

Além da Aprendizagem Precoce: Um Estudo de Usabilidade de uma Ferramenta Multissensorial para uma População em Envelhecimento

Lui Gill Aquini¹, Tiago Duarte Mackedanz¹, Leomar Soares da Rosa Junior¹,
Laura Quevedo Jurgina¹

¹Laboratory for Innovation and Research on Educational Solutions (LIREs)
Universidade Federal de Pelotas (UFPEl)
Pelotas – RS – Brasil

{lgaquini, tdmackedanz, leomarjr, lqjurgina}@inf.ufpel.edu.br

Abstract. *This paper presents the usability testing of the Alfaba device with elderly users, aiming to assess its suitability as a cognitive stimulation and lifelong learning tool for aging populations. Eight participants aged 73 to 85 interacted with a tangible, multisensory interface and completed tasks of increasing complexity. The SUS questionnaire was applied to assess usability. The device achieved a high average score of 91, with seven out of eight participants rating it in the “A” category. Observations and participant feedback highlighted the intuitive use of the system and suggested design improvements. The results support the feasibility of adapting the Alfaba to older adults, with potential application to neurodegenerative contexts.*

Resumo. *Este artigo apresenta um teste de usabilidade do dispositivo Alfaba com pessoas idosas, avaliando seu potencial como ferramenta de aprendizado contínuo e estimulação cognitiva no envelhecimento. Oito participantes, entre 73 e 85 anos, realizaram tarefas com o sistema e responderam ao questionário SUS. O dispositivo obteve média de 91 pontos, com sete dos oito participantes atribuindo conceito “A”. Observações qualitativas indicaram facilidade de uso e sugestões de melhorias. Os dados reforçam a viabilidade de adaptação do Alfaba ao público idoso, apontando possibilidades para seu uso em contextos de suporte à neuroplasticidade.*

1. Introdução

O envelhecimento populacional tem implicado mudanças estruturais nas demandas sociais, cognitivas e funcionais de uma parcela crescente da população brasileira. Aproximadamente 25% dos brasileiros terão 65 anos ou mais até 2060, o que representa uma transição demográfica de grande impacto para as políticas públicas e o desenvolvimento de tecnologias inclusivas [IBGE 2018]. Nesse contexto, promover a autonomia, o engajamento e a manutenção de capacidades cognitivas em idosos tornou-se objetivo relevante em iniciativas que conectam saúde, educação e tecnologia [Fiocruz 2022, OMS 2005].

O conceito de *lifelong learning* reconhece que o processo educacional não se encerra com a escolarização formal, estendendo-se por todas as fases da vida como condição para o desenvolvimento humano pleno [Tawil and Locatelli 2015]. No contexto do envelhecimento, manter o cérebro cognitivamente ativo por meio de atividades estruturadas

de aprendizagem é uma estratégia reconhecida de preservação da autonomia e prevenção do declínio [Park and Reuter-Lorenz 2009]. Tecnologias educacionais que suportem esse engajamento contínuo se tornam relevantes tanto no contexto educacional quanto para políticas de envelhecimento ativo.

Ambientes enriquecidos com estímulos variados favorecem a formação de novas conexões sinápticas e contribuem para a preservação funcional ao longo do envelhecimento [Nithianantharajah and Hannan 2009]. Interfaces tangíveis que integram estímulos táteis, visuais e auditivos mobilizam vias sensoriais múltiplas e oferecem suporte a funções como atenção, memória operacional e percepção motora, além de ampliarem o engajamento de pessoas idosas com tarefas cognitivas [Salazar-Cardona et al. 2023, Wang et al. 2020].

O Alfaba, originalmente desenvolvido para apoiar alfabetização infantil, combina manipulação de letras com resposta sonora e visual, possibilitando uma experiência interativa sensorial. Tais características são compatíveis com perfis funcionais do envelhecimento, o que define a motivação para sua investigação entre pessoas idosas [Jurgina 2023].

Este trabalho descreve um estudo de usabilidade do Alfaba com oito pessoas idosas (73–85 anos) sem diagnóstico de patologias associadas. Ao avaliar um dispositivo educacional nesse novo contexto de uso, o estudo contribui para a discussão sobre como ferramentas baseadas no conceito de *lifelong learning* podem ser adaptadas para públicos em processo de envelhecimento, considerando tanto a viabilidade técnica quanto a adequação pedagógica da proposta. Utilizou-se a escala *System Usability Scale* (SUS) [Brooke et al. 1996], complementada por observações qualitativas do uso, com o objetivo de identificar elementos que facilitem ou dificultem seu uso autônomo, possibilitando ajustes para aplicações terapêuticas futuras.

O restante deste trabalho está estruturado como segue: A Seção 2, Trabalhos Relacionados, fundamenta a pesquisa por meio de uma revisão da literatura sobre interfaces tangíveis (TUIs), seus efeitos cognitivos e a neuroplasticidade no envelhecimento. A Seção 3, Metodologia, delinea o desenho do estudo, sendo subdividida para descrever a caracterização do dispositivo (3.1), sua adequação ao público idoso (3.2) e o protocolo experimental com os participantes e procedimentos éticos (3.3). A Seção 4, Resultados, apresenta a análise dos dados quantitativos do *System Usability Scale* (SUS) e as observações qualitativas registradas durante os testes. Por fim, a Seção 5, Conclusão, sintetiza os achados de elevada aceitabilidade e usabilidade, discorre sobre as contribuições e aponta direções para pesquisas futuras.

2. Trabalhos Relacionados

A aplicação de interfaces tangíveis no contexto do envelhecimento tem avançado em diversas áreas, particularmente naquelas que buscam aliar acessibilidade tecnológica à estimulação cognitiva e à aprendizagem ao longo da vida. Bhowmick et al. [2023] realizaram um estudo sobre o uso de ferramentas tecnológicas com populações idosas, apontando o potencial das *Tangible User Interfaces* (TUIs) para favorecer a usabilidade em comparação a interfaces gráficas convencionais, sobretudo pela maior previsibilidade motora e engajamento sensorial proporcionado pela manipulação física. Nesse contexto, o *lifelong learning* surge como quadro conceitual relevante, já que aprendizagem não se

encerra com a escolarização formal, e tecnologias educacionais acessíveis podem sustentar o engajamento cognitivo ativo em fases avançadas da vida [Jarvis 2004].

A discussão sobre os efeitos cognitivos dessas interfaces ganha relevância tendo em vista as evidências sobre a neuroplasticidade na velhice. Maier et al. [2013] demonstram que a reorganização funcional do cérebro permanece ativa em adultos mais velhos, desde que haja exposição a experiências sensorio-motoras consistentes, condição favorecida por TUIs que integram manipulação física, retorno visual e estímulo auditivo.

A ressignificação de dispositivos educacionais desenvolvidos originalmente para crianças como ferramentas de *lifelong learning* para idosos representa uma abordagem ainda pouco explorada na literatura, com potencial de reduzir custos de desenvolvimento e ampliar o acesso a tecnologias de estimulação cognitiva. Essa lacuna justifica a proposta de avaliar o Alfaba com um público idoso, investigando sua viabilidade como ferramenta educacional para além do contexto infantil para o qual foi concebido.

3. Metodologia

O Alfaba é uma tecnologia educacional desenvolvida para apoiar a alfabetização infantil, integrando manipulação tangível e estímulos multissensoriais com base nos princípios da neuroplasticidade. Com peças tangíveis representando letras e mecanismos de retorno visual, auditivo e tátil, a ferramenta busca ativar diferentes regiões cerebrais envolvidas na leitura e na escrita, promovendo conexões sinápticas por meio da experiência multisensorial [Jurgina 2023].

Este estudo, no entanto, tem como objetivo compreender de que modo essa mesma lógica de interação pode ser adequada a públicos em processo de envelhecimento ou em situações de declínio cognitivo leve. Mais do que avaliar o funcionamento técnico da ferramenta, a pesquisa busca verificar se a proposta de manipulação ativa e retorno sensorial mantém-se acessível, compreensível e funcional para pessoas idosas. A motivação principal para esse recorte reside na possibilidade de ressignificar o Alfaba como ferramenta de *lifelong learning*, apoiando a manutenção cognitiva e o engajamento ativo com a aprendizagem em pessoas idosas, inclusive naquelas com condições neurodegenerativas como Alzheimer e Parkinson, ou com perdas funcionais associadas ao avanço da idade.

A avaliação da usabilidade com esse público é um passo necessário antes da aplicação em contextos terapêuticos formais, uma vez que permite identificar dificuldades de manipulação, barreiras de compreensão ou descompassos entre a lógica da atividade e as condições cognitivas típicas da velhice. Esta seção descreve, portanto, a configuração do Alfaba, os fundamentos da sua adequação à população idosa, os procedimentos éticos adotados e o protocolo experimental desenvolvido.

3.1. Caracterização do Dispositivo

O funcionamento do dispositivo parte da apresentação de uma palavra-alvo, exibida na tela e pronunciada por meio de áudio. O usuário deve, então, construir essa palavra utilizando as peças físicas do alfabeto, posicionando-as na sequência correta. O sistema reconhece cada letra inserida, identificando seu conteúdo e orientação. A seguir, fornece retorno imediato por meio de luzes coloridas: verde para letras corretas, vermelho para letras equivocadas e azul para letras posicionadas de forma espelhada. A Figura 1 ilustra esse mecanismo de feedback, com a palavra “cebola” montada parcialmente de maneira



Figura 1. Alfaba em funcionamento: montagem da palavra “cebola” com feed-back visual de acertos (verde), erro (vermelho) e letra espelhada (azul).

incorreta. Observa-se a variação das cores nos LEDs que retroalimentam o usuário com informações específicas sobre o desempenho na tarefa.

O conteúdo disponibilizado pelo Alfaba está organizado em seis grupos de palavras em português, organizadas com base na complexidade ortográfica e fonológica. Cada grupo contém dez palavras que se relacionam com imagens e sons programados, permitindo a associação entre grafia, som e significado. Um sétimo grupo contém palavras em inglês, como “cat”, “milk” e “bus”, com o objetivo de ampliar o escopo da ferramenta para contextos bilíngues e situações de estimulação cognitiva que envolvam vocabulários não familiares.

A proposta do dispositivo é baseada na ativação de rotas sinápticas por meio da manipulação ativa, da associação fonovisual e do uso de pistas visuais e sonoras de correção. Esses elementos fundamentam a hipótese de que o Alfaba pode ser utilizado também como tecnologia de suporte à estimulação cognitiva em populações idosas, como será discutido na subseção a seguir.

3.2. Alfaba e o Público Idoso

O Alfaba apresenta um conjunto de características que o tornam adequado não apenas ao contexto educacional infantil para o qual foi concebido, mas também como ferramenta de *lifelong learning* para pessoas idosas, incluindo aquelas em processo de envelhecimento saudável ou com diagnóstico de condições neurodegenerativas.

A manipulação de peças físicas tridimensionais estimula a coordenação motora fina, a propriocepção e o planejamento motor, funções frequentemente comprometidas com o avanço da idade. O retorno multissensorial imediato, por meio de sinais luminosos codificados por cor e reprodução auditiva da palavra-alvo, reduz a carga cognitiva da tarefa e oferece suporte a funções como memória fonológica, atenção e reconhecimento espacial, como aponta Maier et al. [2013]. A redundância sensorial é especialmente relevante em contextos de declínio cognitivo leve, pois permite que canais preservados compensem perdas em outros [Mühlenfeld and Jolles 2015].

Do ponto de vista pedagógico, a estrutura do dispositivo segue uma lógica compatível com princípios do *lifelong learning*. As tarefas são organizadas em sequência progressiva de complexidade, com rotinas previsíveis que favorecem a autonomia de execução e reduzem a dependência de planejamento executivo [Jarvis 2004]. Essas características posicionam o dispositivo como estratégia de ativação cognitiva engajante e repetível, orientada à manutenção de funções preservadas ao longo do envelhecimento.

3.3. Participantes, Ética e Protocolo Experimental

Participaram do estudo oito pessoas idosas do sexo feminino, com idades entre 73 e 85 anos, todas residentes em área urbana da região sul do Brasil. Nenhuma possuía diagnóstico de demência ou outro comprometimento cognitivo grave. Todas haviam concluído o ensino médio, e o perfil socioeconômico predominante era de renda elevada, condição compatível com o vínculo das participantes a grupos comunitários organizados voltados à terceira idade. O grau de familiaridade com tecnologia variou entre as participantes, já que algumas relataram uso regular de dispositivos digitais como *smartphones*, enquanto outras declararam baixo contato com tecnologias contemporâneas. A seleção foi realizada por conveniência, a partir desses vínculos comunitários locais, e a amostra não tem pretensão de representatividade populacional, sendo adequada ao caráter exploratório do estudo.

Os participantes foram previamente informados sobre os objetivos, procedimentos, caráter voluntário da participação e garantia de sigilo dos dados. Todos assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). A pesquisa foi conduzida em conformidade com as normas éticas vigentes, conforme a Resolução CNS n.º 466/2012, a Norma Operacional 001/2013, a Resolução CNS n.º 510/2016 e a Resolução CNS n.º 674/2022, tendo aprovação registrada na Plataforma Brasil.

Para avaliar a experiência de uso, foi adotado o SUS [Brooke et al. 1996], instrumento amplamente utilizado em estudos de usabilidade por sua simplicidade de aplicação e robustez psicométrica. O questionário é composto por dez afirmativas alternando itens positivos e negativos, respondidas imediatamente após a interação com o sistema. A pontuação final varia de 0 a 100: valores acima de 68 indicam usabilidade acima da média, e escores superiores a 85 correspondem à faixa de excelência.

As sessões foram realizadas individualmente, em ambiente silencioso e iluminado. Cada sessão teve duração aproximada de 20 minutos e contou com dois pesquisadores, um responsável por orientar os procedimentos e outro pelo acompanhamento e registro das interações. O protocolo experimental foi estruturado em três etapas, organizadas de forma progressiva. Na primeira, os participantes foram convidados a explorar livremente o Alfaba, sem mediação direta, a fim de promover o reconhecimento espontâneo dos elementos físicos e dos estímulos audiovisuais. Na segunda etapa, foram apresentadas palavras simples na tela, que deveriam ser montadas com as peças físicas. Na terceira etapa, introduziram-se palavras mais longas ou em inglês, pertencentes ao grupo adicional do Alfaba, buscando ativar habilidades de raciocínio e memória operacional.

Durante as atividades, foram garantidas pausas sempre que solicitadas e reforçado o caráter não avaliativo do estudo. Os pesquisadores atuaram de maneira acolhedora e descritiva, assegurando que os participantes se sentissem confortáveis ao longo da experiência.

4. Resultados

A avaliação com pessoas idosas permitiu observar não apenas a aceitação do Alfaba, mas também aspectos específicos de sua operação diante das limitações funcionais comuns ao envelhecimento. A análise das respostas ao questionário SUS revelou uma percepção amplamente positiva da usabilidade do dispositivo, com mediana de 97,5, o que corresponde

à faixa “A” da escala interpretativa. Esse resultado é compatível com a impressão geral dos participantes durante a atividade prática, caracterizada por engajamento contínuo, autonomia na exploração e interesse pelo desafio proposto.

Conforme detalhado na Tabela 1, sete dos oito participantes atribuíram pontuações que se mantêm na faixa mais elevada do SUS, incluindo dois escores máximos. A exceção foi o Usuário 1, cuja nota (57,5 – conceito ‘D’) contrasta com os demais. A hipótese para essa nota inferior às demais é a falta de familiaridade da usuária com ferramentas tecnológicas, associada a um baixo letramento digital, o que tornou a experiência de uso do dispositivo enfadonha e intimidadora, sobretudo em razão de um medo constante de errar durante a realização das atividades propostas.

Tabela 1. Resultados do SUS por Usuário

USUÁRIO	SUS SCORE	SUS GRADE
Usuário 1	57,5	D
Usuário 2	100	A
Usuário 3	97,5	A
Usuário 4	82,5	A
Usuário 5	97,5	A
Usuário 6	97,5	A
Usuário 7	100	A
Usuário 8	95	A
Mediana	97,50	A

A Tabela 2 apresenta as médias, desvios padrão e valores extremos para cada item do questionário SUS. Os dados revelam um padrão consistente de aprovação do sistema por parte dos participantes, com valores médios elevados para as afirmações positivas (itens ímpares) e médias próximas de 1 para as afirmações negativas (itens pares), indicando baixa percepção de complexidade, inconsistência ou necessidade de assistência.

Tabela 2. Resultados Estatísticos do Teste SUS

Item	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
1	4,00	1,32	1	5
2	1,75	1,30	1	4
3	4,50	1,32	1	5
4	1,25	0,66	1	3
5	4,85	0,33	4	5
6	1,00	0,00	1	1
7	4,50	1,32	1	5
8	1,00	0,00	1	1
9	5,00	0,00	5	5
10	1,50	1,00	1	4

O item de maior concordância foi o 9 (“Senti-me confiante ao usar o sistema”), com média máxima de 5 e desvio padrão nulo, sinalizando uma experiência segura e compreensível. A avaliação da integração das funções (item 5) também foi amplamente

favorável (média 4,85), o que sugere coerência entre os componentes físicos e os retornos auditivo-visuais do Alfaba. Em contrapartida, os menores escores foram observados nos itens 6 e 8, que tratam de inconsistência e atrapalho durante o uso. Ambos obtiveram média 1,00 e nenhum desvio, reforçando a percepção de estabilidade na interação. Esses dados sustentam que, mesmo em um público com possíveis restrições funcionais, o sistema apresentou comportamento confiável e de fácil domínio. As maiores variações individuais ocorreram nos itens 1, 3 e 7, relacionados à frequência de uso, facilidade e aprendizado, indicando que esses aspectos são sensíveis a características pessoais, como familiaridade com tecnologia ou capacidade cognitiva preservada.

Observações registradas durante os testes complementam essas tendências quantitativas. A maioria dos participantes demonstrou segurança crescente à medida que explorava o sistema, mesmo quando encontravam dificuldades iniciais para localizar peças ou compreender o objetivo das atividades. A função de repetição sonora da palavra foi amplamente utilizada, sugerindo que o canal auditivo se mostrou um suporte relevante para compensar eventuais falhas visuais ou de memória imediata.

A Figura 2 exemplifica um dos casos de adaptação: uma participante cega utilizou predominantemente o tato para identificar as letras. Essa conduta reforça o potencial do Alfaba como recurso acessível a usuários com diferentes perfis funcionais. A participante sugeriu a inclusão de um retorno sonoro para os acertos, substituindo os indicadores luminosos, o que pode beneficiar pessoas com baixa acuidade visual. Esse apontamento corrobora a importância de ampliar as formas de feedback sem depender exclusivamente de um canal sensorial.



Figura 2. Usuária cega explorando o alfabeto tangível.

A montagem das palavras foi concluída por todas as participantes, com tempos distintos de execução e sem rejeições ao uso. As dificuldades relatadas concentraram-se na diferenciação de algumas letras, atribuída ao baixo contraste das peças com a superfície da mesa e ao formato das letras impressas, limitação técnica que reforça a necessidade de ajustes no design físico do dispositivo. Apenas duas participantes utilizaram o grupo de palavras em inglês, as demais relataram desconforto associado ao conhecimento limitado da língua, e a hipótese levantada para o baixo engajamento é o sentimento de frustração diante de erros em vocabulário considerado elementar. Esse dado aponta para a importância de calibrar o nível de desafio às experiências prévias do aprendiz, princípio

central do *lifelong learning* [Jarvis 2004].

O engajamento observado ao longo das sessões sugere que a tangibilidade foi o principal diferencial do dispositivo frente a tecnologias digitais convencionais. Diferentemente de interfaces baseadas em tela, a manipulação física ativa motivou a continuidade do uso mesmo entre participantes que relataram insatisfação com tecnologias cotidianas. Ao final dos testes, foi possível observar crescente agilidade na construção das palavras após a compreensão inicial do funcionamento, o que indica que, para populações com alto grau de letramento, a adição de grupos de palavras em português com maior complexidade ortográfica seria necessária para sustentar o desafio cognitivo e o senso de progressão ao longo do tempo. Quando questionadas sobre a adoção do Alfaba como ferramenta de estimulação cognitiva, todas as participantes responderam positivamente, com interesse ampliado pela perspectiva de baixo custo do dispositivo, aspecto relevante considerando os altos custos associados ao cuidado de pessoas com demência no Brasil [Gutierrez et al. 2014].

5. Conclusão

Este estudo investigou a usabilidade do dispositivo Alfaba por pessoas idosas, com o objetivo de avaliar seu potencial enquanto ferramenta de *lifelong learning* e estimulação neurológica para o envelhecimento saudável e suporte a quadros de doenças neurodegenerativas. O teste foi conduzido com oito participantes entre 73 e 85 anos, sem diagnóstico formal de demência, utilizando o questionário SUS como instrumento de avaliação da experiência de uso.

Os resultados obtidos indicam elevada aceitabilidade e percepção de facilidade de uso. A mediana geral de 97,5 pontos no SUS posiciona o dispositivo na faixa de usabilidade considerada excelente. Comentários qualitativos reforçaram a compreensão intuitiva da proposta, a clareza dos *feedbacks* multissensoriais e a adequação da complexidade das tarefas ao perfil do público. As contribuições espontâneas dos participantes também revelaram pontos de melhoria que podem orientar futuros ajustes no *design* do sistema, como o aumento do contraste visual das letras, a ampliação da tela e a presença de botões com funções específicas. Tais observações são importantes para que o dispositivo atenda, de forma mais precisa, as necessidades e limitações sensoriais e cognitivas comuns ao processo de envelhecimento.

Considerando a robustez dos dados de usabilidade e as sugestões de aperfeiçoamento recebidas, o Alfaba demonstra potencial como ferramenta de *lifelong learning* para pessoas idosas, com aplicação tanto em contextos de envelhecimento saudável quanto em situações de declínio cognitivo leve. Os resultados obtidos sustentam a viabilidade da ressignificação de dispositivos educacionais concebidos para crianças como tecnologias de aprendizagem contínua para públicos adultos, contribuição que abre uma frente de investigação ainda pouco explorada na literatura.

Como etapa subsequente, propõe-se a realização de testes com usuários diagnosticados com Doença de Alzheimer, a fim de investigar os possíveis efeitos da ferramenta na manutenção de circuitos cognitivos associados à linguagem e à memória. Este novo ciclo experimental permitirá testar se o engajamento ativo com tarefas de aprendizagem estruturada, mediado por uma interface tangível acessível, pode atuar como estratégia de suporte à neuroplasticidade em contextos terapêuticos e educacionais.

Declaração sobre uso de Inteligência Artificial

Durante a elaboração deste artigo, ferramentas de inteligência artificial foram utilizadas de forma pontual como apoio à escrita acadêmica, especialmente para revisão ortográfica e de pontuação, além de auxílio na organização de tabelas e na correção de sintaxe em $\text{\LaTeX}$. A geração, análise e interpretação dos dados, bem como as conclusões apresentadas, são de responsabilidade exclusiva dos autores.

Agradecimentos

Agradecemos à FAPERGS, ao CNPq e à CAPES pelo fomento à pesquisa que viabilizou este trabalho. Nosso sincero agradecimento também ao Centro de Extensão em Atenção à Terceira Idade da Universidade Católica de Pelotas pelo acolhimento e pela participação no estudo.

Referências

- Bhowmick, P. and Stolterman Bergqvist, E. (2023). Exploring tangible user interface design for social connection among older adults: a preliminary review. In *Extended abstracts of the 2023 CHI conference on human factors in computing systems*, pages 1–9.
- Brooke, J. et al. (1996). Sus-a quick and dirty usability scale. *Usability evaluation in industry*, 189(194):4–7.
- Fiocruz (2022). Sumário executivo: Estudo longitudinal da saúde dos idosos brasileiros (elsi-brasil). https://elsi.cpqrr.fiocruz.br/files/ELSI_sumario_executivo_2022.pdf. Acesso em: jun. 2025.
- Gutierrez, B. A. O., Silva, H. S. d., Guimarães, C., and Campino, A. C. (2014). Impacto econômico da doença de alzheimer no brasil: é possível melhorar a assistência e reduzir custos? *Ciência & Saúde Coletiva*, 19:4479–4486.
- IBGE (2018). Projeção da população do brasil e das unidades da federação. <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101657.pdf>. Acesso em: jun. 2025.
- Jarvis, P. (2004). *Adult education and lifelong learning: Theory and practice*. Routledge.
- Jurgina, L. Q. e. a. (2023). Alfaba: A tangible solution to support brazilian dyslexic students in their literacy process. In *2023 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, pages 1–9. IEEE.
- Maier, M., Merkle, C., Steinmetz, H., and Zilles, K. (2013). Experience-dependent structural plasticity in the adult brain: How the learning brain grows. *NeuroImage*, 67:365–376.
- Mühlenfeld, K. and Jolles, J. (2015). Prevention of dementia: modifiable risk factors and cognitive interventions. *Journal of Alzheimer’s Disease*, 48(3):653–670.
- Nithianantharajah, J. and Hannan, A. J. (2009). The neurobiology of brain and cognitive reserve: Mental and physical activity as modulators of brain function in health and disease. *Progress in Neurobiology*, 89(4):369–382.

- OMS (2005). Envelhecimento ativo: uma política de saúde. <https://apps.who.int>. Acesso em: 10 jun. 2025.
- Park, D. C. and Reuter-Lorenz, P. (2009). The adaptive brain: aging and neurocognitive scaffolding. *Annual Review of Psychology*, 60:173–196.
- Salazar-Cardona, J. A., Cano, S., Gutiérrez-Vela, F. L., and Arango, J. (2023). Designing a tangible user interface (tui) for the elderly based on their motivations and game elements. *Sensors*, 23(23):9513.
- Tawil, S. and Locatelli, R. (2015). Rethinking education: Towards a global common good. *Dostupné z* [https://www. norrag. org/rethinkingeducation-towardsa-global-common-good](https://www.norrag.org/rethinkingeducation-towardsa-global-common-good).
- Wang, C.-M., Tseng, S.-M., and Huang, C.-S. (2020). Design of an interactive nostalgic amusement device with user-friendly tangible interfaces for improving the health of older adults. *Healthcare*, 8(2):179.