

ARCo-VR: Um Jogo S\u00e9rio em Realidade Virtual para Reabilita\u00e7\u00e3o Cognitiva Baseado na Metodologia DLOTCA

Jo\u00e3o Pedro V. Ramalho¹, Eduardo Todt¹

¹Departamento de Inform\u00e1tica – Universidade Federal do Paran\u00e1 (UFPR)
Caixa Postal 19.011 – 81.530-090 – Curitiba – PR – Brasil

{jpvr22,todt}@inf.ufpr.br

Abstract. *This study presents ARCo-VR, a serious game in virtual reality for post-stroke cognitive rehabilitation, based on the DLOTCA protocol. The application involves collecting household objects in a virtual environment to evaluate and stimulate attention, memory, and planning. Initial validation, conducted with volunteers and specialists, indicated stability, good usability, and the clinical feasibility of the prototype.*

Resumo. *O presente trabalho apresenta o ARCo-VR, um jogo s\u00e9rio em realidade virtual para reabilita\u00e7\u00e3o cognitiva p\u00f3s-AVC, fundamentado na metodologia DLOTCA. A aplica\u00e7\u00e3o prop\u00f5e a coleta de objetos dom\u00e9sticos em ambiente virtual para avaliar e estimular aten\u00e7\u00e3o, mem\u00f3ria e planejamento. A valida\u00e7\u00e3o inicial, conduzida com volunt\u00e1rios e especialistas, indicou estabilidade, boa usabilidade e viabilidade cl\u00ednica do prot\u00f3tipo.*

1. Introdu\u00e7\u00e3o

O Acidente Vascular Cerebral (AVC) \u00e9 uma condi\u00e7\u00e3o caracterizada pela interrup\u00e7\u00e3o s\u00fabita do fluxo sang\u00fcneo cerebral, resultando em comprometimento neurol\u00f3gico [Paula et al. 2023]. Trata-se de uma das principais causas de morte e incapacidade no mundo, com impacto expressivo tamb\u00e9m no Brasil [Feigin et al. 2021, Souza et al. 2024]. Entre os sobreviventes, a presen\u00e7a de d\u00e9ficits motores e cognitivos \u00e9 comum, impondo desafios significativos \u00e0 qualidade de vida e \u00e0 plena reintegra\u00e7\u00e3o social e funcional desses indiv\u00edduos [Martins 2020, Costa et al. 2011].

As abordagens tradicionais de reabilita\u00e7\u00e3o, como fisioterapia, terapia ocupacional e fonoaudiologia, buscam restaurar essas fun\u00e7\u00f5es, mas enfrentam desafios relacionados \u00e0 motiva\u00e7\u00e3o dos pacientes e \u00e0 adapta\u00e7\u00e3o individualizada das interven\u00e7\u00f5es [Teodoro and Von Glehn 2025]. Nesse contexto, destacam-se os jogos s\u00e9rios digitais, que s\u00e3o aplica\u00e7\u00f5es interativas desenvolvidas com prop\u00f3sito educacional ou terap\u00eautico que v\u00e3o al\u00e9m do entretenimento. Essas tecnologias configuram alternativas promissoras por oferecerem experi\u00eancias imersivas e engajadoras, capazes de aumentar a ades\u00e3o ao tratamento [Ten\u00f3rio et al. 2024]. Contudo, para que sejam eficazes na reabilita\u00e7\u00e3o cognitiva, \u00e9 essencial que as tarefas sejam ajustadas dinamicamente ao desempenho do paciente. Nesse contexto, destaca-se a Dynamic Lowenstein Occupational Therapy Cognitive Assessment (DLOTCA), metodologia que permite avaliar continuamente o desempenho cognitivo e adaptar a dificuldade das atividades em tempo real, promovendo interven\u00e7\u00f5es mais responsivas \u00e0s necessidades individuais.

Com base nesses princípios, este trabalho propõe o ARCo-VR, um jogo sério em realidade virtual voltado à reabilitação cognitiva de pacientes pós-AVC, desenvolvido na plataforma Unity. O sistema insere o paciente em um ambiente doméstico simulado no qual deve localizar e coletar objetos, estimulando funções como atenção, memória e planejamento. Seu principal diferencial é a integração entre avaliação e intervenção por meio da DLOTCA, permitindo que o sistema realize mediações progressivas conforme o desempenho do usuário, favorecendo a autorregulação sem interrupção da sessão.

Neste contexto, o presente trabalho está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta a fundamentação teórica, abordando os princípios da Terapia Ocupacional, a metodologia DLOTCA e o uso da Realidade Virtual na saúde. A Seção 3 descreve o desenvolvimento do ARCo-VR, detalhando sua dinâmica, níveis de mediação e progressão de dificuldade. A Seção 4 apresenta o processo de validação e os resultados obtidos. Por fim, a Seção 5 traz as conclusões e perspectivas futuras do trabalho.

2. Fundamentação Teórica

Esta seção apresenta as bases teóricas e tecnológicas que sustentam o desenvolvimento do ARCo-VR. Inicialmente, são discutidos os princípios da Terapia Ocupacional e os desafios na reabilitação pós-AVC. Em seguida, é detalhado a metodologia DLOTCA, que estrutura a mediação dinâmica adotada neste trabalho. Por fim, apresenta-se um panorama da realidade virtual aplicada à saúde e uma análise comparativa de trabalhos relacionados.

2.1. Terapia Ocupacional e DLOTCA

A Terapia Ocupacional é uma área da saúde que estuda como as atividades diárias influenciam o bem-estar, tendo como objetivo central viabilizar a participação dos indivíduos em ocupações cotidianas [Gomes et al. 2021]. No âmbito da reabilitação cognitiva, o foco recai sobre a estimulação de funções executivas e da atenção, frequentemente utilizando o paradigma de dupla tarefa para simular as demandas do dia a dia [Mulhern 2023, Maeneja et al. 2023]. Contudo, intervenções tradicionais enfrentam alguns desafios, dentre eles a baixa transferência funcional e a rigidez de protocolos, o que pode limitar a evolução do paciente para além do contexto específico do exercício [Howe et al. 2022, Soni et al. 2025].

Para superar essas limitações, a integração de tecnologias imersivas surge como uma evolução natural das práticas terapêuticas. A realidade virtual, por exemplo, permite a criação de cenários dinâmicos e controlados que favorecem o engajamento e a generalização dos ganhos terapêuticos [Turolla et al. 2013]. Nesse cenário, a metodologia Dynamic Lowenstein Occupational Therapy Cognitive Assessment (DLOTCA) destaca-se como um referencial para a avaliação e intervenção. Diferente de outras abordagens, a DLOTCA adota uma perspectiva dinâmica, na qual cada domínio é avaliado por tarefas funcionais que simulam demandas do cotidiano. Essa estrutura permite ao terapeuta observar não apenas o resultado final, mas sobretudo o tipo e o grau de mediação necessários para que o paciente conclua a tarefa proposta [Katz et al. 2012].

Na prática, ela é organizada em uma hierarquia de suporte composta por cinco níveis crescentes de mediação, que orientam o grau de auxílio necessário ao paciente. O Nível I consiste em estímulos motivacionais e de atenção, enquanto o Nível II utiliza questionamentos que induzem à autocrítica sobre a tarefa. No Nível III, fornece-se um

feedback específico sobre o erro cometido, evoluindo para o Nível IV, onde pistas parciais são oferecidas para facilitar a resolução. Por fim, o Nível V envolve a redução direta da carga cognitiva da tarefa.

2.2. Realidade Virtual na Saúde

O desenvolvimento da Realidade Virtual (RV) iniciou entre as décadas de 1960 e 1990, com aplicações voltadas inicialmente às áreas militares e aeroespaciais [Mazuryk and Gervautz 1996]. Na década de 1990, sua popularização ganhou força com o surgimento de dispositivos comerciais e experiências em fliperamas públicos [Rheingold 1992], período em que também surgiram os primeiros experimentos em contextos clínicos para o tratamento de fobias [Hodges et al. 1995]. Atualmente, a RV tem se mostrado como uma ferramenta versátil para a área da saúde, aplicada desde o treinamento cirúrgico até a reabilitação motora e cognitiva pós-AVC. Ao simular atividades de vida diária com *feedback* em tempo real, esses sistemas estimulam a neuroplasticidade e aumentam a adesão ao tratamento por meio do engajamento lúdico [Laver et al. 2017].

Na literatura acadêmica, diversas soluções têm explorado esse potencial terapêutico. No âmbito da reabilitação motora, o RehabMaster utiliza sensores de profundidade e jogos sérios para o treino de membros superiores, permitindo que o terapeuta ajuste manualmente os níveis de dificuldade [Shin et al. 2014]. Já no campo sensorial, o AeroVR foca na compensação de hemianopsia (perda de campo visual), utilizando óculos de RV para estimular a varredura visual em um cenário simulado de pilotagem [Barbosa et al. 2025]. Embora essas iniciativas avancem na motivação do paciente, elas frequentemente apresentam uma separação entre os momentos de avaliação e intervenção, dependendo de ajustes manuais do profissional entre ou durante as sessões.

O ARCo-VR diferencia-se dessas abordagens ao focar na reabilitação cognitiva e integração da metodologia DLOTCA para automatizar o suporte ao paciente. Enquanto os sistemas relacionados exigem intervenção externa para adaptação do desafio, o jogo proposto implementa uma mediação dinâmica que ajusta, em tempo real, o nível de auxílio com base no desempenho do usuário.

3. Desenvolvimento do ARCo-VR

O ARCo-VR foi desenvolvido na plataforma Unity com o objetivo de incorporar os princípios da metodologia DLOTCA para um ambiente de realidade virtual. A dinâmica do jogo consiste na localização e coleta de objetos domésticos espalhados aleatoriamente pelo cenário, estimulando funções como atenção sustentada, memória e planejamento. Ao iniciar cada fase, o paciente recebe uma lista de itens-alvo, que permanece acessível para consulta durante toda a tarefa. Nesse contexto, define-se como “erro” qualquer tentativa de coleta de um objeto que não pertença à lista atual.

O controle dessas ocorrências é realizado por um algoritmo de mediação dinâmica que monitora as interações em tempo real e ajusta o nível de suporte conforme o desempenho do paciente. O suporte foi estruturado segundo a metodologia DLOTCA, apresentando cinco níveis progressivos, de modo que, a cada novo erro, o nível de mediação é incrementado em um nível, enquanto um acerto reinicia o contador. No Nível I, acionado após o primeiro erro, o sistema fornece encorajamento verbal com mensagens como “Preste atenção, não se preocupe”. No Nível II, o apoio torna-se mais direcionado, estimulando

a reflexão por meio de perguntas como “O objeto que está procurando é pequeno ou grande?”. No Nível III, ocorre uma correção mais explícita, informando que o objeto selecionado não corresponde ao item da lista. No Nível IV, o sistema passa a sugerir a localização correta por meio de uma pista auditiva. Por fim, no Nível V, há redução da demanda cognitiva, com a exibição de uma seta flutuante indicando explicitamente a posição do primeiro objeto da lista. A Figura 1 apresenta capturas de tela de uma sessão-teste ilustrando os diferentes níveis de mediação sob a perspectiva do paciente.

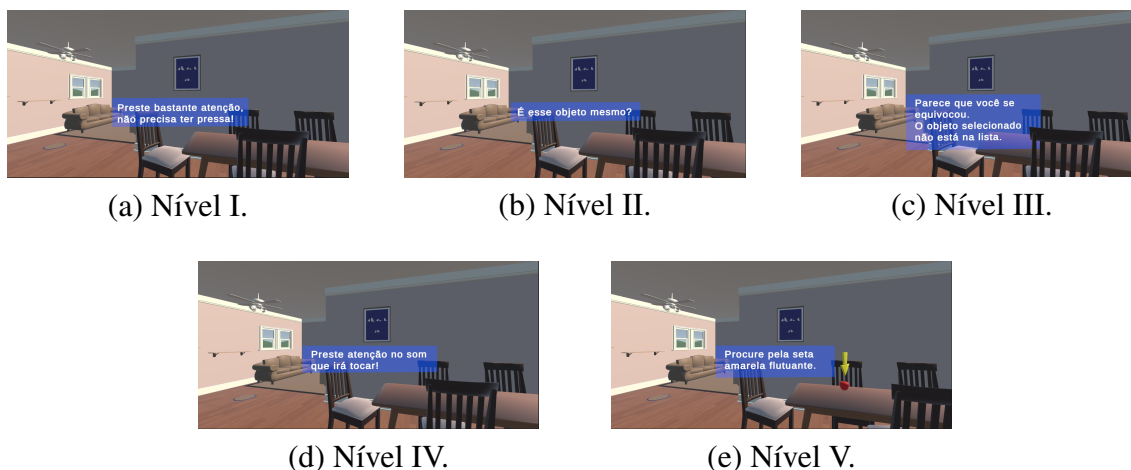


Figura 1. Exemplos de *feedbacks* gerados pelo sistema de mediação.

Paralelamente ao mecanismo de mediação, o ARCo-VR incorpora uma progressão estruturada de dificuldade, planejada para introduzir gradualmente as demandas cognitivas e espaciais da tarefa. Como etapa inicial desse processo, foi implementada uma fase de tutorial destinada a familiarizar o usuário com os comandos de seleção e com a interface de consulta à lista de itens. Dessa forma, buscou-se assegurar que eventuais dificuldades nas fases subsequentes estivessem relacionadas ao desempenho cognitivo, e não ao desconhecimento da interface de realidade virtual.

Após a fase de aprendizado, o jogo organiza-se em 12 fases, distribuídas em três grupos de dificuldade: inicial, intermediário e avançado, com quatro fases cada. As iniciais (Figura 2a) apresenta cenários de um único cômodo; as intermediárias (Figura 2b) expandem a busca para dois cômodos adjacentes sem obstrução visual entre eles; e as avançadas (Figura 2c) exige a exploração de ambientes com segregação bem definida entre os cômodos e maior necessidade de deslocamento. Em cada novo cenário, a complexidade é elevada não apenas pelo arranjo espacial, mas também pelo aumento no número de objetos espalhados pelos cômodos, desafiando habilidades de reconhecimento visual e associação semântica.

Além da estrutura espacial, a progressão da dificuldade baseia-se também na diversidade de objetos que aparecem no cenário. Para isso, o sistema conta com 95 variações de objetos divididas entre níveis fácil (ex.: frutas), médio (ex.: raquetes) e avançado (ex.: quadros, que exigem interpretação de conteúdo). Enquanto itens fáceis fornecem tanto o *feedback* visual (mudança de cor ao interagir) quanto o háptico (vibração dos controles), objetos de maior complexidade oferecem apenas resposta háptica, elevando a exigência perceptiva. Vale ressaltar que essa estratégia foi validada por uma equipe de terapeutas ocupacionais especialistas em reabilitação neurofuncional.

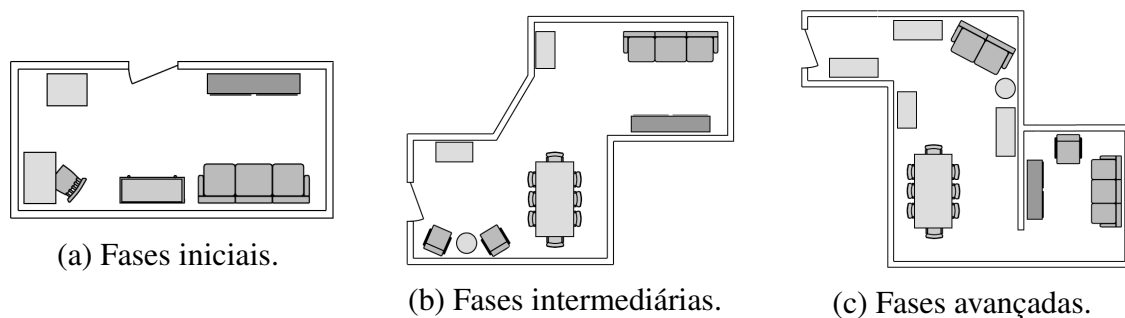


Figura 2. Plantas-base por grupo de fases.

Além da variabilidade dos cenários e objetos, o ARCo-VR também oferece diferentes modos de jogo, que acrescentam camadas de exigência cognitiva sem alterar o objetivo central da tarefa. No modo Normal, o paciente realiza a coleta livremente; o modo Limite de Erros estabelece um número máximo de seleções incorretas permitidas, promovendo a atenção sustentada e a autocorreção; enquanto o modo Cronometrado visa incentivar a agilidade, o foco e o planejamento motor.

4. Validação e Resultados

A eficácia do sistema e sua aplicabilidade clínica foram validadas por meio de testes de usabilidade e desempenho técnico utilizando o *headset* Meta Quest 2, equipado com processador Qualcomm Snapdragon XR2, 6 GB de RAM, 128 GB de armazenamento e taxa de atualização de 90 Hz. Durante as sessões, o conteúdo visualizado pelos participantes foi espelhado em um monitor externo para permitir o acompanhamento em tempo real.

A avaliação exploratória envolveu dez voluntários, todos atuando como pesquisadores desenvolvedores da aplicação, com idade entre 20 e 30 anos. Todos relataram experiência prévia com jogos digitais, embora apenas 40% já tivessem tido contato com jogos em RV. Antes da execução, cada participante recebeu instruções sobre o objetivo do jogo e o funcionamento da mediação, para então realizar a fase tutorial. Após isso, o voluntário escolhia livremente uma fase e era instruído a coletar deliberadamente objetos incorretos para acionar os diferentes níveis de mediação. Por fim, cada participante executou uma fase de cada nível de dificuldade: inicial, intermediário e avançado. A duração média das sessões foi de aproximadamente 7 minutos por participante.

Além disso, para validar a aplicabilidade clínica, foram realizados testes adicionais na Clínica-Escola de Terapia Ocupacional da Universidade Federal do Paraná com a participação de quatro terapeutas ocupacionais especialistas em reabilitação neurofuncional. O protocolo aplicado a eles manteve a estrutura utilizada com os voluntários, seguida pelo preenchimento de um questionário para avaliar usabilidade e relevância clínica. As primeiras questões avaliaram aspectos de design, usabilidade e impacto terapêutico por meio de uma escala Likert de concordância, variando de 1 (discordo totalmente) a 5 (concordo totalmente), conforme detalhado na Tabela 1. As questões finais foram abertas para comentários qualitativos sobre pontos positivos e sugestões de melhoria.

Os resultados técnicos confirmaram o funcionamento correto da geração dinâmica de objetos e dos gatilhos de mediação, além da integridade na coleta de métricas de desempenho. No que tange à usabilidade, os voluntários realizaram as tarefas com su-

cesso, embora dois relatos de náusea (*cybersickness*) tenham ocorrido, interrompendo a atividade momentaneamente. Adicionalmente, identificou-se que usuários com miopia enfrentaram dificuldades na leitura da lista de objetos, visto que não é possível utilizar óculos de grau e o *headset* simultaneamente.

A análise qualitativa e quantitativa dos terapeutas indicou altos índices de satisfação, com a maioria das avaliações situadas entre os níveis 4 e 5 da escala. Os especialistas destacaram o potencial do ARCo-VR para estimular funções cognitivas como atenção e memória, além de ressaltarem o elevado engajamento proporcionado pela imersão. As sugestões de aprimoramento concentraram-se na acessibilidade visual e na futura possibilidade de personalizar os comandos de controle motor.

Tabela 1. Resultados da avaliação do ARCo-VR por terapeutas ocupacionais.

Afirmação	Especialista 1	Especialista 2	Especialista 3	Especialista 4
A interface do ARCo-VR é intuitiva e fácil de aprender a usar.	5	5	5	5
A navegação e os comandos funcionam de forma previsível e consistente.	5	5	5	5
O <i>design</i> do ambiente é agradável e contribui para a imersão do paciente.	5	5	5	5
A duração das animações é adequada ao tempo de resposta dos pacientes.	5	4	4	4
Na minha opinião, o uso do ARCo-VR pode contribuir para os objetivos terapêuticos do paciente.	5	5	5	5
O sistema pode ser facilmente integrado à rotina clínica sem demandar grande adaptação.	4	5	5	4
O ARCo-VR aumentou o engajamento dos pacientes nas sessões.	5	5	5	5
O nível de esforço cognitivo e motor exigido pareceu adequado ao perfil dos pacientes.	5	4	4	5

5. Conclusão

Este artigo apresentou o ARCo-VR, um jogo sério em realidade virtual para reabilitação cognitiva pós-AVC, fundamentado na metodologia DLOTCA. A principal contribuição é a integração entre avaliação e intervenção por meio de um sistema hierárquico de mediação capaz de ajustar dinamicamente o suporte oferecido conforme o desempenho do paciente, favorecendo a autorregulação sem interromper a sessão.

Na validação exploratória o sistema mostrou funcionamento estável: a instanciação e distribuição dos objetos, o mecanismo de mediação e o registro de desempenho comportaram-se conforme o esperado. Testes com voluntários e especialistas indicaram boa aceitação e uma curva de aprendizado adequada após o tutorial inicial. Embora os resultados preliminares sejam promissores, foram identificadas oportunidades de melhoria, especialmente no que se refere à acessibilidade visual para usuários com baixa visão ou miopia, bem como à ampliação das opções de configuração individualizadas.

Por fim, ressalta-se que esta etapa corresponde a uma validação inicial, sendo necessária a realização de estudos controlados com a população-alvo, precedidos de aprovação ética, para comprovar a eficácia clínica da proposta. Como desdobramentos futuros, prevê-se a validação de conteúdo com terapeutas especializados na metodologia DLOTCA, a expansão de cenários e modos de jogo, a implementação de mecanismos de exportação de relatórios para acompanhamento longitudinal e a evolução arquitetural do sistema, incluindo a separação do módulo de interface do terapeuta.

Referências

- Barbosa, G. H. d. S., Nickel, R., and Todt, E. (2025). Jogo em realidade virtual de treinamento para compensação de perda do campo visual para pacientes pós-avc. In *Anais do Computer on the Beach*, volume 16, pages 596–598.
- Costa, F. A., da Silva, D. L. A., and da Rocha, V. M. (2011). Estado neurológico e cognição de pacientes pós-acidente vascular cerebral. *Revista da Escola de Enfermagem da USP*, 45(5):1083–1088.
- Feigin, V. L., Stark, B. A., Johnson, C. O., Roth, G. A., Bisignano, C., Abady, G. G., Abbasifard, M., Abbasi-Kangevari, M., Abd-Allah, F., and Abedi, V. (2021). Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990–2019: a systematic analysis for the global burden of disease study 2019. *The Lancet Neurology*, 20(10):795–820.
- Gomes, M. D., Teixeira, L. C., and Ribeiro, J. M. (2021). *Enquadramento da Prática da Terapia Ocupacional: Domínio & Processo*. Politécnico de Leiria, 4th edition.
- Hodges, L. F., Rothbaum, B. O., Kooper, R., Opdyke, D., Meyer, T., North, M., de Graff, J. J., and Williford, J. (1995). Virtual environments for exposure therapy. *IEEE Computer*, 28(7):27–34.
- Howe, J., Chua, W., Sumner, E., Drozdowska, B., Laverick, R., Bevins, R. L., Jean-Baptiste, E., Russell, M., Rotshtein, P., and Wing, A. M. (2022). The efficacy of a task model approach to adl rehabilitation in stroke apraxia and action disorganisation syndrome: A randomised controlled trial. *PloS one*, 17(3):e0264678.
- Katz, N., Bar-Haim Erez, A., Livni, L., and Averbuch, S. (2012). Dynamic lowenstein occupational therapy cognitive assessment: evaluation of potential to change in cognitive performance. *The American Journal of Occupational Therapy*, 66(2):207–214.
- Laver, K. E., Lange, B., George, S., Deutsch, J. E., Saposnik, G., and Crotty, M. (2017). Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane database of systematic reviews*, 11(11):CD008349.
- Maeneja, R., Silva, C. R., Ferreira, I. S., and Abreu, A. M. (2023). Aerobic physical exercise versus dual-task cognitive walking in cognitive rehabilitation of people with stroke: a randomized clinical trial. *Frontiers in Psychology*, 13(14):1258262.
- Martins, L. G. (2020). Fatores clínicos associados com o controle de tronco após acidente vascular cerebral: estudo prospectivo. Master's thesis, Universidade Estadual Paulista, São Paulo.
- Mazuryk, T. and Gervautz, M. (1996). History, applications, technology and future. *Virtual Reality*, 72(4).
- Mulhern, M. (2023). Cognitive rehabilitation interventions for post-stroke populations. *Delaware Journal of Public Health*, 9(3):70–74.
- Paula, R., Hourani, H., Trivelli, G., Karajah, O., Neto, G., and Aires, M. (2023). Acidente vascular cerebral: explorando a fisiopatologia e distúrbios do sono. *Research, Society and Development*, 12(10):e42121043382.

- Rheingold, H. (1992). *Virtual reality: The revolutionary technology of computer-generated artificial worlds-and how it promises to transform society*. Simon and Schuster.
- Shin, J.-H., Ryu, H., and Jang, S. H. (2014). A task-specific interactive game-based virtual reality rehabilitation system for patients with stroke: a usability test and two clinical experiments. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 11:32.
- Soni, A. K., Kumar, M., and Kothari, S. (2025). Efficacy of home based computerized adaptive cognitive training in patients with post stroke cognitive impairment: a randomized controlled trial. *Scientific Reports*, 15:1072.
- Souza, A. M. L. B., Pereira, A. C., and de Castro Meneghim, M. (2024). Análise das internações e óbitos por acidente vascular cerebral em diferentes regiões do Brasil antes e durante a pandemia de covid-19. *SciELO Preprints*.
- Tenório, C. P., Reis, D. F., Okuno, E., Do Carmo, E. F., da Silva, G. S., Rios, K. R., and Leite, M. V. F. (2024). Tecnologias de realidade virtual na reabilitação pós-avc: uma revisão de literatura. *Revistaft*, 28.
- Teodoro, S. A. and Von Glehn, F. M. S. (2025). Reabilitação multiprofissional no pós-acidente vascular cerebral: uma revisão integrativa. *Revistaft*, 29.
- Turolla, A., Dam, M., Ventura, L., Tonin, P., Agostini, M., Zucconi, C., Kiper, P., Cagnin, A., and Piron, L. (2013). Virtual reality for the rehabilitation of the upper limb motor function after stroke: a prospective controlled trial. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 10:85.