagem será tocada e você será redirecionado para o local da bolinha durante um certo tempo. Aproveite esse tempo para olhar em volta e memorizar o local da bolinha. Então vamos lá e boa sorte! “Se extrapolou o tempo: “ Ops! Parece que seu tempo para procurar acabou. Mas não se preocupe. Agora iremos te mostrar onde a bolinha estava!”*

Etapa transferência (redução de pistas, uma tentativa): *“Nessa etapa você deverá procurar novamente pela bolinha escondida no buraco. Porém, dessa vez você fará apenas uma tentativa. Além disso, a quantidade de informações ao redor foi reduzida. Lembre-se de entrar no buraco para confirmar que encontrou a bolinha! Vamos lá e boa sorte! “Extrapolou o tempo: “ Ops! Parece que seu tempo para procurar acabou. “*

Etapa controle (referência egocêntrica): *“Muito bem! Nessa próxima etapa você deverá procurar por uma fonte de água que está presente nessa praça. Ao encontrar a fonte, você deve ficar bem próxima a ela até ouvir o seguinte som. Com isso confirmaremos que você chegou corretamente na fonte de água. Você possui um tempo para chegar até a fonte, então não demore muito para ir até ela após avistá-la. Vamos lá e boa sorte! “Extrapolou o tempo: “ Ops! Parece que seu tempo para chegar até a fonte acabou. “*

Agradecimentos: *“E assim terminamos! Muito obrigado pela sua participação!”*

APÊNDICE 4

Visuospatial Functions of Adulthood and Elderly Subjects in Immersive Virtual Reality: Neuropsychological and Electrophysiological Approach

Joana Andrade Ramalho Pinto

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil

Erickson R. Nascimento

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil

Pedro Santos Pinto Gamito

Universidade Lusófona / HEI-Lab, Lisboa, Portugal

Victor Hugo Silva Moura

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil

Sara Edith Souza de Assis Leão

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil

Tércio Apolinário-Souza

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil

Guilherme Menezes Lage

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil

Abstract

In this study, we investigated the visuospatial functions of adults and elderly individuals in both immersive virtual reality (IVR) and real world environments using neuropsychological and electrophysiological assessments. It was hypothesized that younger adults would outperform older adults in both environments. Ten younger adults (aged 29–45 years) and ten older adults (aged 60–73 years) were recruited. We used the Corsi block-tapping test (CBT) to assess visuospatial working memory in both the real world and virtual environments. A virtual analog of the Morris maze task (vAMM) was employed to evaluate learning and memory in spatial navigation. As expected, there were performance differences observed between different age groups. Although mental effort was not consistently observed, our analysis revealed a phenomenon of neural efficiency, indicating that younger adults achieved better performance with similar levels of mental effort compared to older adults. The sense of presence experienced by both age groups did not differ between the tested virtual platforms. These findings shed light on the potential benefits of IVR-based interventions for cognitive assessment and training across different age groups.

Keywords: Virtual Reality, Visuospatial Assessment, Aging, Mental Workload

Visuospatial functions of adulthood and elderly subjects in immersive virtual reality: neuropsychological and electrophysiological approach

1. Introduction

Immersive virtual reality (IVR) has become an effective tool for improving and measuring cognitive and motor functions in human behavior research. Most of the evaluations are based on behavior performance involving neuropsychological assessment of cognitive processes such as attention, memory, executive functions, and visuospatial abilities (Karamians et al., 2020; Slater & Sanchez-Vives, 2016). There are several benefits of using IVR over conventional instruments since it delivers complex scenarios generated by multisensorial stimuli (e.g., visual, auditory, haptic, and proprioceptive) that can modulate human perception, decision, and motor response (Mishra et al., 2021; Rose et al., 2018; Wright, 2014). The IVR provides a greater sense of presence due to highly immersive environments compared to computer screens and allows a more naturalistic sensorimotor integration (Kober et al., 2012; Sanchez-Vives & Slater, 2005; Witmer & Singer, 1998).

This integrative approach facilitates an adaptive closed-loop where the brain adjusts its sensorimotor and spatial representation to the virtual environment modulated by perceptual, cognitive, and motor load, magnifying the effect on users' task performance (Kober et al., 2012; Tremmel et al., 2019). Therefore, the IVR seems to increase the sense of presence and embodiment, thus improving the learning process in the virtual environment. In this approach, the higher sense of presence and embodiment may transfer trained visuospatial and visuomotor abilities to real world daily activities (Cummings & Bailenson, 2016; Kober et al., 2012; Levac et al., 2019; Wenk et al., 2023).

Visuospatial abilities are essential for the functional independence of everyday activities and are related to how individuals perceive and interact with the environment (de Bruin et al., 2016) throughout two distinct neural pathways, the ventral stream (perception) and the dorsal stream (spatial/action) (Kravitz et al., 2011). The visuospatial functions are a critical component of cognitive and motor functions during the lifespan, allowing individuals to perceive visual objects, locate targets in space, orient attention, reach and grasp objects, infer spatial relationships, direction, and distance among objects to navigate in the environment (de Bruin et al., 2016; Kravitz et al., 2011).

The visuospatial performance declines through aging and is associated with the capacity to process and hold visual information in working memory (Baddeley, 2003) 2003). Thus, visuospatial processing in working memory (VSWM) affects daily object location information and the processes involved in route learning and spatial navigation (Baddeley, 2003; Iachini et al., 2009; Kessels et al., 2010; Lester et al., 2017). Age differences

in VSWM capacity became more pronounced with the increasing length of visual sequence task demands (Corsi, 1972; Kessels et al., 2000; Kronovsek et al., 2021; Rowe et al., 2008). In clinical settings, accessing visuospatial functions such as spatial learning and memory can be challenging due to the complexity of emulating natural environments, making it impossible to deliver and control numerous parameters (Machado et al., 2019).

Therefore, the use of IVR to evaluate changes in visuospatial functions throughout the lifespan can be a potential instrument in neuropsychological evaluation. Besides cognitive and motor performance, electrophysiological analysis can reveal differences in mental workload involved in perceptual and executive processes (Lelis-Torres et al., 2017) throughout the lifespan when subjects are immersed in virtual reality. Mental workload is a product of mental demands and the person's cognitive capacities to perform a task. This combination depends on multiple mental resource loads and is moderated by context (McKendrick et al., 2019; Wickens, 2008; Young et al., 2015). The decline in cognitive and motor performance observed with aging in real world activities should also be identified in IVR. In this study, we aimed to evaluate visuospatial functions of adults and elderly subjects in IVR and the real world through neuropsychological and electrophysiological assessments. Better performance and lower mental workload during task execution are expected in adults compared to elderly subjects in both real and virtual environments. Additionally, we expect real world performance to be the same in virtual reality. Finally, we analyzed whether the sense of presence of adults and elderly individuals differs in the virtual platforms used.

2. Methods

2.1 Participants

This study involved 23 volunteers recruited by word of mouth, social media, and the University website. The final sample ($N = 20$) was grouped by age: 10 younger adults aged 29–45 years ($M = 35.90 \pm 6.14$; 5 females); 10 older adults aged 60–73 years ($M = 65.50 \pm 3.66$; 6 females). Exclusion criteria were based on self-reported medical history and non-completion of the task. All participants were assessed to be in good health, with no visual or auditory loss, and free of medications that could affect their cognitive performance. They also declared that they did not have motion sickness. Two ladies aged 76 and 74 were not included in the study once they declared having labyrinthitis. One older adult had his last data excluded once he felt dizzy in the maze target task. All individuals were right-handed, determined by self-report, and spoke native Portuguese. Participants completed the Mini-Mental State Examination (MMSE; Folstein et al., 1975) with an inclusion score of 26 or higher.

A local ethics committee approved the study (CAAE: 47626821.0.0000.5149). All

participants provided written informed consent after receiving a full explanation of the study.

2.2 Apparatus and Task

2.2.1 VR equipment

The Laboratory of Computer Vision and Robotics team (VeRLab) developed all virtual environments on a Dell Core i7 6700K 4GHz desktop running Windows 10. The monitor's refresh rate was set to 60 Hz, and the graphics card used was GeForce GTX 1060 (6GB), Nvidia. The environments were modeled and programmed using Unity (Unity Technologies, San Francisco, CA; unity.com). For the presentation of the VR scenarios and tasks, a head-mounted display (HMD; Oculus Rift CV1) with a resolution of 2160×1200 pixels (1080×1200 per eye), pixel density of 456 PPI, and a refresh rate of 90 Hz, was used. The virtual environment is experienced in first-person, with an 87° field of view, and using the headset controllers to navigate the environment. The hand-tracker Leap Motion Controller (ultraleap.com), an optical device that accurately captures natural hand movements, was used to track participants' natural movements, Figure 1A.

2.2.2 EEG data acquisition

The electroencephalography (EEG) device B-Alert \times 10 (Advanced Brain Monitoring Inc., Carlsbad, CA, USA) was used to record data from nine Ag/AgCl electrodes located at frontal (Fz, F3, F4), central (Cz, C3, C4) and parietal (Pz, P3, P4) regions of the subject scalp, according to the international 10–20 electrode placement system. Two electrodes, A1 and A2, were placed on the mastoids as reference and ground. The electrodes were connected to an amplifier with a sampling rate of 256 Hz for all channels. The transfer was via Bluetooth to a host computer, which processed and stored EEG data using B-Alert software (Advanced Brain Monitoring Inc., Carlsbad, CA, USA). B-Alert software classifies task engagement (perceptual resources applied in visual scanning for information) and mental workload (cognitive resources used in working memory) (Berka et al., 2007; Lelis-Torres et al., 2017).

2.2.3 Corsi block-tapping test

Corsi block-tapping test (CBT) was used to assess visuospatial working memory. The real world CBT was administered using a wooden board following the procedure described in Kessels et al. (2000). The task consisted of nine dark blue cubes ($3 \times 3 \times 3$ cm) arranged irregularly on a white-colored wooden board (20×26 cm). The examiner tapped the blocks in pre-determinate sequences, starting with a two-block forward sequence and increasing at a rate of one block per second up to a nine-block length. Each span length has two trials. The task requires the participant to replicate the sequence as demonstrated by the experimenter. If participants fail to repeat two trials correctly of the same length, the task terminates. A backward span condition was administered after completing the forward

span. The final score for each condition is determined by the number of correct trials and the maximum length achieved.

2.2.4 Virtual Corsi block-tapping task

The virtual Corsi block-tapping task (vCBT) was adapted from the CBT in real world conditions (Kessels et al., 2000). The scenario consisted of a board with nine blocks placed over a table in a virtual room. The sequences were predetermined, and the rules of the application were identical to those of the real world version. An audio recording presented the instructions to the participants. Instead of an experimenter, a red square highlighted the top of the blocks, showing the sequence (Figure 1B). The test displayed three phases: exploration, forward, and backward conditions.

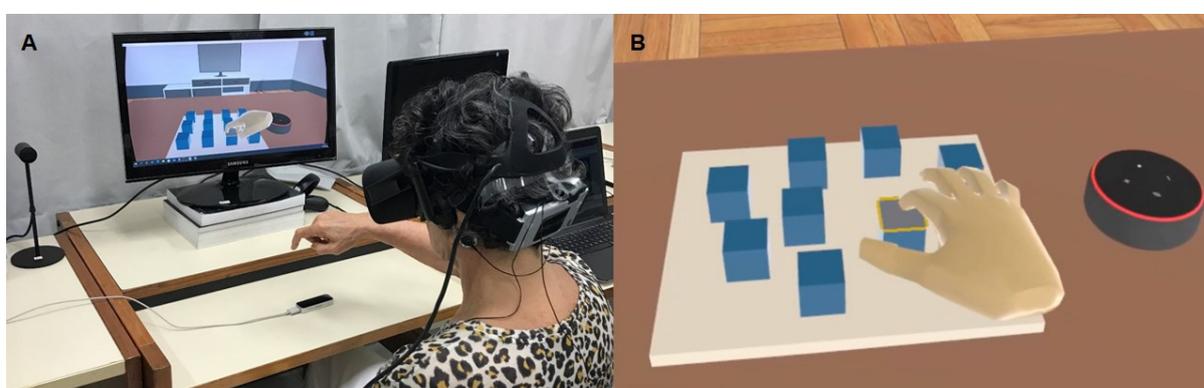


Figure 1. A. Apparatus setup with HMD, EEG, and hand tracking. B. Virtual Corsi block-tapping task.

2.2.5 Virtual Analog of the Morris Maze Task

The Morris Water Maze (MWM) is a standard behavioral paradigm initially used to assess strategies, learning, and spatial memory performance in rodents (Morris, 1984). The animal is placed in a circular pool, an aversive water environment with a submerged rescue fixed platform. The starting points of each trial are randomized through training sessions, and the rodents must reach a fixed platform using distal visual cues around the pool to map the environment as quickly as possible. Several training test conditions were designed, including memory paradigms, accessing long-term spatial mapping, spatial working memory, and testing of general perceptual and motor functioning (Vorhees & Williams, 2006).

The virtual maze environment consists of a circular lawn arena with a diameter of 130 virtual units, surrounded by similar buildings. The platform is characterized by a fixed hole (target) on the grass. Four phases were developed for the virtual Analog of the Morris Maze task (vAMM):

Exploration trials (phase I): The exploration phase has two trials. The purpose of these two trials is to help participants become familiar with the virtual environment and the headset controller while navigating. There are fifteen floating orange spheres arranged in a row over the lawn. The goal is to navigate and reach as many spheres as possible within 60 seconds.

Acquisition (phase II): The training phase involves finding an orange sphere in a fixed shallow hole below the floor (diameter = 6 virtual units), characterizing the hidden target. Participants must use four distal cues outside the arena (a water tank, a Ferris wheel, a building, and a mountain) as landmarks to navigate allocentrically (cognitive mapping) to find the hole. With aging, this strategy becomes less efficient (Lester et al., 2017). Participants start each trial facing the center of the arena and have 60 seconds to find the hidden target. There are two training blocks with four different predetermined starting points (a, b, c, d) configuring four quadrants (SE, SW, NE, and NW). The fixed hidden target is located at the center of the NW quadrant. In a straight line, the distances from each starting point to the center of the hole are equivalent to $a = 100$, $b = 80$, $c = 30$, and $d = 80$ in the virtual unit. If participants do not find the hole within 60 seconds, they are led to the target and have 5 seconds to look around and locate themselves (Figure 2A).

Probe test (phase III): In this phase, the participants have only one chance to locate the hidden target (hole), which remains fixed in the northwest quadrant. Two out of the four landmarks (the water tank and the mountain) have been removed. Starting from point A, the participants have 60 seconds to find the hidden target.

Control (phase IV): In the phase IV comprises eight trials. These eight control trials aim to ensure the participants' ability to navigate egocentrically to a specific target in the environment. These trials require the participants to reach a fixed visible target characterized by a fountain as quickly and directly as possible from the starting points (a, b, c, d). The starting points sequence was predetermined and divided into two blocks with four trials each. No distal landmarks were placed around the arena, requiring focused attention and visuomotor control to reach the target (Figure 2B).

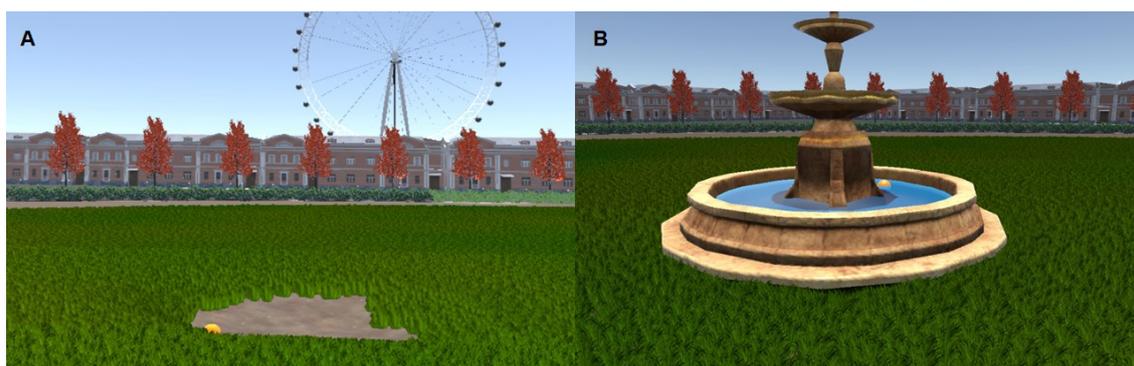


Figure 2. Virtual analog of the Morris Maze task. A. Acquisition phase, hole as a hidden target. B. Control phase, fountain as a target.

2.2.6 Presence questionnaire

The Presence Questionnaire (PQ) was constructed by Witmer and Singer (1998) to evaluate how users focus their attention becoming involved in the virtual environment, and how much sense of presence they will report after their experience on the vCBT and vAMM. The original PQ version was adapted to 25 questions on a 7-point scale. The questions are classified into four subscale factors: Involvement, Sensory Fidelity, Adaptation/Immersion and Interface Quality to determinate sense of presence (Witmer et al., 2005; Witmer & Singer, 1998).

2.3 Procedures and Experimental Design

Upon arrival, each volunteer signed an informed consent form detailing the study procedure. The procedure lasted for approximately 100 minutes. They filed a demographic, health, and technological experience form. In sequence, the MMSE (Folstein et al., 1975) was applied to assess general cognitive abilities. After completing the MMSE, participants prepared for the EEG setup. First, EEG electrodes were placed on the volunteer's head. Then, the EEG device was connected via Bluetooth to B-Alert software for impedance evaluation. Second, participants completed a baseline data acquisition to individualize EEG profiles required for the index of cognitive states (engagement and workload metrics). Each participant completed the baseline session (10 min) with three tasks: choice vigilance task, visual psychomotor vigilance task, and auditory psychomotor vigilance task (Berka et al., 2007; Lelis-Torres et al., 2017). After the baseline set, volunteers started the visuospatial working memory assessment using the CBT board. The EEG recorded each forward and backward sequence condition. When completed, the Oculus Rift was mounted over the EEG electrodes. Another impedance was evaluated to guarantee the signal quality. Before starting the vCBT, the hand tracker, Leap Motion, was positioned on the table and below the volunteer's hands.

The first moment in the virtual environment vCBT was the exploration phase, which

allowed volunteers to perceive their actions within a peri-personal virtual space. The volunteers received instructions through an audio recording with a female voice. In a modeled virtual board with 12 blocks arranged in a 3×4 matrix, the top of the blocks was highlighted in red, indicating a sequence from the upper left to the bottom right. After indicating the series, the volunteers reproduced the same sequence by touching the top of each block with the right-hand index finger. Then, a new sequence was presented in reverse, from the bottom right to the upper left. When concluding this phase, participants started the vCBT forward condition, where a predetermined sequence was presented, highlighting the top of each block in red. Volunteers had to repeat the sequence by touching the top of the blocks with their right-hand index finger, and when two sequence errors of the same length occurred, the test ended. The backward condition occurred after completing the forward trials.

After completing the vCBT, a new EEG impedance evaluation occurred. Then, volunteers were introduced to the headset controllers and instructed on how to use them throughout the virtual environment. The immersion started at the exploration phase, and participants had two initial trials to reach 15 floating spheres lined up on the lawn of an arena. In sequence, the volunteers started the acquisition phase. An audio with a male voice gave instructions on finding a hidden target (hole) in the lawn, using four landmark distal cues outside the arena as references for navigating. Participants followed the same predetermined starting points sequence (a, c, b, d, c, a, d, b). If the volunteers did not find the hidden target within 60 seconds, they were directed to the hole and had 5 seconds to look around and locate themselves in the arena before the subsequent trial. At the last phase in the vAMM, participants underwent a single trial test, having 60 seconds to find the hidden target from the starting point 'a', with two clues subtracted from around the arena. The Control phase of the vAMM aimed to reach a visible fountain on the NW quadrant of the arena as quickly as possible. There were eight trials, and the starting points sequence was the same for all participants (c, b, d, a, c, d, b, a). After removing the HMD and the EEG equipment, volunteers filled out the presence questionnaire rating their experience within the vCBT and the vAMM environments.

2.4 Data analyses

Data were organized as means and standard deviations for descriptive analyses. The normality analysis was conducted using the Shapiro-Wilk test. Thus, data from socio-demographic variables, neuropsychological scores, and presence scores between both age groups were analyzed using unpaired t-tests or Mann-Whitney U tests (for nonparametric). Reliability analyses using Cronbach's Alpha were performed on both presence questionnaires using the data from each virtual environment.

The Corsi block-tapping task was used to compare participants' performance in real world and virtual conditions. For inferential analyses, considered two-way ANOVA 2 (groups)

x 2 (conditions) for forward and backward trials and EEG-based measures. Two EEG-based measures were used to evaluate the mental workload during task performance in both conditions of the CBT task: the EEG-engagement index and the EEG-workload index.

Performance latency in the vAMM was used to determine whether spatial learning occurred over the training trials. The data was separated into two blocks consisting of 4 trials each, followed by a probe-test during the acquisition phase. The data was analyzed using a two-way ANOVA RM 2 (groups) X 3 (blocks) with repeated measures in the second factor. Additionally, EEG-based mental workload analyses were conducted. In the control phase, considered two-way ANOVA RM 2 (group) x 2 (blocks) for performance and EEG-based mental workload. Were used Duncan's test for post-hoc analyses when necessary. The statistical tests were conducted using Statistica version 8.0. The level of statistical significance was set at 0.05. Effect sizes were calculated using partial eta-squared (η^2) for ANOVAs.

3. Results

The descriptive and inferential group comparisons regarding socio-demographic characteristics, including participant technological device usage and the results of the assessments on cognitive capabilities (MMSE) are presented in Table 1.

Table 1

Descriptive statistics and inferential of demographic and cognitive assessment for younger and older adults.

Variables	Younger (n = 10)			Older (n = 10)			Difference	
	M (SD)	Min.	Max.	M (SD)	Min.	Max.	M (SE)	p-value
Age	35.90 (6.13)	29	45	65.50 (3.65)	60	73	29.60 (2.25)	0.01*
Education	18.80 (2.82)	14	22	17.80 (3.19)	14	22	-1.00 (1.34)	0.46
Frequency of technology use								
Computer	6.60 (0.69)	5	7	5.20 (1.98)	1	7	-1.40 (0.66)	0.05*
Smartphone	7.00 (0.00)	7	7	6.50 (1.58)	2	7	-0.50 (0.50)	0.99
GPS maps	6.10 (1.10)	4	7	4.60 (1.83)	1	7	-1.50 (0.67)	0.05*
Videogames	3.80 (2.04)	1	7	1.50 (0.97)	1	4	-2.30 (0.71)	0.01*
MMSE	28.90 (1.44)	26	30	27.80 (0.91)	26	29	-1.10 (0.54)	0.04*

Note. M = mean; SD = standard deviation; Min.= minimum; Max.= maximum; Education = education of participants in years; Frequency of technology use = scale (from 1 = 'do not use' to 7 = 'daily'); MMSE = Mini-Mental State Examination. Asterisks indicate significant group differences ($p \leq 0.05$).

3.1 Real world versus virtual Corsi block-tapping task

3.1.1 Behavioral analysis

Descriptive statistics for the Forward block span and total score are presented in Table 2. Forward block span inferential analyses detected a main effect of a group [$F(1,18) = 13.78$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.43$] and block condition analyses [$F(1, 18) = 28.56$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.61$]. The group X block interaction was not significant [$F(1,18) = 0.30$, $p = 0.58$, $\eta^2 = 0.01$]. Forward total score inferential analyses detected a main effect of a group [$F(1,18) = 10.80$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.37$] and block condition analyses [$F(1, 18) = 44.06$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.70$]. The group X block interaction was not significant [$F(1,18) = 0.32$, $p = 0.57$, $\eta^2 = 0.01$]. Forward trials showed young adults having higher block span and total scores than older adults. The real world condition results indicate higher block span and total scores than the virtual condition considering forward trials.

Descriptive statistics for the Backward block span and total score are presented in Table 2. Backward block span inferential analyses detected a main effect of a group [$F(1,18) = 5.62$, $p = 0.02$, $\eta^2 = 0.23$] and block condition analyses [$F(1,18) = 6.31$, $p < 0.02$, $\eta^2 = 0.25$]. The group X block interaction was not significant [$F(1,18) = 1.57$, $p = 0.22$, $\eta^2 = 0.08$]. Backward total score inferential analyses detected a main effect of a group [$F(1,18) = 5.55$, $p = 0.02$, $\eta^2 = 0.23$] and block condition analyses [$F(1,18) = 14.19$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.44$]. The group X block interaction was not significant [$F(1,18) = 0.74$, $p = 0.40$, $\eta^2 = 0.03$]. Backward trials showed young adults having higher block span and total scores than older adults. The real world condition results indicate higher block span and total scores than the virtual condition considering backward trials.

Table 2

Descriptive statistics and inferential of CBT versus vCBT for younger and older adults. *P*-value is the comparison between real-world and virtual conditions.

Variables	CBT		vCBT	
	Younger (n=10)	Older (n=10)	Younger(n=10)	Older (n=10)
	M (SD)	M (SD)	M (SD)	M (SD)
Forward block span	6.60 (1.07)	5.30 (0.82)	5.30 (1.25)	3.70 (1.06)
Forward total score	64.80 (28.80)	39.70 (13.68)	30.00 (17.67)	10.40(10.13)
Backward block span	5.40 (1.51)	4.60 (1.43)	4.90 (1.79)	3.10 (1.29)
Backward total score	44.70 (22.70)	32.10 (19.79)	29.70 (25.30)	8.20 (5.77)

Note. M = mean; SD = standard deviation; Block span = maximum length accomplished; Total Score = number of correct trials × block span. Asterisks indicate significant group differences ($p \leq 0.05$).

3.1.2 Mental workload analysis comparison

Descriptive statistics for the EEG-engagement index and EEG-workload index in the forward trials are presented in Table 3. The inferential analysis did not detect any difference between the forward trials for the EEG-engagement index [$F(1,18) = 1.00$, $p = 0.32$, $\eta^2 = 0.05$] and block condition analyses [$F(1,18) = 0.003$, $p = 0.95$, $\eta^2 < 0.01$]. The group \times block interaction was not significant [$F(1,18) = 0.13$, $p = 0.71$, $\eta^2 < 0.01$]. The inferential analysis did not detect any difference between the forward trials for the EEG-workload index [$F(1,18) = 1.92$, $p = 0.18$, $\eta^2 = 0.09$] and block condition analyses [$F(1,18) = 0.04$, $p = 0.84$, $\eta^2 < 0.01$]. The group \times block interaction was not significant [$F(1,18) = 2.33$, $p = 0.14$, $\eta^2 = 0.11$]. These results indicate that young adults had the same mental workload as old adults during forward in both CBT task conditions.

Descriptive statistics for the EEG-engagement index and EEG-workload index in the backward trials are presented in Table 3. The inferential analysis did not detect any difference between the backward trials for the EEG-engagement index [$F(1,18) = 1.26$, $p = 0.27$, $\eta^2 = 0.06$] and block condition analyses [$F(1,18) = 0.04$, $p = 0.82$, $\eta^2 < 0.01$]. The group \times block interaction was not significant [$F(1,18) = 1.23$, $p = 0.28$, $\eta^2 = 0.06$]. The inferential analysis did not detect any difference between the backward trials for EEG-workload index [$F(1,18) = 1.41$, $p = 0.24$, $\eta^2 = 0.07$] and block condition analyses [$F(1,18) = 3.04$, $p = 0.09$, $\eta^2 = 0.14$]. The group \times block interaction was not significant [$F(1,18) = 1.88$, $p = 0.18$, $\eta^2 = 0.09$]. These results indicate that young adults had the same mental workload as old adults during backward trials in both CBT task conditions.

Table 3

Descriptive statistics of EEG-engagement index and EEG-workload index for CTB and vCTB

Variables	EEG-Engagement index		EEG-workload index	
	Younger (n=10)	Older (n=10)	Younger (n=10)	Older (n=10)
	M (SD)	M (SD)	M (SD)	M (SD)
Forward CBT	0,72 (0,10)	0,65 (0,10)	0,69 (0,05)	0,58 (0,15)
Forward vCBT	0,70 (0,11)	0,67 (0,15)	0,66 (0,04)	0,61 (0,11)
Backward CBT	0,67 (0,09)	0,65 (0,11)	0,67 (0,05)	0,62 (0,15)
Backward vCBT	0,70 (0,12)	0,64 (0,12)	0,63 (0,04)	0,63 (0,12)

3.2 Virtual analog of the Morris Maze task

3.2.1 Acquisition phase and probe test

The mean time of each block during the acquisition phase and probe test trial are presented in Figure 3 for performance descriptive statistics. Inferential analyses indicate a significant group effect [$F(1,18) = 14.74$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.45$] and blocks effect [$F(2,18) = 18.58$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.50$]. These results suggest that young adults performed significantly

better between block 1 and block 2, while older adults performed the same between the two blocks and worse than young adults did. Both groups had difficulty navigating toward the target during the probe test, indicating a significant effect from block 2 and the probe test, reflecting a worse performance for older adults. Older adults were significantly slower in reaching the target than the younger group. Interaction indicates that younger adults' latency decreased from block 1 to block 2, and increased from block 2 to probe test [$F(2,36) = 5.16, p = 0.01, \eta^2 = 0.22$], showing that block 1 is the same as probe test.

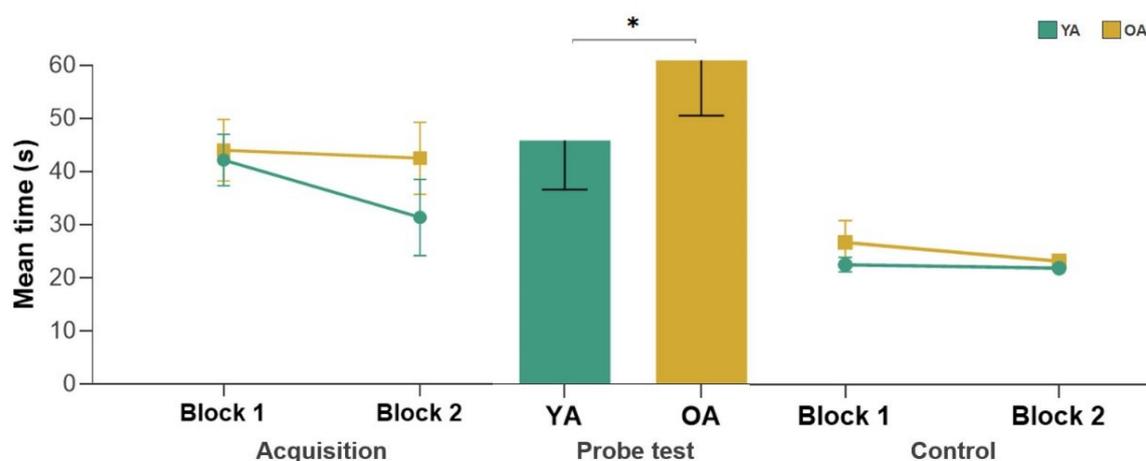


Figure 3. Performance on the vAMM. Results of the acquisition phase, probe test, and control phase. Asterisks indicate significant group differences ($p \leq 0.05$).

Figure 4 presents the descriptive statistics for the EEG-engagement index. Inferential analyses indicated no difference in group effect for the EEG-engagement index [$F(1,18) = 3.96, p = 0.06, \eta^2 = 0.18$]. However, results suggest a tendency for young adults to be more engaged than older adults ($p = 0.06$). No differences were found among blocks [$F(2,18) = 1.71, p = 0.19, \eta^2 = 0.08$]. Results presented no difference in the interaction among age factor and blocks factor for engagement [$F(2,36) = 0.64, p = 0.53, \eta^2 = 0.03$].

Figure 5 shows the descriptive statistics for the EEG-workload index. The inferential analysis did not detect the main effect of the group condition for EEG-workload index [$F(1,18) = 2.27, p = 0.14, \eta^2 = 0.11$]. The analysis of the block condition [$F(2,18) = 11.23, p < 0.01, \eta^2 = 0.38$], followed by the post hoc analysis, indicated that workload was greater in block 1 than the others, and block 2 greater than probe test ($p < 0.05$ for all comparisons). The group X block interaction indicates a difference [$F(2,36) = 6.16, p < 0.01, \eta^2 = 0.25$] followed by the post hoc analysis indicated that older adults' EEG-workload index was greater in block 1 than the others, and block 2 was greater than probe test. In the probe test, younger adults had a greater workload than older adults ($p < 0.05$).

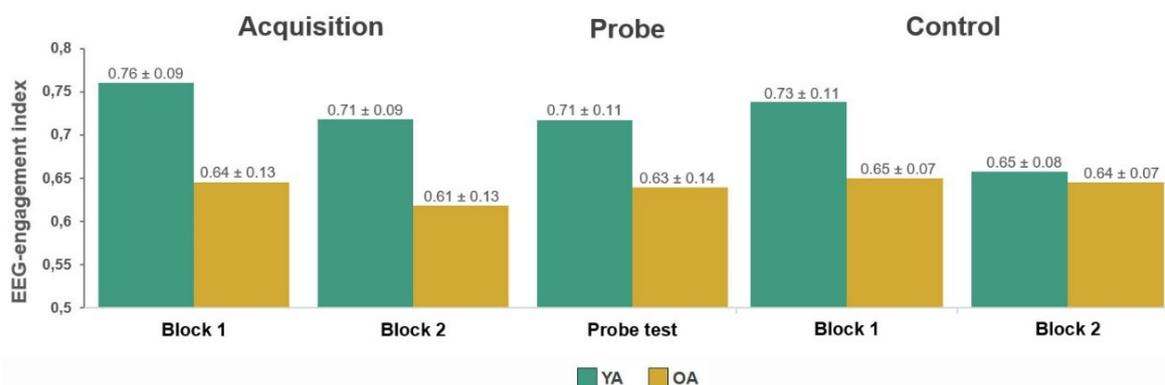


Figure 4. EEG-engagement index on the vAMM. Results of the acquisition phase, probe test, and control phase.

3.2.2 Control phase

The descriptive statistics for performance with means of each block are presented in Figure 3. Inferential analyses show a significant group effect [$F(1,17) = 12.41$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.42$]. These results indicate that younger adults performed significantly better than older adults. The analysis of the block condition [$F(2,18) = 8.89$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.42$] indicated that block 2 was performed faster than the block 1. The group X block interaction indicates a difference [$F(1,17) = 4.16$, $p = 0.05$, $\eta^2 = 0.19$] followed by the post hoc analysis indicated that younger adults performed faster than older adults in the two blocks, and the block 2 was performed faster than the block 1 by the older adults.

Descriptive statistics for the EEG-engagement index are presented in Figure 4. Inferential analyses indicated no difference in group effect for the EEG-engagement index [$F(1,17) = 0.10$, $p = 0.75$, $\eta^2 = 0.00$]. Differences were found among blocks [$F(1,17) = 14.20$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.45$]. Block 1 presented a higher EEG-engagement index than block 2. Significant interaction among age factor and blocks factor for engagement [$F(1,17) = 8.32$, $p = 0.01$, $\eta^2 = 0.32$] was found. Younger adults presented higher EEG-engagement index in the block 1 compared to the block 2.

Descriptive statistics for the EEG-workload index are presented in Figure 5. Inferential analyses indicated no difference in group effect for the EEG-workload index [$F(1,17) = 2.32$, $p = 0.14$, $\eta^2 = 0.12$]. No differences were found among blocks [$F(1,17) = 2.70$, $p = 0.11$, $\eta^2 = 0.13$]. Results presented no difference in the interaction among age factor and blocks factor for engagement [$F(1,17) = 2.22$, $p = 0.15$, $\eta^2 = 0.11$].

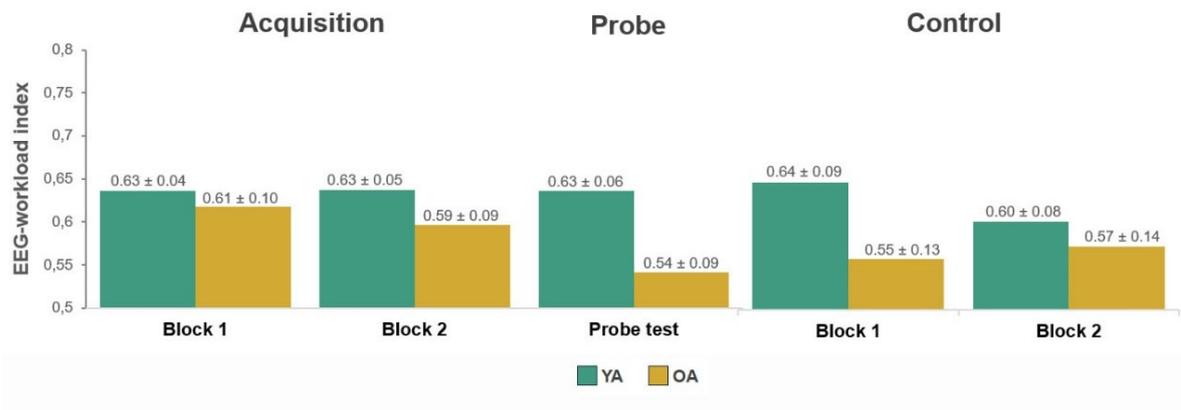


Figure 5. EEG-workload index on the vAMM. Results of the acquisition phase, probe test, and control phase.

3.2.3 Presence questionnaire

Table 3 presents the descriptive and inferential group comparisons of the sense of presence in the vCBT, including its subscale results. Internal consistency measures of reliability for the vCBT 25-item scale, Cronbach's alpha was 0.77 ($n = 20$). The descriptive and inferential group comparisons of the sense of presence in the vAMM, including its subscale results, are presented in Table 4. Internal consistency measures of reliability for the vAMM 25-item scale, Cronbach's alpha was 0.87 ($n = 20$).

Table 4

Descriptive statistics and inferential for vCBT and vAMM presence questionnaire

PQ and subscale	Younger ($n = 10$)	Older ($n = 10$)	p -value
	M (SD)	M (SD)	
vCBT total PQ	4.99 (0.62)	4.73 (0.42)	0.30
Involvement	5.17 (0.91)	4.67 (0.62)	0.17
Sensory Fidelity	5.94 (0.66)	5.54 (0.89)	0.27
Adaptation/Immersion	4.76 (0.62)	4.42 (0.36)	0.15
Interface Quality	3.46 (0.83)	4.39 (1.05)	0.04*
vAMM total PQ	4.82 (0.99)	4.86 (0.54)	0.92
Involvement	4.92 (1.36)	4.91 (0.82)	0.97
Sensory Fidelity	5.60 (1.26)	5.34 (0.83)	0.59
Adaptation/Immersion	4.69 (0.99)	4.73 (0.54)	0.89
Interface Quality	3.63 (0.76)	4.23 (0.80)	0.10

Note. M = mean; SD = standard deviation; vCBT = virtual Corsi block-tapping test; vAMM = virtual Analog of Morris Maze; Mean scores based on the PQ (scale from 1.0 to 7.0). Asterisks indicate significant group differences ($p \leq 0.05$).

4. Discussion

In this study, our goal was to assess the visuospatial abilities of both younger and older subjects using neuropsychological and electrophysiological evaluations in both the real world and IVR. We hypothesized that the younger group would perform better with a lower mental workload during task execution compared to the older group in both environments. The overall analysis of our results partially confirms our hypotheses. Younger adults demonstrated better performance in both the vCBT and vAMM tasks. The analysis of mental effort revealed partial differences in information processing between age groups. We expected similar performance when comparing the real world versus virtual Corsi block-tapping task. However, the results did not support our hypothesis, as performance in all measures of the Corsi block-tapping task was better in the real world condition than in the virtual condition.

As expected, the analyses of CBT and vCBT show better working memory performance in younger adults compared to older adults. This advantage was observed in measures such as forward block span, forward total score, backward block span, and backward total score. The decline in visuospatial working memory (VSWM) performance with age is a well-known phenomenon (Nagel et al., 2009). One possible mechanism underlying this process is diminished cerebral oxygenation in areas related to cognitive function, including the dorsolateral prefrontal cortex (Kronovsek et al., 2021). Older adults exhibit an under-activation pattern in frontal brain areas compared to their younger counterparts (Mattay et al., 2006). Short-term memory and working memory are closely related functions that engage the prefrontal areas. These functions have been assessed through the spatial span task, with forward and backward conditions, respectively, evaluating these two types of memory (Guevara et al., 2018).

The well-known behavioral and neurobiological characteristics associated with aging in CBT are expected to be present in the vCBT. The increased sense of presence and embodiment in IVR facilitates the engagement of cognitive processes similar to those observed in real world daily activities (Wenk et al., 2023). The present findings of our study indirectly support this assumption, as we found a significant difference between groups, considering the performance of groups in both real and virtual conditions. Through a descriptive ad hoc analysis of the difference between age groups (younger adults' performance minus older adults' performance) in the CBT and vCBT tasks, we observed that, except for the forward total score (25.1 in CBT compared to 19.6 in vCBT), all other measures showed greater differences between groups in the vCBT task. Specifically, the difference in the forward block span was 1.3 in CBT compared to 1.6 in vCBT. The difference in the backward block span was 0.8 in CBT compared to 1.8 in vCBT. Finally, the difference in the backward total score was 12.6 in CBT compared to 21.5 in vCBT.

This ad hoc analysis indicates that the cognitive demands were sufficiently high in the virtual condition to differentiate the performance of younger and older adults. Despite the CBT scores being higher than the vCBT scores, the levels of EEG-engagement index and EEG-workload index were identical. This implies that the mental effort required in perceptual resources applied in visual scanning for information and frontal resources used in working memory (Berka et al., 2007) were similar in both the CBT and vCBT tasks. This result was expected because IVR produces an adaptive closed-loop system. The immersive condition generates continuous sensorimotor processes very similar to those experienced by the volunteers in the real world condition (Kober et al., 2012; Tremmel et al., 2019).

A possible explanation for the higher scores in the CBT compared to the vCBT is the sensor used in our method. We utilized a hand-tracker, the Leap Motion Controller, to capture natural hand movements. Studies investigating hand gesture recognition have commonly employed the Leap Motion Controller as the default sensor for this type of analysis due to its accuracy in recognition (Bhiri et al., 2023). Cortes-Perez et al. (2021) concluded that the Leap Motion Controller is the leading haptic virtual reality sensor for the upper extremity compared to other non-immersive virtual reality devices (Cortés-Pérez et al., 2021). Despite the evidence of accuracy provided by the Leap Motion Controller, the characteristics of hand movement in different planes during the vCBT seem to create some gaps when capturing more distal hand positions, possibly because the volunteers extended their elbows beyond the field of capture of the Leap Motion Controller. A potential solution for the vCBT could involve using inside-out cameras for tracking hands, which are available on some headsets.

IVR uniquely enables the production of complex virtual environments simulating the Morris Water Maze (MWM) test for humans. As expected, in the acquisition phase of our virtual analogue to the Morris Maze task, younger participants performed faster than older adults. The progressive loss of navigational abilities in old age is well-known. Spatial navigation involves complex cognitive processes, and deficits can arise at multiple stages, including the computation of spatial information from sensory cues, the formation of stable memory traces, and the planning and control of navigational behavior (Lester et al., 2017). Our results suggest that challenges in spatial navigation underlie the observed differences, as the younger group showed increased performance from block 1 to block 2, while the older group did not improve, indicating learning effects only in the younger group.

Both groups encountered difficulties navigating toward the target during the probe test, with the younger group outperforming the older group. There was a tendency for the younger group to be more engaged in sensory processing compared to the older group ($p = 0.06$), with a moderate effect size (0.18). Task engagement reflects the allocation of processing resources for activities such as information gathering, visual scanning, and

sustained attention. Given that IVR operates in an adaptive closed-loop system, the emphasis on sensory processing during virtual navigation tasks significantly influences task success. Younger participants appear to be more mentally involved in sensory processes, allowing for better spatial navigation.

Another aspect of mental effort contributing to the superior performance of the younger group in the probe test was indicated by the EEG-workload index. The probe test was more challenging than the block tests, and the younger group exhibited a higher workload than the older adults. An increased EEG-workload index is associated with greater cognitive demands, including working memory load, problem-solving, information integration, and analytical reasoning (Berka et al., 2007). During the probe test, participants had a single trial to locate the hidden target, with two of the four landmarks removed. While this test posed challenges to both age groups, it sensitively discerned differences in frontal processing between young and older adults.

Finally, in the last part of the Virtual Analog to Morris Maze task, volunteers were required to navigate egocentrically to a specific target. Aging is associated with a decline in spatial navigation proficiency, particularly in allocentric, world-centered processing of spatial reference, which is hippocampus-dependent (Gazova et al., 2013). Reports of decline in body-centered navigation, which is more dependent on the parietal lobe and defined as egocentric spatial navigation, are less frequent in the literature (Fernandez-Baizan et al., 2019). Our results showed that the younger group demonstrated better egocentric spatial navigation in both blocks of trials. The EEG-engagement index decreased from block 1 to block 2 for the younger adults, indicating that they maintained performance while requiring less mental effort in the second part of the test. Despite the lower performance, older adults demonstrated an increase in performance from block 1 to block 2, demonstrating a learning effect. The EEG-workload index was identical between groups. Overall, these results indicate that the potential to learn egocentric spatial navigation is preserved with aging, but the performance is lower than that achieved by younger adults.

The Presence Questionnaire (PQ) applied showed that users' involvement in the virtual environment and the sense of presence experienced in both the vCBT and vAMM were identical, except for the Interface Quality factor in the vCBT. These results reinforce that usability was not a significant factor affecting the difference between groups. The Interface Quality factor addresses whether control or display devices interfere or distract from task performance, as well as the extent to which participants felt able to concentrate on the tasks (Witmer et al., 2005; Witmer & Singer, 1998). It is worth noting that in the vCBT, older adults perceived the interface to be better quality than younger adults.

5. Conclusion

In the present study, we evaluated the visuospatial functions of adult and elderly subjects in both IVR and the real world through neuropsychological and electrophysiological assessments. As expected, better performance was found for young adults in both real and virtual environments. Differences in mental effort were not frequently observed, but in association with the performance analysis, neural efficiency was observed. This suggests that younger adults performed better than older adults with the same level of mental effort. The sense of presence of both age groups did not differ in the virtual platforms used. These findings shed light on the potential benefits of IVR-based interventions for cognitive assessment and training across different age groups.

Funding

This work was supported by the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) - Grant 406935/2022-0.

References

- Baddeley, A. (2003). Working memory: looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(10), 829–839. <https://doi.org/10.1038/nrn1201>
- Berka, C., Levendowski, D. J., Lumicao, M. N., Yau, A., Davis, G., Zivkovic, V. T., Olmstead, R. E., Tremoulet, P. D., & Craven, P. L. (2007). EEG correlates of task engagement and mental workload in vigilance, learning, and memory tasks. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 78(5 II).
- Bhiri, N. M., Ameer, S., Alouani, I., Mahjoub, M. A., & Khalifa, A. Ben. (2023). Hand gesture recognition with focus on leap motion: An overview, real world challenges and future directions. *Expert Systems with Applications*, 226(September 2022), 120125. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120125>
- Corsi, P. M. (1972). Human memory and the medial temporal region of the brain (Doctoral Dissertation). *Dissertations Abstracts International.*, 34(2), 819B.
- Cortés-Pérez, I., Zagalaz-Anula, N., Montoro-Cárdenas, D., Lomas-Vega, R., Obrero-Gaitán, E., & Osuna-Pérez, M. C. (2021). Leap Motion Controller Video Game-Based Therapy for Upper Extremity Motor Recovery in Patients with Central Nervous System Diseases. A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sensors*, 21(6), 2065. <https://doi.org/10.3390/s21062065>
- Cummings, J. J., & Bailenson, J. N. (2016). How Immersive Is Enough? A Meta-Analysis of the Effect of Immersive Technology on User Presence. *Media Psychology*, 19(2), 272–309. <https://doi.org/10.1080/15213269.2015.1015740>

- de Bruin, N., Bryant, D. C., MacLean, J. N., & Gonzalez, C. L. R. (2016). Assessing Visuospatial Abilities in Healthy Aging: A Novel Visuomotor Task. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 8(FEB), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2016.00007>
- Fernandez-Baizan, C., Diaz-Caceres, E., Arias, J. L., & Mendez, M. (2019). Egocentric and allocentric spatial memory in healthy aging: performance on real-world tasks. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 52(4), 1–7. <https://doi.org/10.1590/1414-431x20198041>
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). "Mini-mental state." *Journal of Psychiatric Research*, 12(3), 189–198. [https://doi.org/10.1016/0022-3956\(75\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0022-3956(75)90026-6)
- Gazova, I., Laczó, J., Rubinova, E., Mokrisova, I., Hyncicova, E., Andel, R., Vyhnaek, M., Sheardova, K., Coulson, E. J., & Hort, J. (2013). Spatial navigation in young versus older adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 5(DEC), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2013.00094>
- Guevara, M. A., Cruz Paniagua, E. I., Hernández González, M., Sandoval Carrillo, I. K., Almanza Sepúlveda, M. L., Hevia Orozco, J. C., & Amezcua Gutiérrez, C. (2018). EEG activity during the spatial span task in young men: Differences between short-term and working memory. *Brain Research*, 1683, 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2018.02.004>
- Iachini, T., Iavarone, A., Senese, V. P., Ruotolo, F., & Ruggiero, G. (2009). Visuospatial Memory in Healthy Elderly , AD and MCI: A Review. *Current Aging Science*, 43–59.
- Karamians, R., Proffitt, R., Kline, D., & Gauthier, L. V. (2020). Effectiveness of Virtual Reality- and Gaming-Based Interventions for Upper Extremity Rehabilitation Poststroke: A Meta-analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 101(5), 885–896. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2019.10.195>
- Kessels, R. P. C., Meulenbroek, O., Fernandez, G., & Olde Rikkert, M. G. M. (2010). Spatial working memory in aging and mild cognitive impairment: Effects of task load and contextual cueing. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 17(5), 556–574. <https://doi.org/10.1080/13825585.2010.481354>
- Kessels, R. P. C., Van Zandvoort, M. J. E., Postma, A., Kappelle, L. J., & De Haan, E. H. F. (2000). The Corsi Block-Tapping Task: Standardization and normative data. *Applied Neuropsychology*, 7(4), 252–258. https://doi.org/10.1207/S15324826AN0704_8
- Kober, S. E., Kurzmann, J., & Neuper, C. (2012). Cortical correlate of spatial presence in 2D and 3D interactive virtual reality: An EEG study. *International Journal of Psychophysiology*, 83(3), 365–374. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.12.003>
- Kravitz, D. J., Saleem, K. S., Baker, C. I., & Mishkin, M. (2011). A new neural framework for visuospatial processing. *Nature Reviews Neuroscience*, 12(4), 217–230. <https://doi.org/10.1038/nrn3008>
- Kronovsek, T., Hermand, E., Berthoz, A., Castilla, A., Gallou-Guyot, M., Daviet, J.-C., & Perrochon, A. (2021). Age-related decline in visuo-spatial working memory is reflected by dorsolateral prefrontal activation and cognitive capabilities. *Behavioural Brain*

- Research, 398(October 2020), 112981. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2020.112981>
- Lelis-Torres, N., Ugrinowitsch, H., Apolinário-Souza, T., Benda, R. N., & Lage, G. M. (2017). Task engagement and mental workload involved in variation and repetition of a motor skill. *Scientific Reports*, 7(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15343-3>
- Lester, A. W., Moffat, S. D., Wiener, J. M., Barnes, C. A., & Wolbers, T. (2017). The Aging Navigational System. *Neuron*, 95(5), 1019–1035. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2017.06.037>
- Levac, D. E., Huber, M. E., & Sternad, D. (2019). Learning and transfer of complex motor skills in virtual reality: a perspective review. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 16(1), 121. <https://doi.org/10.1186/s12984-019-0587-8>
- Machado, M. L., Lefèvre, N., Philoxene, B., Le Gall, A., Madeleine, S., Fleury, P., Smith, P. F., & Besnard, S. (2019). New software dedicated to virtual mazes for human cognitive investigations. *Journal of Neuroscience Methods*, 327(October 2018), 108388. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2019.108388>
- Mattay, V. S., Fera, F., Tessitore, A., Hariri, A. R., Berman, K. F., Das, S., Meyer-Lindenberg, A., Goldberg, T. E., Callicott, J. H., & Weinberger, D. R. (2006). Neurophysiological correlates of age-related changes in working memory capacity. *Neuroscience Letters*, 392(1–2), 32–37. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2005.09.025>
- McKendrick, R., Feest, B., Harwood, A., & Falcone, B. (2019). Theories and Methods for Labeling Cognitive Workload: Classification and Transfer Learning. *Frontiers in Human Neuroscience*, 13(September), 1–20. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00295>
- Mishra, S., Kumar, A., Padmanabhan, P., & Gulyás, B. (2021). Neurophysiological Correlates of Cognition as Revealed by Virtual Reality: Delving the Brain with a Synergistic Approach. *Brain Sciences*, 11(1), 51. <https://doi.org/10.3390/brainsci11010051>
- Morris, R. G. M. (1984). Developments of a water-maze procedure for studying spatial learning in the rat. *Journal of Neuroscience Methods*, 11(1), 47–60. [https://doi.org/10.1016/0165-0270\(84\)90007-4](https://doi.org/10.1016/0165-0270(84)90007-4)
- Nagel, I. E., Preuschhof, C., Li, S.-C., Nyberg, L., Bäckman, L., Lindenberger, U., & Heekeren, H. R. (2009). Performance level modulates adult age differences in brain activation during spatial working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(52), 22552–22557. <https://doi.org/10.1073/pnas.0908238106>
- Rose, T., Nam, C. S., & Chen, K. B. (2018). Immersion of virtual reality for rehabilitation - Review. *Applied Ergonomics*, 69(January), 153–161. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.01.009>
- Rowe, G., Hasher, L., & Turcotte, J. (2008). Age Differences in Visuospatial Working Memory. *Psychology and Aging*, 23(1), 79–84. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.23.1.79>
- Sanchez-Vives, M. V., & Slater, M. (2005). From presence to consciousness through virtual reality. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(4), 332–339.

<https://doi.org/10.1038/nm1651>

Slater, M., & Sanchez-Vives, M. V. (2016). Enhancing our lives with immersive virtual reality. *Frontiers Robotics AI*, 3(DEC), 1–47. <https://doi.org/10.3389/frobt.2016.00074>

Tremmel, C., Herff, C., Sato, T., Rechowicz, K., Yamani, Y., & Krusienski, D. (2019). Estimating Cognitive Workload in an Interactive Virtual Reality Environment using EEG. *Frontiers in Human Neuroscience*, 13(November), 401. <https://doi.org/10.3389/FNHUM.2019.00401>

Vorhees, C. V, & Williams, M. T. (2006). Morris water maze: procedures for assessing spatial and related forms of learning and memory. *Nature Protocols*, 1(2), 848–858. <https://doi.org/10.1038/nprot.2006.116>

Wenk, N., Penalver-Andres, J., Buetler, K. A., Nef, T., Müri, R. M., & Marchal-Crespo, L. (2023). Effect of immersive visualization technologies on cognitive load, motivation, usability, and embodiment. *Virtual Reality*, 27(1), 307–331.

APÊNDICE 5

Entrevista semiestruturada sobre o treinamento na RVI

Projeto: Treinamento cognitivo-motor na realidade virtual imersiva para idosos

ESTUDO 2: Validação e usabilidade da RVI para idosos

Nome _____ no _____

Perguntas:

- 1- Quais tecnologias você usa no seu dia a dia?
Antes desse treinamento você já tinha ouvido falar de Realidade Virtual Imersiva?
Como soube do treinamento?
O que te motivou a participar desse treinamento? Quando você decidiu participar da pesquisa quais eram suas expectativas iniciais, seu objetivo?

Durante o treinamento (Grupo Treinamento)

- 2- Como foi sua experiência usando a realidade virtual imersiva? O que achou dos ambientes elaborados para as tarefas?
- 3- Achou fácil ou difícil usar a realidade virtual?
- 4- O que mais gostou mais de fazer?
- 5- Principais dificuldades você acha que teve na execução das tarefas?
- 6- Como foi a experiência de manipular o controle **com as duas mãos**? Como foi ver sua mão se mexendo no ambiente?
- 7- Como foi usar os óculos? Sentiu que estava em outro lugar?
- 8- Você sentiu algum tipo de desconforto sentiu com o equipamento?
- 9- Você sentiu que melhorou durante as tarefas? Em que?
- 10- O tempo de até 30 min por sessão foi suficiente? 10 sessões foram suficientes, ou deveria ter mais?
- 11- Como você resumiria sua experiência do treinamento na realidade virtual para algum amigo?

APÊNDICE 6

Impressões dos participantes sobre a experiência do treinamento na RVI

1 - O que te motivou a participar desse treinamento? Quais eram suas expectativas iniciais, seu objetivo?

“Era uma pesquisa no ambiente daqui da UFMG e eu precisava de apoio para a memória. A ideia foi um tratamento mesmo.” (P01)

“Acompanhar a modernidade.” (P04)

“Gosto de contribuir com as pesquisas da UFMG, foi nesse sentido de curiosidade e de contribuir.” (P05)

“Interesse pela novidade.” (P06)

“Quería ter um aprendizado, saber como estou, como está meu cognitivo.” (P07)

“Sou muito curiosa com essas coisas, assim, queria algo para evoluir minha memória, não ficar com a memória parada.” (P09)

“Achei bom porque ia mexer com a memória. É bom para ver como a gente está.” (P13)

“Gosto de contribuir para a ciência para melhorar o futuro.” (P14)

“Para melhorar a memória.” (P16)

“Estimular minha memória.” (P18)

“Para ver minha capacidade e desempenho, tenho preocupação com Alzheimer.” (P21)

“Sair fora da rotina.” (P22)

“Sempre gosto de aprender coisas novas, de conhecer.” (P29)

“Tem muita coisa que aprender.” (P31)

“Por ser uma coisa inovadora e que vai trazer muitos benefícios para o idoso.” (P34)

2 - Como foi sua experiência usando a realidade virtual imersiva?

“Foi engraçado, foi interessante e foi diferente, né? É engraçado, porque você sai desse mundo aqui e entra em outro mundo muito expandido, né?” (P01)

“Isso despertou coisas em mim que antes eu dizia que não ia fazer.” (P04)

“Foi legal, mas minha única preocupação foi a questão do mal estar, no início fiquei com medo de passar mal, ... foi ficando mais leve, só um mal estarzinho no início, mas com o tempo foi passando.” (P05)

“Achei muito interessante, era como se eu tivesse um mundo paralelo e a noção de que eu posso fugir de vez em quando.” (P07)

“Eu achei muito bom, achei que faz a gente parar para pensar, usar mais a memória.” (P09)

“Achei superinteressante. Não imaginava que eu ia chegar a tanto.” (P13)

“Eu achei muito bom. Mexe com a mente da gente, ativa!” (P14)

“A experiência foi boa, agora em qualquer lugar que falar realidade virtual eu sei o que é!” (P16)

“Teve dias que eu saía daqui pensando que ‘esse negócio é muito interessante’, ... eu mando do lado de fora e dentro do virtual, assim, você tem que raciocinar a mesma coisa, você tem que ver, observar, guardar na memória, executar a coordenação motora, sabe?... A realidade do meu corpo é a realidade do virtual.” (P18)

“Excelente, gostei tanto que eu achei até pouco.” (P21)

“Eu gostei, achei interessante. Lá em casa meu marido tem computador, mas eu nunca tive interesse em mexer.” (P22)

“Foi uma experiência fantástica! Nunca imaginei que a gente conseguia fazer essas coisas no virtual. Para mim, estava longe da minha realidade. Mas eu achei muito interessante, tornou-se um prazer, uma motivação de querer fazer sempre melhor! Para mim, foi um excelente incentivador, maravilhosa essa experiência que eu vivi aqui esses dias!” (P29)

“Para mim foi ótimo, adorei, foi muito bom! ... Estou com 74 anos e nunca tinha visto essas coisas, assim, virtual, achei a tecnologia muito avançada.” (P31)

“Achei bacana, eu gostei, foi uma coisa nova. Porque eu tive que, por exemplo, pensar na minha mão e aprender que elas tinham de solucionar os problemas ali.” (P34)

3 - Achou fácil ou difícil usar a realidade virtual?

“No final, vai ficando mais fácil, a gente vai no susto porque a gente não conhece, no medo de como é isso. Me distraio muito fácil, não sabia para que lado mexer porque, às vezes, estava reparando nos detalhes, pois achei muito bonito, ... eu curti muito os exercícios, mas também a plataforma, aí minha mente vai...” (P01)

“No início fiquei meio perdida aqui, mas agora não, já localizei tudo ali dentro, a gente vai focando mais. Acho que demorou umas três, quatro vezes até me localizar.” (P04)

“Depois de umas três ou quatro eu já fui dominando melhor mexer com os manetes”. (P05)

“No início, eu não sabia de nada, no meio do curso eu achava que esses lugares existiam, depois que eu vi que era tudo no computador pra você fazer as coisas, foi tudo uma novidade!” (P06)

“Achei fácil de usar.” (P07)

“Achei fácil, só ambiente bonito. Não achei difícil, achei uma coisa prática que, no dia a dia, a gente pode precisar.” (P09)

“Achei fácil, não senti dificuldade não. Depois que você pega o macete, acabou! Devia ter mais desafios com as duas mãos.” (P14)

“Os ambientes são bacanas, fácil de identificar as coisas, não dá para ter dificuldade nos ambientes não, acho que a dificuldade maior é o manuseio.” (P16)

“Difícil eu não achei não.” (P18)

“Só tive dificuldade por falta de experiência mesmo. Mas é fácil de aprender.” (P21)

“É fácil, basta concentração, não ficar afoita. Eu achava que tinha que ser tudo num tempo menor, mas não, basta ter calma. Os erros que cometi foi por distração, de esquecer, soltar a cestinha no supermercado. Mas não é difícil.” (P29)

“No início eu fiquei assim, meio perdido! Mas com sua paciência a gente desenvolveu devagarzinho, mas ainda tem que aprender muita coisa.” (P31)

4 - Tarefas que mais gostou

“A galeria, os sete erros. A sapateira menos.” (P01)

“Tudo que eu fiz tem ligação com a minha vida diária, eu pratiquei mais para meu dia a dia, tem que ficar atento no que você vai fazer e no que você precisa.” (P04)

“O que mais me motivou foi a questão da memória, então na hora de memorizar os produtos, tanto escrito, quanto visual, mas a visual é mais fácil.” (P05)

“Comprar os negócios, entrar nas lojas, pegar a cestinha, procurar os produtos,” (P06)

“A galeria, o jogo dos sete erros. O relógio, tive que usar o foco, focar, muitas vezes, o pensamento queria voar ali, mas aí você volta o foco, tem que buscar seu pensamento.” (P07)

“Essa que nós passeamos pela cidade achei muito interessante, passando pela rua vendo as pessoas passando, é muito diferente, parece real.” (P09)

“Do supermercado, você lembra e procura nas gondolas o que você viu. Tudo foi tão gostoso, tudo foi novidade.” (P13)

“Gostei da farmácia e da galeria. A galeria você anda e entra na Galeria, não está dentro de uma casa, a cidade é bonita! (P14)

“Achei interessante, farmácia, supermercado, a geladeira, talvez porque o local é habitual da minha vida.” (P16)

“Gostei de todos, aquela da rua e da galeria, da galeria achei gostoso de brincar. O Supermercado foi importante, foi tudo bom.” (P21)

“O que mais gostei foram as compras.” (P22)

“Gostei muito de fazer tudo, fazer bolo, de organizar os sapatos, do supermercado, da farmácia.” (P29)

“Do que gostei foi aquele no início, aquela grama, para pegar a bola dentro do buraco, achei muito importante. E esse último agora da cidade.” (P31)

“Eu gostei dos ambientes, achei tudo bonito. Para falar a verdade estou gostando é de tudo.” (P34)

5 - Principais dificuldades você acha que teve na execução das tarefas?

“A navegação com o controle, o girar. Estava muito preocupada em fazer o exercício. Preocupação de acertar.” (P01)

“No início foi manusear os dois manetes, acho que precisei de um bom tempinho. Antes eu pegava de um jeito torto, deixava cair, derrubava as coisas. Acho que só depois da quinta eu senti confiante.” (P04)

“Acho que foi a questão de ficar virando com os manetes mesmo, inclusive acho que foi que deu desconforto mesmo.” (P05)

“A maior dificuldade foi prestar atenção e fazer com calma. Tudo na minha vida eu faço muito rápido e acabo fazendo errado.... Demorei um tempo para acostumar-se com aquele [botão] de apertar no meio e segurar, eu deixava cair a cestinha, o xampu.” (P06)

“Ah! O controle, a manete! O capacete.” (P07)

“Dificuldade com o relógio, por mais que eu concentrava, não sei o que acontecia!” (P09)

“A adaptação com o controle, hoje eu acho que estou muito bem. Dei umas trombadas na parede de vez em quando, mas deu tudo certo, eu acho!” (P13)

“Memorizar a lista do supermercado. Sempre que tem lista. Na farmácia é mais fácil, é com olhos, você olhava assim.” (P14)

“Acho que é o controle, a quantidade de botões, tinha que pensar. Achei que ia ter problema de visualização, porque uso lentes, imaginei de eu ter que usar os meus óculos com aquilo [HMD].” (P16)

“Quando caiu o ovo no chão e eu não consegui pegar de jeito nenhum, eu fiquei frustrada.” (P18)

“A primeira vez eu tive dificuldade de coordenar em pegar, virar e seguir. Depois peguei o macete. Acho que demorei o primeiro dia, depois errava de falta de atenção, foi muito bom.” (P21)

“Acho que era pegar as coisas, no início tive muita dificuldade, girar também tive dificuldade.” (P22)

“Na verdade, foi só nos momentos que eu me atrapalhava e ficava ansiosa. Agora no final eu descobri que eu posso fazer com mais tranquilidade, igual hoje fiz tudo certinho, fiz bonitinho,

não deixei nada cair. Na farmácia consegui levar dois pacotes de uma vez para o caixa. Nos últimos é que fui conscientizando que é com leveza, que não preciso apavorar.” (P29)

“Girar, na mão direita. Estou me sentindo mais esperto com as coisas, a gente aprende a ficar mais ágil na mente também.” (P31)

“Estava difícil, pois eu não estava tendo domínio nas minhas mãos. Só depois de umas duas semanas, quatro sessões aprendi a mexer no dedo médio [botão agarrar]. Então eu estava frustrada comigo.” (P34)

6 - Como foi a experiência de manipular o controle com as duas mãos?

“Muito interessante, eu até achei que era canhota, [risos], eu ia tudo com a mão esquerda, depois eu vi que ficou mais fácil com a mão direita. Ficou melhor com a controle, foi lá pela quarta sessão, aí ficou melhor. As mãos ficavam como uma continuidade da gente.” (P01)

“Eu não tive dificuldade não, achei tranquilo, mas a gente vai pegando confiança. Na primeira da farmácia a gente ia um por um, hoje já consigo pegar dois produtos, um em cada mão, segurar e virar com o manete. Evolui muito! Achei naturais os movimentos, na hora de pegar o cestinho, agarrar!” (P05)

“Até certo ponto foi tranquilo, me dá mais um mês que eu fico craque. Hoje já tenho noção, aonde eu vou, onde que eu corro, ou não. Depois da terceira vez acho que melhorou. É importante ver a mão, parece uma extensão sua. Eu vi mesmo, minha mão ali.” (P07)

“Achei no início que ia ser pior, depois vi que não é tão difícil assim. Ver a mão ajuda.” (P06)

“Sou canhota, mas não tive dificuldades. Já colocava a mão do jeito certo que você falou. Ajuda ver a mão para pegar.” (P09)

“A gente tem um pouquinho de dificuldade, pegar o cesto e manobrar, se não souber você solta o cesto. A gente pensa que tem tato, mas não tem tato. Mas depois que pega o macete é fácil.” (P14)

“Achei isso interessante, porque normalmente a gente mexe mais com uma.” (P16)

“Uma coisa que eu achei interessante foi poder segurar duas coisas ao mesmo tempo, segurei com a mão esquerda e segurei com a mão direita. E poder coordenar o ir e vir, girar. Tinha que ter cuidado para não soltar [...] saber que realmente sou eu estou coordenando o meu corpo, se eu vacilo um pouquinho o produto ia soltar” (P18)

“Para abrir a geladeira, eu tinha que firmar e puxar, eu não estava puxando ela estava fazendo errado, fazendo com a mão direita. É importante ver a mão, você tem que ter tato, mostra o domínio do meu corpo, a minha mão pegando, quer dizer é virtual, mas era eu.” (P21)

“Foi bacana, achei interessante trabalhar os dois lados, em geral a gente mexe mais com o direito e eu desenvolvi o lado esquerdo melhor. No princípio eu não tinha muita habilidade com as mãos, eu pensava ‘cadê meus dedos’, mas depois em me acostumei, foi muito interessante.” (P29)

“Aqui na direita que eu fiquei mais perdido por causa do giro. Mas achei muito bacana, segurar o cesto, ... é importante a gente está segurando uma coisa que não pode deixar cair e pôr no devido lugar.... e abrir a geladeira com a mão esquerda.” (P31)

“Essa coisa de usar as duas mãos é muito bom, achei ótimo, acho que as coisas evoluem quando você trabalha com as duas mãos, as coisas rendem. No início não tinha gostado de ver as mãos, eu não achava que a mão virtual era minha mão, não enxergava aquela mão como a minha. Eu queria que essa mão pegasse na mão virtual para resolver os problemas. Agora já facilitou, sei que a mão virtual é a minha mão.” (P34).

7 - Como foi usar os óculos? Sentiu que estava em outro lugar?

“Me desconectei quase totalmente com os óculos. Incomodou um pouquinho, assim na bochecha, mas o tempo é pequeno, se fosse um tempo maior, porque pesa um pouquinho.” (P01)

“Os óculos [HMD] foi tranquilo.” (P04)

“Senti um pouco de pressão e os óculos embaçou um pouco!” (P05)

“Eu acho esses óculos muito pesado [HMD] pra quem usa óculos, então os óculos não ficam legal. Precisa apertar muito atrás para ficar melhor.” (P06)

Os óculos que me levaram para lá! O aparelho em si é incomodo! Mas a visão que você tem, ela parece que entra dentro do seu cérebro e você realmente está ali. Me sentia de corpo e alma ali dentro. Quando você tira os óculos, sabe, dá um choque!” (P07)

“Hora nenhuma a gente lembra que está aqui, põe os óculos e já vai fazendo as tarefas e já nem lembra mais, só na hora que volta.” (P09)

“Eu senti uma eterna criança brincando com aquilo tudo. Com essa idade toda, isso foi o máximo pra mim.” (P13)

“Não tem incomodo nenhum, ajusta direitinho e acabou.” (P14)

“Ah eu senti, na hora que eu entrei lá dentro, eu já não me imaginei aqui fora não.” (P16)

“Os óculos me incomodaram quando começava a sair de foco, embaçava.” (P18)

“A única dificuldade com os óculos foi a vista, porque eu tenho uma deficienzinha para enxergar, eu tenho que usar óculos. Eu estava usando óculos, mas não estava ficando bom. Eu estava focado” (P21)

“Já tinha usado aqueles óculos de cinema né, mas esse é diferente, né?... Sentia que estava em outro lugar, tinha hora que dava vontade de acompanhar ir andando.” (P22)

“Eu senti que poderia ser uma coisa mais leve, que não cansasse. Quando a gente está com ele na cabeça dá a impressão de que ele é maior. Acho que se tivesse que fazer mais tarefas, ia me pressionar aqui ó, na cabeça.” (P29)

“Tranquilo... Eu concentrei só nele, parece que a gente está num outro mundo.” (P31)

“Não de jeito nenhum, adaptou na cabeça e está tudo certo.” (P34)

8 - Você sentiu algum tipo de desconforto sentiu com o equipamento?

“Nada demais. Não senti nada.” (P01)

“Não senti desconforto.” (P04)

“Senti que melhorou o enjoou, hoje não senti nada, tá tranquilo, fui me acostumando!” (P05)

“Não senti nada, nada.” (P06)

“Senti pressão do elástico dos óculos, acho que esse capacete podia melhorar, né? Senti enjoou e dor de cabeça!” (P07)

“Não, foi tranquilo! Naquele dia eu senti um pouco, fiquei com medo de cair no buraco, depois nunca mais senti. Numa boa, não parece que a gente ficava aqui meia hora, eu achava muito rápido.” (P09)

“Não tive nada, não senti nada.” (P13)

“Não.” (P14)

“Não me lembro de ter tido algum tipo de desconforto, nem enjoou.” (P16)

“Senti naquele dia, depois melhorou. Aquele dia fiquei tonta, meu estômago embrulhou, acho que eu ficava movimentando muito.” (P18)

“Não senti nada.” (P22)

“Não tive desconforto nenhum.” (P21)

“Tive enjoou e mal-estar no do buraco [Maze], ou quando eu estava deslocando e tinha que girar, dava um desconforto, mas passava logo.” (P29)

“Nada, não, normal” (P31)

“Senti, mas pouco. Por exemplo, no dia que eu uso muito a cadeira para mexer. Agora quando vejo que está dando um pouco de náusea, penso ‘você está usando a cadeira errada, a cadeira não precisa de tudo isso’, aí eu volto para minha mão.” (P34)

9 - Você sentiu que melhorou durante as tarefas? Em que?

“Inclusive melhorei não só no virtual, mas estou vendo que estou mais atenta, mais ativa, a memória está mais presente, coisa que assim, eu estava catando caquinho. Cadê? Onde? Hoje estou até surpresa com o que estou guardando!” (P01)

“Principalmente a memória, já está sendo um exercício fora daqui, acho que aqui tem ajudado ficar mais atenta. Fiquei mais atenta na execução da tarefa.” (P05)

“Lógico que senti e estou trazendo para o meu dia a dia, para prestar atenção. Com isso aqui estou vendo que eu tenho que focar, se vou mexer na roupa, tenho que fazer isso primeiro antes de fazer outra coisa. Ajuda a focar na tarefa.” (P06)

“No mercado na primeira vez só guardava ‘azeite’, depois comecei perceber o azeite é ‘Gallo’, o macarrão é fulano de tal, aí comecei a prestar atenção no ‘sobrenome’ do trem. Agora vou

ao supermercado olho o sobrenome das coisas, antes via só preço. Eu tenho dificuldade de focar, mas melhorou.” (P07)

“Não sei se é isso, mas eu sinto que melhorei até no dia a dia. Há pouco tempo não lembrava as coisas, não estou tendo mais confusão, há um tempo eu tinha que parar para pensar.” (P09)

“Acho que estou até mais esperta agora, com esse cognitivo. Lembrando mais, gravando mais. Melhorou muitas coisas em casa, eu vou eu faço, mais pra frente.” (P13)

“Vai aprimorando. Você melhora o domínio com a máquina. Na terceira já estava melhor. A gente fica mais atento a percepção das coisas, você olha mais com detalhe.” (P14)

“Sim, senti que evolui... melhorei na visualização, na atenção, por exemplo quando procurei o produto na farmácia.” (P16)

“Apanhei mais confiança. Eu pensava esse aparelho não vai me dominar.” (P18)

“Foi tudo gradativamente melhorando. Só não fiz melhor por falta de prática. Hoje faria melhor e mais rápido.” (P21)

“No início eu chegava em casa e pensava, será que vou continuar? Será que vou ter dificuldade. Ia passando e eu vinha e era tranquilo. Ai vinha pensado, vai ser bom, vai ser diferente. Acho que fui evoluindo um pouquinho, né?” (p22)

“Na memorização, foi um dos fatores, consegui chegar na farmácia e no supermercado e fazer as compras, sem ficar olhando a lista, o bolo também, isso tudo serviu para melhorar a memória. Meu tato, pegar as coisas, hoje senti que estou bem melhor e em termos de concentração, organizar a sapateira, achei isso muito importante.” (P29)

“Com sinceridade eu melhorei bastante. Ajudou na organização, fazer menos desorientado, mais agilidade com a mão e com a mente também.” (P31)

“Total, feliz com o desenvolvimento mesmo, melhorei na rapidez de encontrar as coisas e dominar. Comecei a ter domínio do ambiente. Agora percebi que precisa da minha atenção, depende de mim.” (P34)

10 - O tempo de até 30 min por sessão foi suficiente? 10 sessões foram suficientes?

“É um bom tempo para quem não mexe com isso, chegava a suar as mãos a testa, mas foi muito bom. Menos de 10 acho que não, eu gostei fiquei empenhada no projeto. Se você falasse para vir mais, eu viria numa boa. Menos acho que não, pois vi que nessas três últimas eu dei uma evoluída!” (P01)

“Acho que agora é que estaria pronta, ia conseguir tirar mais coisas, ia conseguir saber o que eu preciso, antes foi uma parte mais educativa entendeu?” (P04)

“É um tempo bom de fazer, passa rápido, tá ficando mais fácil. Mas já foram as 10? Mais que dez para mim incomodaria pela questão do mal-estar. Mas hoje como eu estou bem, faria mais 5, toparia tranquilo.” (P05)

“Duas vezes por semana é o ideal e 30 min é suficiente.” (P06)

“Deu 10 sessões? Passou tão rápido que nem vi, eu faria mais vezes! O tempo de 30 min foi bom, o ideal, não podia passar disso não, os óculos pra mim incomodam!” (P07)

“Achei que passou rápido demais, todos os dias. Sempre vim mais cedo que eu pude. Poderia ter mais vezes.” (P09)

“Podia ser até mais, né! Mais tempo, mais coisas! É o dia a dia da gente! (P13)

“Para mim foi bom, pois conciliou a aula que eu tenho aqui, então encaixou tudo direitinho. Não foi cansativo não, foi conciliado, se eu tivesse que vir só para fazê-la, talvez eu ia cansar. Foi bem planejado”. (P14)

“Se for só esses ambientes acho que foi suficiente, se tivesse mais teria que ter mais tempo. Quando você fala para mim que acabou, é uma surpresa pra mim, não vejo o tempo passar, pode ficar duas horas se eu não passar mal e se você não falar acabou!” (P16)

“Trinta min está bom, se prolongar muito cansa, o virtual cansa a gente. Se tivesse um treinamento constante, assíduo, [além da pesquisa], que auxiliasse na memória, na concentração, sou hiperativa... como uma terapia ocupacional.” (P18)

“Tranquilo, se fizer mais vezes seguido, todo dia, 30 min é pouco, eu ficaria uma hora. Eu sempre te dizia, ‘já acabou’?... Mais sessões, mais frequentes aí a pessoa ia desenvolver mais.” (P21)

“O tempo está ótimo, acho que 10 sessões foram suficientes.” (P22)

“O tempo do treinamento de 30 minutos, eu acho que está um tempo bom. Mais de 30 minutos já começa a causar um certo desconforto. Se pudesse aumentar uma vez na semana.” (P29)

“Olha se pudesse ser mais ia ser muito bom pra gente, mas tudo tem um término, né? Mas se puder continuar esse projeto aí eu acho que a gente vai desenvolvendo mais ainda.” (P31)

“Para mim está bom! Achei tranquilo.” (P34)

11 - Resumo da experiência

“Foi muito além da minha expectativa! Aqui é o que a gente precisa de cognição, precisa de memória, precisa de controle motor, precisa de visão espacial, precisa de direcionamento. Então é não deixar o cérebro caducar, enferrujar! É movimentar todas as áreas do cérebro e inclusive esse lance de prevenção, que eu acho muito interessante.” (P01)

“Aprendi muita coisa, minha participação no projeto foi gratificante. Aprendi coisas que achava que não teria necessidade. ... Acho que é bom para a gente conhecer o mundo que a gente tem à frente da gente e que a gente poderia explorar.” (P04)

“É gostoso, mas eu ficava tensa. É um misto, tem coisa que é bem próxima do real. Valeu a pena, foi bom, foi legal!” (P05)

“Acho que a gente poderia ter explorado mais a cidade, ver as pessoas. Aquela cidade deu uma paz, uma tranquilidade. É um universo paralelo, onde eu vejo a oportunidade da minha mente voar, fazer coisas que eu não faço aqui, achei legal, como se fosse para mim uma válvula de escape. Eu gosto de viajar.” (P07)

“A gente põe um aparelho é como se a gente tivesse em outro local, tipo uma viagem que a gente faz. Vive outro ambiente estando no mesmo ambiente. Foi muito bom para mim! Se jovem faz, por que eu não posso fazer?” (P09)

“Cheguei sem saber nada. No primeiro dia você fica assim, mas depois você firma a vista e sente que não está com ele [óculos] e vai seguindo o que vai aparecendo na sua frente. Achei muito bom, se tivesse que continuar ia continuar. A gente fica igual uma criança feliz, um idoso, feliz!” (P13)

“Eu sou muito relaxado com as coisas, de olhar, perceber, então estou mais atento em observar. Não tinha noção do que seria, eu gostei.” (P14)

“Mexeu mesmo com minha memória e me fez perceber que eu tenho que ter atenção em visualizar as coisas que eu vou fazer.” (P16)

“Não imaginava o que ia aprender, era desconhecido, mas depois achei legal, achei interessante. Indicaria para as pessoas fazerem.” (P18)

“Eu fiquei empolgado com isso, sinceramente! Achei pouco, mas foi 10, excelente! Isso devia ser usado não só para os idosos, mas para quem está lá no cinquentão, quando a pessoa começa a reduzir sua capacidade.” (P21)

“Cada dia eu fui melhorando mais. Acho que está dentro do que tenho condição de fazer.” (P22)

“Uma coisa fantástica, quem puder ter essa experiência, essa oportunidade, é fantástico. Fiquei muito feliz com essa experiência!” (P29)

“Eu gostaria que todos do grupo viessem para cá fazer também. Vai lá que vocês vão melhorar, a mente desenvolve mais.” (P31)

“Eu precisei usar muita minha atenção aqui para conseguir desenvolver mais. Acho que esse negócio ajuda a gente a ser ágil, usar a cabeça e ter agilidade.” (P34)

ANEXO 1

Parecer COEP

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Treinamento cognitivo-motor na realidade virtual imersiva para idosos: relações entre parâmetros eletrofisiológicos e neuropsicológicos

Pesquisador: Guilherme Menezes Lage

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 47626821.0.0000.5149

Instituição Proponente: Escola de Educação Física da Universidade Federal de Minas Gerais

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 4.864.752

Apresentação do Projeto:

Trata-se de um projeto de pesquisa que irá aplicar um treinamento cognitivo e motor utilizando um sistema de realidade virtual imersiva (RVI) adaptado para usuários idosos. Serão investigados os efeitos do treinamento em RVI sobre funções visuoespaciais, atenção, memória de trabalho e habilidade motora. Conforme apresentado na Plataforma Brasil, serão 84 participantes, sendo que 12 estarão no Grupo Adultos e 12 Grupo Idoso para Experimento 1, validação e usabilidade da RVI, 30 no Grupo Controle idosos sem treinamento e 30 no Grupo de Treinamento RVI idosos para Treinamento na realidade virtual imersiva. São os critérios de inclusão: (1) concordância em assinar o Termo de consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (2) atender o desempenho mínimo (básico) na Escala de Fluência digital - atividades diárias em smartphone/desktop; (3) Ausência de sintomas sugestivos de depressão, com escore máximo de 7 pontos na Escala Geriátrica de Depressão (Almeida & Almeida, 1999); (4) Ausência de sintomas sugestivos de demência, escore mínimo de 25 pontos no Mini Exame do Estado Mental e (5) Questionário Baecke de atividade física habitual para idosos (Ueno, 2013). (6) Atividades física até 2h por semana. (7) Destros. São os critérios de exclusão: (a) déficit sensorial (visual e/ou auditivo não corrigidos); (b) Possuir histórico de labirintite.

Objetivo da Pesquisa:

Conforme apresentado na Plataforma Brasil (PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1738969).

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad SI 2005

Bairro: Unidade Administrativa II **CEP:** 31.270-901

UF: MG **Município:** BELO HORIZONTE

Telefone: (31)3409-4592

E-mail: coep@prpq.ufmg.br

Continuação do Parecer: 4.864.752

pdf):

Objetivo Primário: O objetivo geral do estudo é aplicar um sistema de realidade virtual imersiva para treinamento cognitivo-motor em indivíduos idosos e avaliar os efeitos desse treinamento nas funções cognitivas e motoras por meio das relações entre parâmetros neurofisiológicos e neuropsicológicos. **Objetivo Secundário:** Os objetivos específicos buscam: Experimento 1 a) validar tarefas executadas por adultos e idosos no ambiente virtual imersivo comparado com o ambiente real, através de medidas eletrofisiológicas. Experimento 2 b) aplicar o sistema em RVI em idosos, comparando o desempenho entre grupos submetidos ao treinamento cognitivo-motor (GT) e o grupo controle (GC), sem treinamento; c) avaliar, pré e pós-treinamento, os efeitos cognitivos (aspectos visuoespaciais, de atenção e memória de trabalho), habilidades motoras e correlações entre esses efeitos e medidas eletrofisiológicas.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Foram apresentados nos TCLE's (TCLEProjTreinamentoRVI.pdf): "A sua participação no estudo oferece riscos mínimos à sua saúde. Há mínimo risco de desconforto ao utilizar os óculos de realidade virtual imersiva, uma vez que o ambiente virtual foi adaptado e testado para o usuário idoso. Durante os treinamentos você permanecerá sentado para evitar riscos. Se sentir algum desconforto, por favor, avise ao pesquisador para que ele possa avaliar a causa. Não há benefício direto para você. Porém, os benefícios indiretos serão decorrentes da melhor compreensão do efeito do treinamento do nível de memória de trabalho, atenção visuoespacial e das habilidades motoras em idosos. Dessa forma, os resultados desse estudo irão contribuir para uso de novas tecnologias e o avanço do conhecimento na área de Neurociências, Educação Física, Fisioterapia, Terapia Ocupacional e Comportamento Motor, assim como para a prática do profissional que atua com o treinamento e a reabilitação cognitiva e de habilidades motoras."

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Conforme o parecer do departamento da EF/EEFFTO/UFMG, o tema bastante atual e de grande relevância para a promoção da saúde em idosos.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Foram apresentados:

ParecerAprovacaoCameraProjTreinamentoRVI.pdf: Parecer aprovado pela Câmara Departamental da Educação Física / EEFFTO / UFMG

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad SI 2005
 Bairro: Unidade Administrativa II CEP: 31.270-901
 UF: MG Município: BELO HORIZONTE
 Telefone: (31)3409-4592 E-mail: coep@prpq.ufmg.br

Continuação do Parecer: 4.864.752

Folhaderostoassinada.pdf: Folha de rosto assinada

TCLEProjTreinamentoRVI.pdf: TCLE único com a descrição da metodologia para todos os grupos com os critérios éticos adequados.

DetalhadoProjTreinamentoRVI.pdf: Projeto completo. Informa: "Todos os instrumentos para as coletas de EEG estão disponíveis no Grupo de Estudos em Desenvolvimento e Aprendizagem Motora (GEDAM) da EEFFTO, grupo de pesquisa do qual o pesquisador é integrante. Para a adequação da RVI para usuários idosos e da execução do experimento, contamos com as facilidades, suporte técnico e tecnológico dos laboratórios VERLAB (Unity 3D, Oculos Rift, Leap Motion, etc) e do NNeuroM (B-Alert X10 EEG Headset System)."

Recomendações:

Para não quantificar o risco (percepção individual), retirar do TCLE o trecho: "A sua participação no estudo oferece riscos mínimos à sua saúde. Há mínimo risco de desconforto..." Incluir além do desconforto, o risco de constrangimento e ansiedade com a realização das atividades, e como serão minimizados.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Projeto aprovado. Não foi encontrado óbice ético na apreciação do protocolo e a pesquisa está aprovada, contudo, há a necessidade das adequações do campo da recomendação, que devem ser incorporadas imediatamente no protocolo da pesquisa, antes de iniciar a pesquisa, sem a necessidade de submeter novamente na Plataforma Brasil. Apenas, atentar-se para quando houver próxima emenda, colocar os documentos atualizados corrigidos na Plataforma Brasil.

Considerações Finais a critério do CEP:

Tendo em vista a legislação vigente (Resolução CNS 466/12), o CEP-UFMG recomenda aos Pesquisadores: comunicar toda e qualquer alteração do projeto e do termo de consentimento via emenda na Plataforma Brasil, informar imediatamente qualquer evento adverso ocorrido durante o desenvolvimento da pesquisa (via documental encaminhada em papel), apresentar na forma de notificação relatórios parciais do andamento do mesmo a cada 06 (seis) meses e ao término da pesquisa encaminhar a este Comitê um sumário dos resultados do projeto (relatório final).

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
----------------	---------	----------	-------	----------

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad SI 2005
 Bairro: Unidade Administrativa II CEP: 31.270-901
 UF: MG Município: BELO HORIZONTE
 Telefone: (31)3409-4592 E-mail: coep@prpq.ufmg.br

ANEXO 2

Mini Exame do Estado Mental (MEEM)

Nº: _____ Qual grupo pertence? controle experimento

Nome: _____

Dia e horário: _____

Mini-Exame do Estado Mental (Folstein et al., 1975)			
ORIENTAÇÃO (10 pontos) 1 ponto para cada resposta certa; Considere correta até 1h a mais ou a menos em relação à hora real.	Dia do Mês	1	
	Mês	1	
	Ano	1	
	Dia da Semana	1	
	Hora aproximada	1	
	Local específico, quarto, sala, cozinha	1	
	Local genérico, casa, universidade	1	
	Bairro, rua	1	
	Cidade	1	
	Estado	1	
MEMÓRIA IMEDIATA (3 pontos) 1 ponto para cada palavra repetida na primeira tentativa.	Repita até as 3 palavras serem entendidas ou no máximo 5 vezes: CARRO, VASO, TIJOLO	3	
ATENÇÃO E CÁLCULO (5 pontos) 1 ponto para cada resposta certa.	Subtrair: $100 - 7 = 93 - 7 = 86 - 7 = 79 - 7 = 72 - 7 = 65$	5	
EVOCAÇÃO (3 pontos) 1 ponto para cada palavra evocada	Quais os três objetos perguntados anteriormente?	3	
LINGUAGEM			
1 ponto para cada resposta certa	Nomear um relógio e uma caneta	2	
1 ponto para cada resposta certa	Repetir: Nem aqui, nem ali, nem lá.	1	
1 ponto para cada etapa correta	Comando: "Pegue este papel com a sua mão direita, dobre-a ao meio e coloque-a no chão".	3	
1 ponto se compreensível.	"Escreva alguma frase que tenha começo, meio e fim"	1	
1 ponto para ler e executar	FECHE SEUS OLHOS	1	
1 ponto se 5 ângulos em cada figura com 2 ângulos sobrepostos	Copiar um desenho	1	
ESCORE Ponto sobre corte para déficit cognitivo <25 pontos (com escolaridade)	PONTUAÇÃO FINAL (escore= 0 a 30 pontos)	30	
	Score		

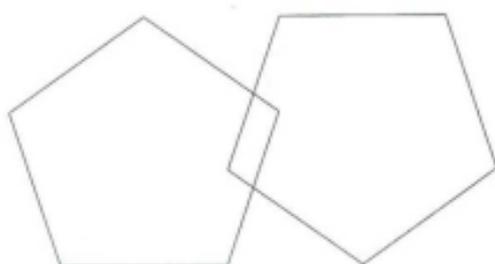
(MEEM continuação...)

Nome: _____

Observação: _____

Frese:

Desenho:



ANEXO 3

Escala de Depressão Geriátrica (GDS)

Projeto: Treinamento cognitivo-motor na realidade virtual imersiva para idosos

Nº: _____ Qual grupo pertence? controle experimento

Nome: _____

Observação: _____

Dia e horário: _____

3 Escala de Depressão Geriátrica (GDS) (Almeida & Almeida, 1999)			
		Sim	Não
1	Você está satisfeito com a sua vida?	0	1
2	Você deixou de lado a maior parte de suas atividades e interesses?	1	0
3	Você sente que sua vida está vazia?	1	0
4	Você sente-se aborrecido com frequência?	1	0
5	Você está de bem com a vida na maior parte do tempo?	0	1
6	Você teme que algo de ruim possa lhe acontecer?	1	0
7	Você se sente feliz na maior parte do tempo?	0	1
8	Você se sente frequentemente desamparado?	1	0
9	Você prefere permanecer em casa a sair e fazer coisas novas?	1	0
10	Você sente que tem mais problemas de memória que antes?	1	0
11	Você pensa que é maravilhoso estar vivo agora?	0	1
12	Você acha que vale a pena viver como vive agora?	0	1
13	Você se sente cheio de energia?	0	1
14	Você sente que sua situação tem solução?	0	1
15	Você pensa de que a maioria das pessoas estão melhores do que você?	1	0
Total			

Score de corte > 5 = suspeita de depressão

ANEXO 4

Questionário Baecke Modificado para Idosos (QBMI)

3 Questionário Baecke Modificado para Idosos (Ueno, 2013)	
Domínio 1 – ATIVIDADE DE VIDA DIÁRIA	
1	<p>Você realiza algum trabalho doméstico em sua casa? (lavar louças, tirar o pó, consertar roupas, etc.).</p> <p>0- Nunca (menos de uma vez por mês) 1- Às vezes (somente quando o parceiro ou ajuda não está disponível) 2- Quase sempre (às vezes com ajuda) 3- Sempre (Sozinho ou com ajuda)</p>
2	<p>Você realiza algum trabalho doméstico pesado? (lavar pisos e janelas, carregar lixo, varrer a casa e etc.).</p> <p>0- Nunca (menos que uma vez por mês) 1- Às vezes (somente quando um ajudante não está disponível) 2- Quase sempre (às vezes com ajuda) 3- Sempre (sozinho ou com ajuda)</p>
3	<p>Para quantas pessoas você faz tarefas domésticas na sua casa? (Incluindo você mesmo, preencher 0 se você respondeu nunca nas questões 1 e 2).</p>
4	<p>Quantos cômodos você tem que limpar, incluindo cozinha, quarto, garagem, porão, banheiro, sótão, etc? (Preencher 0 se respondeu nunca nas questões 1 e 2).</p> <p>0- Nunca faz trabalhos domésticos 1- Um a seis cômodos 2- Sete a nove cômodos 3- Dez ou mais cômodos</p>
5	<p>Se limpa algum cômodo, em quantos andares? (preencher 0 se respondeu nunca na questão 4).</p>
6	<p>Você prepara refeições quentes para si mesmo, ou você ajuda a preparar?</p> <p>0- Nunca 1- Às vezes (uma ou duas vezes por semana) 2- Quase sempre (três a cinco vezes por semana) 3- Sempre (mais de cinco vezes por semana)</p>
7	<p>Quantos lances de escada você sobe por dia? (um lance de escada tem dez degraus)</p> <p>0- Eu nunca subo lances 1- Um a cinco lances 2- Seis a dez lances 3- Mais de dez lances</p>
8	<p>Se você vai a algum lugar em sua cidade, que tipo de transporte você utiliza?</p> <p>0- Eu nunca saio 1- Carro 2- Transporte público 3- Bicicleta 4- Caminhando</p>
9	<p>Com que frequência você faz compras?</p> <p>0- Nunca ou menos de uma vez por semana 1- Uma vez por semana 2- Duas a quatro vezes por semana 3- Todos os dias</p>

10	Se você faz compras, que tipo de transporte você utiliza? 0- Eu nunca faço compras 1- Carro 2- Transporte público 3- Bicicleta 4- Caminhando	
Domínio 2 – ATIVIDADES ESPORTIVAS		

Você pratica algum esporte? Exemplos: Caminhar, correr, nadar, esportes coletivos, lutas, xadrez.

Esporte 1

Nome/ tipo _____

Intensidade (código) (1a) _____

Horas por semana (código) (1b) _____

Quantos meses por ano (código) (1c) _____

Esporte 2

Nome/ tipo _____

Intensidade (código) (2a) _____

Horas por semana (código) (2b) _____

Quantos meses por ano (código) (2c) _____

Domínio 3 - ATIVIDADES DE TEMPO LIVRE
--

Você faz alguma atividade de tempo livre?

Atividade de tempo livre 1

Nome/ tipo _____

Intensidade (código) (1a) _____

Horas por semana (código) (1b) _____

Quantos meses por ano (código) (1c) _____

Atividade 2

Nome/ tipo _____

Intensidade (código) (2a) _____

Horas por semana (código) (2b) _____

Quantos meses por ano (código) (2c) _____

Atividade 3

Nome/ tipo _____

Intensidade (código) (3a) _____

Horas por semana (código) (3b) _____

Quantos meses por ano (código) (3c) _____

ANEXO 5

Teste dos Blocos de Corsi (TBC)

Nº: _____ Qual grupo pertence? adulto idoso

Nome: _____

Dia e horário: _____

2. Teste de Blocos de Corsi (Kessels et al., 2000; Dias & Mecca, 2019) Real

Ordem DIRETA	Escore	Ordem INVERSA	Escore
6-3		8-5	
4-9		6-4	
2-9-5		4-7-2	
8-1-6		8-1-5	
8-5-2-6		3-4-1-7	
4-9-3-7		6-1-5-8	
8-1-3-7-9		5-2-1-8-6	
4-2-5-8-1		4-2-7-3-1	
4-8-7-2-1-5		3-9-2-4-8-7	
6-2-5-9-3-8		3-7-8-2-9-4	
1-8-4-2-5-9-3		5-9-1-7-4-2-8	
4-7-3-9-6-1-2		5-7-9-2-8-4-6	
5-7-2-1-8-3-9-4		5-8-1-9-2-6-4-7	
6-8-1-4-9-2-5-7		5-9-3-6-7-2-4-3	
8-2-3-9-1-4-6-5-7		5-3-8-7-1-2-4-6-9	
6-2-4-7-8-1-5-3-9		4-2-6-8-1-7-9-3-5	

Pontuação total OD		Pontuação total OI	
Pontuação-padrão		Pontuação-padrão	
Classificação		Classificação	
Span		Span	
Span esperado por		Span esperado por	
- Idade		- Idade	
- Nível		- Nível	

Pontuação TOTAL	OD	OI
Média de grupo de mesmo nível escolar		
Desvio-padrão (DP) dos grupos de mesmo nível escolar		
Z		

Fórmula: $Z = (\text{Escore bruto} - \text{Média}) / \text{DP}$

Observações: _____

ANEXO 6

Questionário da Experiência do Usuário (QEU)

Por favor, nos dê sua opinião.

Nome _____ No _____

A fim de avaliar o produto, por favor preencha o seguinte questionário. É constituído por pares de opostos relativos às propriedades que o produto possa ter. As graduações entre os opostos são representadas por círculos. Ao marcar um dos círculos, você pode expressar sua opinião sobre um conceito.

Exemplo:

Atraente	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	Feio				
----------	-----------------------	----------------------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	------

Esta resposta significa que avalia o produto mais **atraente** do que **feio**.

Marque a sua resposta da forma mais espontânea possível. É importante que não pense demasiado na resposta porque a sua avaliação imediata é que é importante.

Por favor, assinale sempre uma resposta, mesmo que não tenha certezas sobre um par de termos ou que os termos não se enquadrem com o produto.

Não há respostas "certas" ou respostas "erradas". A sua opinião pessoal é que conta!

Por favor, dê-nos a sua avaliação atual do produto em causa.

Por favor, marque apenas um círculo por linha.

	1	2	3	4	5	6	7	
Desagradável	<input type="radio"/>	Agradável						
Incompreensível	<input type="radio"/>	Compreensível						
Criativo	<input type="radio"/>	Sem criatividade						
Fácil de aprender	<input type="radio"/>	Difícil de aprender						
Valioso	<input type="radio"/>	Sem valor						
Chato	<input type="radio"/>	Excitante						
Desinteressante	<input type="radio"/>	Interessante						
Imprevisível	<input type="radio"/>	Previsível						
Rápido	<input type="radio"/>	Lento						
Original	<input type="radio"/>	Convencional						
Obstrutivo	<input type="radio"/>	Condutor						
Bom	<input type="radio"/>	Ruim						
Complicado	<input type="radio"/>	Fácil						
Desinteressante	<input type="radio"/>	Atrativo						
Usual	<input type="radio"/>	Vanguardista						
Incomodo	<input type="radio"/>	Comodo						
Seguro	<input type="radio"/>	Inseguro						
Motivante	<input type="radio"/>	Desmotivante						
Atende as expectativas	<input type="radio"/>	Não atende às expectativas						
Ineficiente	<input type="radio"/>	Eficiente						
Claro	<input type="radio"/>	Confuso						
Pouco prático	<input type="radio"/>	Prático						
Organizado	<input type="radio"/>	Desorganizado						
Atraente	<input type="radio"/>	Feio						
Amigável	<input type="radio"/>	Hostil						
Conservador	<input type="radio"/>	Inovador						