

Neurofeedback e interface cérebro-computador: desenvolvimento e avaliação de um jogo voltado para o auxílio na detecção de TDAH

Neurofeedback and brain-computer interface: development and evaluation of a game designed to help in the detection of ADHD

Neurofeedback e interfaz cérebro-computadora: desarrollo y evaluación de un juego diseñado para ayudar en la detección del TDAH

Recebido: 04/08/2022 | Revisado: 26/08/2022 | Aceito: 31/08/2022 | Publicado: 08/09/2022

Edgar Marçal

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5037-2724>
Universidade Federal do Ceará, Brasil
E-mail: edgar@virtual.ufc.br

Nayara Magda Gomes Barbosa da Costa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9162-5182>
Universidade Federal do Ceará, Brasil
E-mail: nmagda94@gmail.com

Carlos Eduardo Menezes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1162-4711>
Centro Universitário Christus, Brasil
E-mail: edupsicobio@gmail.com

Arnaldo Aires Peixoto Júnior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6225-934X>
Universidade Federal do Ceará, Brasil
E-mail: arnaldoapj@gmail.com

Lia Lira Olivier Sanders

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3823-9821>
Universidade Federal do Ceará, Brasil
E-mail: lia_sanders@hotmail.com

Kevinny Magalhães Queiroz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4416-8094>
Universidade Federal do Ceará, Brasil
E-mail: kevinny.mails@gmail.com

Ellen Castro Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5441-2850>
Centro Universitário Christus, Brasil
E-mail: secretaria.lit@virtual.ufc.br

Luana Maria Queiroga Ponciano Mota

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8486-9584>
Centro Universitário Christus, Brasil
E-mail: luana.queiroga.q@gmail.com

Resumo

A avaliação neuropsicológica faz o uso de entrevistas, observações e aplicação de testes como instrumentos para auxiliar no processo de investigação e diagnóstico. Com o avanço das tecnologias, alguns dispositivos surgiram para auxiliar a avaliação e a terapia neuropsicológica, como o *neurofeedback*. Este artigo descreve o processo completo de construção, desde a especificação até a validação, de uma solução voltada para auxiliar a detecção de TDAH (Transtorno do déficit de atenção com hiperatividade), por meio de um jogo de *neurofeedback* com Interface Cérebro-Computador sem fio. A ferramenta desenvolvida foi testada com duas crianças, uma com e outra sem o transtorno. Com relação à usabilidade, os experimentos demonstraram que ambos os participantes de cinco anos conseguiram utilizar o jogo por inteiro, realizando todas as tarefas contidas nele. Os comportamentos das ondas EEG obtidos pela solução para a criança que tinha o transtorno foram similares aos de pacientes com TDAH encontrados em outros estudos. Em particular, os dados gerados demonstraram atividades do tipo Alfa em maior ocorrência na criança com TDAH.

Palavras-chave: Neuro retroalimentação; Transtorno do déficit de atenção com hiperatividade; Interfaces cérebro-computador; Testes neuropsicológicos.

Abstract

Neuropsychological assessment uses interviews, observations, and the application of tests to assist in the investigation and diagnosis process. Some technologies have emerged to assist neuropsychological assessment and therapy, such as neurofeedback. We describe the construction process of a neurofeedback game with a Brain-Computer Interface wireless aimed at helping the detection of ADHD (Attention Deficit Hyperactivity Disorder). Two children, one with and one without the disorder, tested the tool. Regarding usability, the experiments showed that both five-year-old participants could fully use the game, performing all the tasks contained in it. The EEG wave behaviors obtained by the solution for the child who had the disorder were like those of ADHD patients found in other studies. In particular, the data generated showed alpha-type activities more frequently in children with ADHD.

Keywords: Neurofeedback; Attention deficit disorder with hyperactivity; Brain-Computer interfaces; Neuropsychological tests.

Resumen

La evaluación neuropsicológica hace uso de las entrevistas, las observaciones y la aplicación de pruebas como instrumentos de ayuda en el proceso de investigación y diagnóstico. Con el avance de las tecnologías, han surgido algunos dispositivos que ayudan a la evaluación y terapia neuropsicológica, como el neurofeedback. Este trabajo describe el proceso completo de construcción, desde la especificación hasta la validación, de una solución destinada a ayudar a la detección del TDAH (trastorno por déficit de atención e hiperactividad), mediante un juego de neurofeedback con interfaz cerebro-ordenador inalámbrica. La herramienta desarrollada se probó con dos niños, uno con y otro sin el trastorno. En cuanto a la usabilidad, los experimentos mostraron que los dos participantes de cinco años eran capaces de utilizar el juego completamente, realizando todas las tareas que contenía. Los comportamientos de las ondas del EEG obtenidos por la solución para el niño con el trastorno eran similares a los de los pacientes con TDAH encontrados en otros estudios. En particular, los datos generados mostraron actividades de tipo Alfa en mayor ocurrencia en el niño con TDAH.

Palabras clave: Neuro retroalimentación; Trastorno por déficit de atención e hiperactividad; Interfaces cerebro-ordenador; Pruebas neuropsicológicas.

1. Introdução

O Transtorno do Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH) é uma alteração neurobiológica caracterizada pela combinação dos sintomas de falta de atenção, hiperatividade e impulsividade, conforme Castro e Lima (2018), a qual acarreta uma demanda por atendimento neurológico e psicopedagógico. Além disso, diferentes abordagens de tratamento têm sido aplicadas no tratamento desta condição, mas as terapias convencionais e as propostas farmacológicas têm se mostrado insuficientes para fornecer uma reabilitação eficaz (Teruel et al., 2017). No diagnóstico do TDAH, a avaliação neuropsicológica tem sido utilizada como padrão-ouro. Esta ferramenta tem como um dos focos principais o diagnóstico diferencial, com o objetivo de distinguir déficits funcionais e identificar áreas cerebrais responsáveis por determinado perfil cognitivo prejudicado (Vakil, 2012).

Durante a segunda guerra mundial, a avaliação neuropsicológica se popularizou ao ser utilizada na avaliação de soldados sobreviventes que sofreram lesões cerebrais, sendo esta prática de fundamental importância para o desenvolvimento da neuropsicologia. Desde então, a avaliação neuropsicológica vem se baseando principalmente em entrevistas, observações e testes psicométricos com o propósito de avaliar o rendimento cognitivo funcional e as funções cognitivas. Entretanto, com o avanço das tecnologias, algumas alternativas vêm surgindo para auxiliar não apenas a avaliação, como também a terapia neuropsicológica, sendo uma delas o *neurofeedback*.

Uma importante terapia neuropsicológica que tem sido utilizada no tratamento do TDAH, com estudos que demonstram a melhoria na atenção dos pacientes, é o treinamento de *neurofeedback* (Guan et al., 2020). O *Neurofeedback* ou *biofeedback* eletroencefalográfico (EEG) é o treino das ondas cerebrais conforme, Hammond (2011) que, entre outros benefícios, pode melhorar as habilidades cognitivas como memória e atenção (Liu et al., 2014). De acordo com Costa et al. (2021) o uso de *neurofeedback* tem se destacado em alguns estudos como uma interessante alternativa no tratamento de crianças com TDAH por se configurar como um procedimento não medicamentoso e não invasivo.

Durante os treinamentos de *neurofeedback*, a Interface Cérebro-Computador - ICC (em inglês, *Brain-Computer Interface* – BCI) é responsável pela aquisição e transmissão dos dados neurofisiológicos (Abiri et al., 2019). Uma ICC é um tipo de interface que permite a interação com sistemas computacionais, sem a necessidade de qualquer movimento corporal, utilizando apenas sinais elétricos gerados pelo cérebro. A ICC coleta e interpreta os sinais cerebrais, utilizando algoritmos de aprendizagem de máquina, e os transmite para um computador conectado a ela.

As ICCs têm demonstrado resultados positivos nos mais diversos campos de pesquisa, como ilustrados na Figura 1. Em Chen et al. (2020), os autores apresentam um sistema que controla um braço robótico através de comandos cerebrais aliados com realidade aumentada e visão computacional. Em outro estudo, a ICC é integrada em um ambiente de Internet das Coisas (em inglês, *Internet of Things* - IoT) para auxiliar pessoas com deficiências a controlar dispositivos médicos e domésticos como um monitor digital de pressão, cinto terapêutico, lâmpadas e ventilador (Jafri et al., 2019). Alguns exemplos de aplicações das ICCs são o entretenimento com interação em jogos digitais conforme Li (2021), marketing para busca de melhor preço e de produtos segundo Nigdelis e Tsolaki (2017), educação objetivando melhora da capacidade cognitiva dos estudantes (Jamil et al., 2021) e militar com intuito de controlar armas e ferramentas militares (Czech, 2021).

A inserção de elementos de gamificação em aplicações de treinamento de *neurofeedback* permitiu o surgimento dos jogos de *neurofeedback* (*neurofeedback games*), os quais proporcionam benefícios como aumento do tempo de concentração, redução da ansiedade, melhoria na leitura e na compreensão textual, diminuição do comportamento hiperativo e ampliação do interesse e do engajamento na realização de atividades (Mata, 2016; Mercado et al., 2019; Park et al., 2018; Hafeez, 2021; Vasiljevic & Miranda, 2020). Em indivíduos com TDAH, os jogos de *neurofeedback* podem vir a se tornar ferramentas de auxílio no diagnóstico e na terapêutica, tendo em vista o fato de os sintomas desta condição serem verificados habitualmente antes dos doze anos de idade conforme Barbarini (2020), portanto, em uma faixa etária na qual os jogos digitais estão presentes no cotidiano das crianças.

Figura 1. Exemplos de aplicações de interface cérebro-computador.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Este artigo tem como objetivo principal a apresentação em detalhes do processo de construção de uma solução voltada para auxiliar a detecção de TDAH, composta por: um jogo de *neurofeedback*, um sistema de captura de ondas EEG e uma

Interface Cérebro-Computador sem fio. A ferramenta desenvolvida foi testada em duas crianças (uma com e outra sem o transtorno) e contou com uma equipe multidisciplinar de profissionais constituída por psicólogo, médico, enfermeiro e profissionais de tecnologia da informação.

2. Metodologia

Este estudo teve como base a metodologia de pesquisa *Design-Based Research* (DBR), que consiste em uma abordagem de investigação que reúne as vantagens das metodologias qualitativas e das quantitativas, focalizando no desenvolvimento de aplicações que possam ser implementadas e integradas às práticas, considerando a diversidade e propriedades específicas, mas também o que puder ser generalizado (Anderson & Shattuck, 2012). A execução compreendeu duas fases: a primeira consistiu no desenvolvimento do sistema de captação de dados EEG e do jogo de *neurofeedback*; e, posteriormente, a segunda se deu quando o experimento para validação da solução completa foi realizado.

Durante a primeira fase, foi desenvolvido um jogo de *neurofeedback*, para utilização específica no estudo. A solução completa para uso na fase do experimento foi composta por: *hardware* - ICC *OpenBCI EEG Electrode Cap Kit*; e *softwares* - uma versão adaptada do Sistema de Aquisição de Dados EEG, a qual acompanha a ICC *OpenBCI*, e o jogo de *neurofeedback* desenvolvido. Durante a segunda fase, foi feita a aplicação da solução em duas crianças, seguida da captação e análise dos sinais.

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa, com o seguinte Certificado de Apresentação de Apreciação Ética (CAAE): 40006420.9.0000.5049, estando o mesmo de acordo com a Resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde e a Declaração de Helsinque. Os sujeitos da pesquisa participaram de forma voluntária, após assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e do Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE) assinados por um responsável, e não foram identificados, com o intuito de garantir o sigilo.

2.1 Desenvolvimento do jogo de *neurofeedback*

A construção do jogo contou com a participação de profissionais das áreas da psicologia, da medicina (neurociências) e da computação. Considerando a composição multidisciplinar da equipe envolvida nesta pesquisa, e com o objetivo de se produzir uma aplicação mais próxima às necessidades dos usuários finais, optou-se pela utilização da metodologia *Co-Design*, em uma versão adaptada (Marçal et al., 2017). A seguir, são descritos os passos desta metodologia.

- i. **Escopo.** Nessa fase, uma visão geral dos objetivos da aplicação foi definida, destacando-se o funcionamento integrado da ICC e a usabilidade do jogo. Outra tarefa importante nessa fase foi garantir o envolvimento de todos os stakeholders relacionados ao domínio do problema.
- ii. **Compreensão Compartilhada.** Nessa fase, os stakeholders: trocaram experiências adquiridas em projetos anteriores relacionados; levantaram os possíveis cenários de uso e atores; e, avaliaram os tipos de tecnologias que eram usadas em soluções similares e os métodos e técnicas que poderiam servir de base para implementação da aplicação.
- iii. **Brainstorming.** Nessa fase, foi possível esboçar as primeiras interfaces da aplicação, considerando os atores, cenários, tecnologias e metodologias pedagógicas identificadas na etapa anterior.
- iv. **Refinamento.** À medida que a aplicação ia ganhando uma aparência final e o levantamento dos requisitos era concluído, seguiu-se para modelagem dos diagramas do Projeto (e.g, Casos de Uso, Diagrama de Classes, Diagrama de Atividades).
- v. **Implementação.** Após a definição dos modelos, partiu-se para o desenvolvimento iterativo da aplicação com entregas incrementais.

É importante destacar que as fases iii, iv e v aconteceram de forma cíclica, permitindo que se retornasse a fase anterior para a correção de erros identificados. Após a elaboração de uma versão sem erros aparentes, pôde-se avançar para a validação com usuários reais.

O Sistema de Aquisição de Dados EEG foi implementado na linguagem Java e funciona nos sistemas operacionais Mac, Windows e Linux, com os seguintes requisitos mínimos: Sistema Operacional baseado em 64 bits, placa gráfica semelhante a Intel HD *Graphics* 1000 ou superior. O jogo de *neurofeedback* foi implementado na linguagem Javascript e roda nos sistemas operacionais Mac, Windows e Linux.

2.2 O experimento

Para validar o funcionamento da solução completa (*hardware* e *softwares*), após o desenvolvimento do jogo de *neurofeedback*, foram realizados testes com duas crianças, sendo uma com o diagnóstico prévio de TDAH e outra sem este diagnóstico.

2.2.1 Participantes

Uma chamada para interessados em participar da pesquisa foi realizada com o objetivo de selecionar os dois participantes. O aceite, a assinatura e a devolução dos termos pelos pais foram condições primordiais para que a pesquisa fosse realizada com as crianças. Além disso, o assentimento verbal e escrito das crianças também foi condição fundamental para a participação delas na pesquisa. Para isso, foi explicado o estudo para os participantes de maneira clara. Por não ter um enfoque principal na área da saúde e pelo fato de um dos participantes não apresentar nenhum quadro clínico aparente, optou-se por usar, neste estudo, o termo usuário ao invés de paciente, para se referir aos participantes do estudo.

Uma das crianças do estudo era do sexo masculino, com cinco anos de idade, estudante do Infantil V, com diagnóstico prévio de TDAH e que atendia aos seguintes critérios: (1) ter entre cinco e 16 anos de idade; (2) ser de livre e espontânea vontade participar da pesquisa; (3) residir no estado do Ceará, e (4) ter o TCLE e o TALE assinados por um responsável.

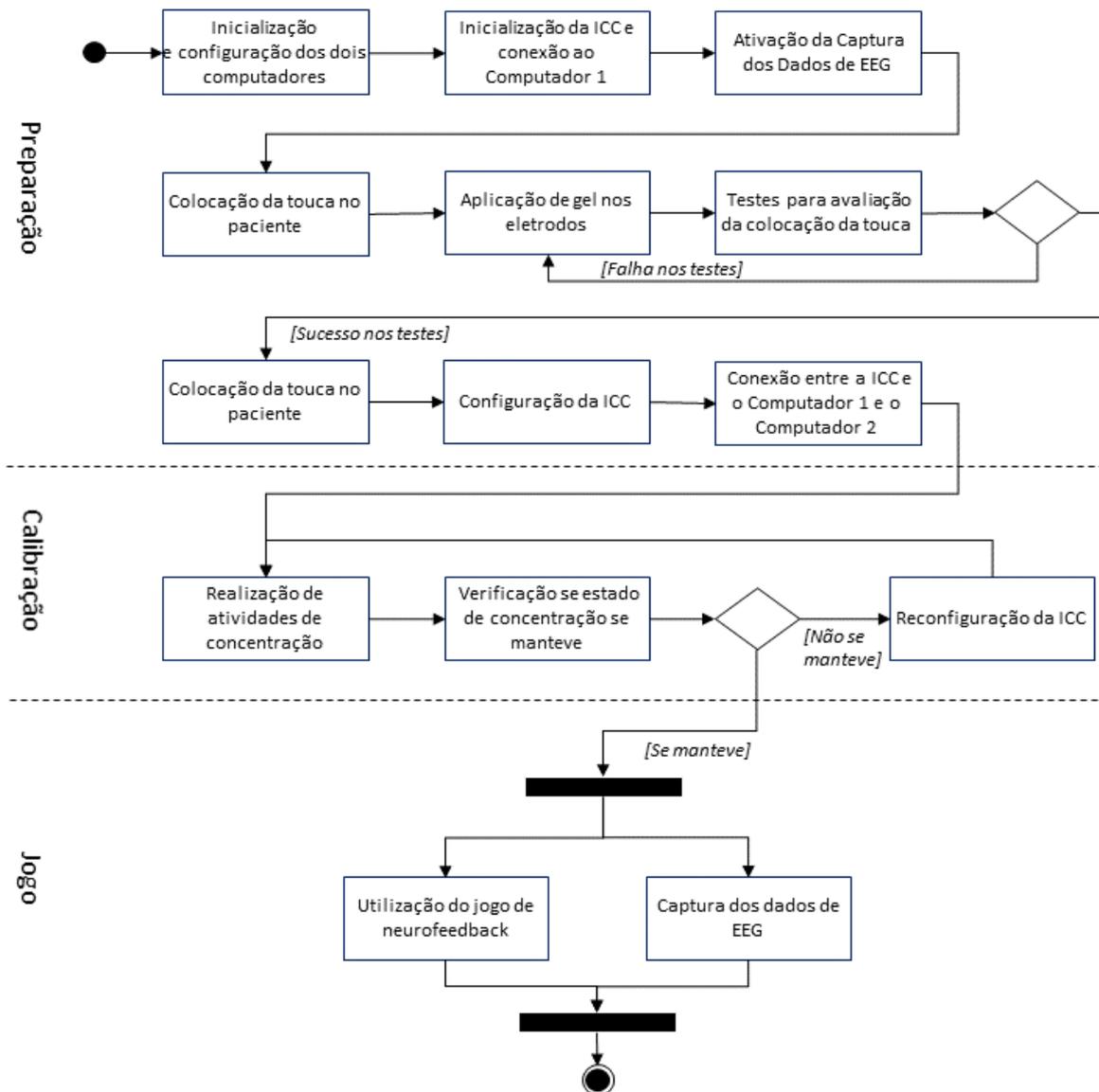
A outra criança participante da pesquisa, também era do sexo masculino, com cinco anos de idade, matriculada no Infantil V, não tinha nenhum diagnóstico ou suspeita de transtorno e não fazia uso de nenhuma medicação. Ele atendia aos critérios do estudo de (1) ter entre cinco e 16 anos de idade, (2) ser de livre e espontânea vontade a participação na pesquisa, (3) residir no estado do Ceará, e (4) ter o TCLE e o TALE assinados por um responsável.

2.2.2 Material e equipamentos

Para utilização plena da solução foram necessários: (i) dois computadores, sendo um para o usuário utilizar o jogo de *neurofeedback* e outro para o profissional acompanhar as informações e os gráficos gerados em tempo real; (ii) o jogo, com o qual o usuário pode interagir por meio dos comandos cerebrais via ICC; e (iii) o sistema de aquisição, que captura os dados de EEG, armazena as informações e produz os resultados em forma de gráficos e tabelas.

Para a interação via ICC foi utilizada uma touca, a qual continha 16 sensores, entretanto apenas 8 foram efetivamente utilizados. Seguindo a representação do sistema internacional 10-20 de mapeamento das posições do cérebro, as posições dos eletrodos monitorados neste estudo foram: Fp1, Fp2, C3, C4, T5, T6, O1 e O2 (ver Figura 2).

Figura 3. Procedimento para preparação, calibração e utilização da solução desenvolvida.



Fonte: Elaborado pelos autores.

O sistema de captura dos dados do EEG permitiu não apenas a captura, como também o armazenamento e a geração de gráficos relativos ao comportamento das ondas cerebrais. Assim foi possível a análise dos dados do momento da utilização em uma ocasião posterior. Durante as fases de preparação e de calibração, a solução se adapta ao comportamento das ondas cerebrais do usuário. Então, ele utiliza o jogo por meio do uso dos comandos cerebrais e visando alcançar os objetivos estabelecidos pelo aplicativo. Concomitante a essa utilização, o sistema de aquisição captura os dados de EEG, armazena-os e gera os gráficos que demonstram o comportamento das ondas cerebrais do usuário.

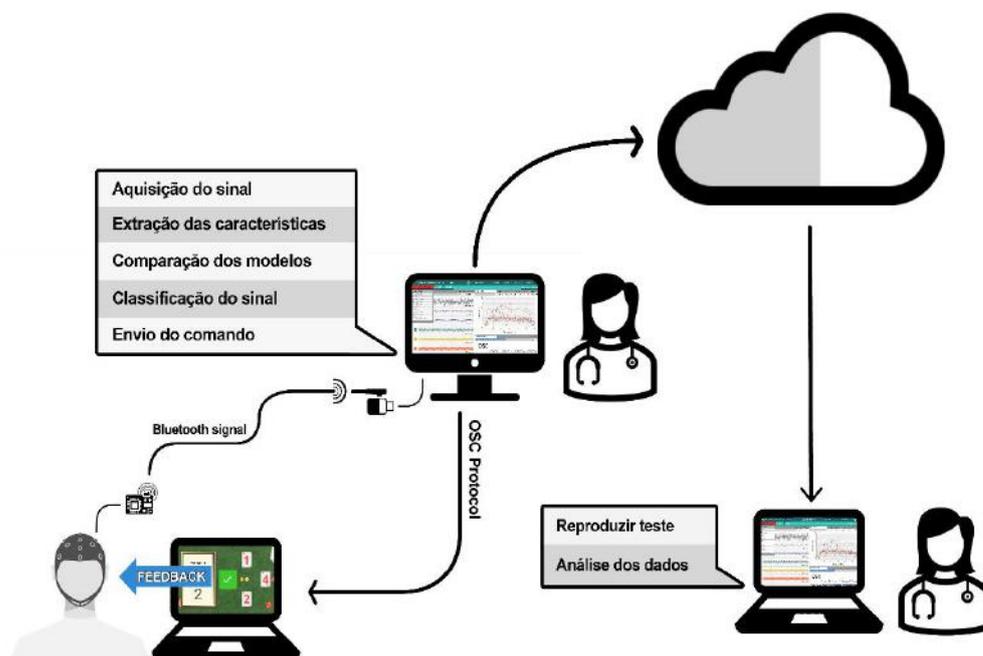
3. Resultados

Foi possível o desenvolvimento de uma solução integrada de *software* (Jogo de Neurofeedback mais Sistema de Aquisição de Dados EEG) e *hardware* (Interface Cérebro-Computador): Brain5. Além disso, pôde-se avaliar o funcionamento desta solução por completo, até a coleta de dados de EEG dos usuários participantes da pesquisa.

3.1 A solução integrada: Brain5

Uma visão geral da integração entre os componentes da solução desenvolvida para este estudo está ilustrada na Figura 4. Os comandos cerebrais disparados pelo usuário são capturados pela ICC e enviados, via *Bluetooth*, para o computador onde é executado o sistema de aquisição de sinais do EEG. Este realiza o processamento dos dados EEG coletados (extração das características, comparação dos modelos e classificação do sinal) e devolve-os para o Jogo de *Neurofeedback*, que gerará uma resposta para o usuário visualizar o efeito da sua interação via comando enviado mentalmente. Em paralelo, o Sistema de Aquisição gera as informações (gráficos e tabelas) para os profissionais especialistas, que estão no mesmo espaço do usuário, onde ocorre a sessão, ou dispersos geograficamente, por meio do armazenamento na nuvem.

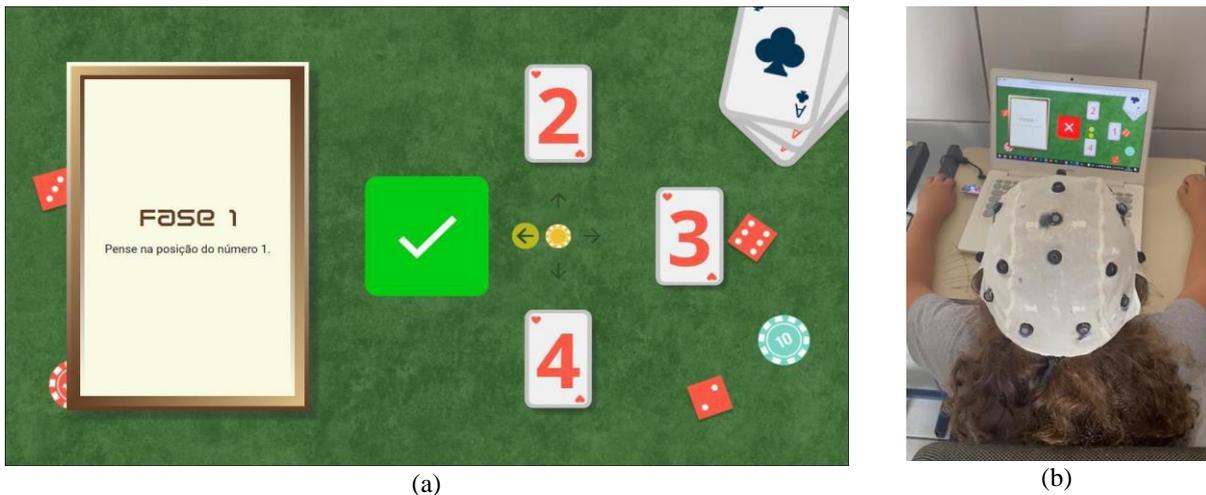
Figura 4. Visão geral do funcionamento da solução Brain5 desenvolvida.



Fonte: Elaborado pelos autores.

O jogo de *neurofeedback* foi desenvolvido especificamente para esse estudo. Ele trata-se de uma aplicação móvel para área da saúde, *mobile health app* (Soares, et al., 2022; de Aquino Ferreira et al., 2022; Valente et al., 2021; Dias et al., 2020; Pereira et al., 2017), com o objetivo principal de manter a concentração do usuário, enquanto os dados de EEG são coletados pelo sistema de aquisição. O jogo consiste em uma simulação do teste psicológico Teste de Trilhas, uma avaliação neuropsicológica da capacidade de manutenção do engajamento mental, do rastreamento visual, da destreza motora e da memória operacional (Magila & Caramelli, 2000). No Teste de Trilhas original, o paciente deve utilizar uma caneta para ligar letras na ordem em que aparecem no alfabeto (trilhas A); ou letras a números, seguindo também a sequência em que aparecem no alfabeto, por exemplo, 1-A-2-B e assim por diante (trilhas B) (Mota et al., 2008). Para simulação do Testes de Trilhas foram usadas cartas de baralho com letras e números. A Figura 5 mostra uma tela que ilustra o funcionamento do jogo (5.a) e uma das crianças participando do teste (5.b).

Figura 5. (a) Tela do jogo de *neurofeedback* desenvolvido. (b) Criança participante jogando.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Por meio de comandos mentais captados pela ICC, o usuário deve selecionar a carta na sequência correta, sem a utilização de mouse ou outro dispositivo de interação. À medida que ele se concentra, o cursor direcional na tela do jogo alterna entre as diferentes opções em um movimento cíclico. No momento em que o cursor está posicionado sobre a carta que o usuário considera correta, ele pisca para indicar a sua escolha. Então, o aplicativo emite uma mensagem informando se ele selecionou a opção correta ou não.

O sistema de aquisição de dados do EEG é uma versão adaptada do *software* fornecido juntamente com a ICC OpenBCI (OpenBCI GUI). Para manter a integridade do sistema original, apenas algumas alterações mínimas de *layout* foram implementadas como a tradução livre do inglês para o português de todas as palavras que apareciam nas telas e o reposicionamento de algumas informações. O sistema de aquisição tem como principais objetivos a visualização, gravação e transmissão dos dados do EEG capturado pela interface. As informações podem ser exibidas em tempo real localmente, sendo armazenadas no computador em formato .txt, ou transmitidas para *software* de terceiros como o MATLAB.

3.2 Análise dos dados de EEG coletados

As análises dos dados de EEG obtidos por meio da ICC durante as fases de calibração da solução e de uso do jogo com os dois participantes foram baseadas nos tipos de ondas cerebrais, Delta (Δ) (0,5 a 3 Hz), Teta (θ) (3 a 8 Hz), Alfa (α) (8 a 12 Hz), Beta (β) (12 a 27 Hz) e Gama (γ) (acima de 27 Hz) (Malmivuo & Plonsey, 1995). A Tabela 1 apresenta os percentuais médios da ocorrência das ondas cerebrais durante a calibração e o jogo, para a criança sem e com TDAH.

Na criança sem TDAH, os dados coletados indicam que durante a calibração, as ondas que mais ocorreram foram Beta (36,8%) e Gama (19,3%). Posteriormente, quando esta criança estava jogando, as ondas predominantes também foram Beta (71,5%) e Gama (45,2%).

O comportamento das ondas cerebrais da criança com TDAH mostrou-se relativamente diferente. Durante a fase de calibração, foram observadas uma prevalência das ondas Alfa (34,2%) e Beta (19,7%). Durante o jogo, as ondas Alfa (25,3%) e Beta (21,0%) também foram as mais frequentes.

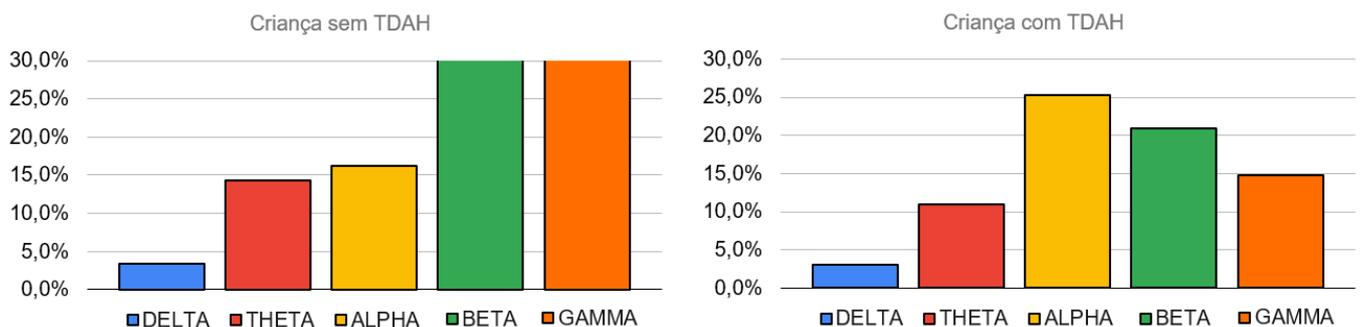
Tabela 1. Percentual médio dos tipos de ondas do eletroencefalograma na criança sem e com Transtorno do Déficit de Atenção e Hiperatividade durante a calibração e o jogo.

		Percentual (%) médio do tipo de onda				
		Δ	Θ	A	β	γ
Criança sem TDAH	Durante a Calibração	1,2	6,9	11,4	36,8	19,3
	Durante o Jogo	3,4	14,3	16,2	71,5	45,2
Criança com TDAH	Durante a Calibração	4,3	17,4	34,2	19,7	10,6
	Durante o Jogo	3,0	11,0	25,3	21,0	14,9

Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 6 mostra uma visão resumida e consolidada do comportamento das ondas EEG ao longo do período em que os participantes utilizavam o jogo. O gráfico do lado esquerdo apresenta a média, em porcentagem, da ocorrência de cada uma das ondas coletadas da criança que não tinha o diagnóstico de TDAH. O gráfico do lado direito apresenta os mesmos dados para a criança com o transtorno.

Figura 6. Resumo da ocorrência das ondas do eletroencefalograma durante o jogo na criança sem TDAH e com, respectivamente.



Fonte: Elaborado pelos autores.

4. Discussão

O desenvolvimento de estudos que implementem soluções utilizando ICC para auxílio a diagnósticos não é uma tarefa trivial. Do ponto de vista técnico, dentre os principais obstáculos e desafios podem-se citar: escolha dos algoritmos apropriados para aquisição e processamento dos sinais de acordo com Chakladar e Chakraborty (2019); definição do método de aprendizagem de máquina para seleção e classificação das características segundo Zhihan et al. (2020); adoção de técnicas para filtragem e remoção dos ruídos na aquisição e transmissão dos sinais (Janani & Sasikala, 2017). Além disso, Burwell et al. (2017) apontam a existência de outras dificuldades relacionadas a aspectos éticos e neuropsicológicos (Mudgal et al., 2020).

A solução apresentada neste estudo envolveu a implementação e a customização de *softwares* integrados à uma ICC, que foi testada com duas crianças, com o objetivo de iniciar o desenvolvimento de um método para auxiliar os profissionais da

área na detecção de TDAH. O surgimento de uma maior variedade de ICCs em todo o mundo tem levado um número crescente de pesquisadores a estudarem suas aplicações em diversas áreas, em particular, no auxílio a diagnósticos. Em Alchalabi, et al. (2018), os autores apresentam um estudo utilizando jogos sérios e ICCs no qual afirmam ter alcançado até 98% de acurácia na detecção do TDAH. Em outro estudo, os pesquisadores utilizaram uma ICC para apoiar a detecção e a classificação de diferentes tipos de demência em um grupo de idosos, alcançando uma taxa de até 80% na classificação (Fukushima, 2021).

No sistema desenvolvido neste artigo, as crianças participantes da pesquisa deveriam se concentrar para utilizarem o jogo, enquanto suas ondas EEG eram adquiridas, armazenadas e processadas. Em seguida, os dados foram utilizados como base para a geração de gráficos e tabelas, que permitiam a análise dos especialistas, em tempo real ou a posteriori. Os dados coletados entre as crianças com e sem TDAH apresentaram diferenças perceptíveis.

Na criança sem TDAH, as ondas EEG que se apresentaram em maior predominância foram: Beta e Gama. As ondas do tipo Beta estão associadas, assim como as Gama, às funções executivas, tais como: atenção concentrada, foco, processamento de informações e resolução de problemas (Lelis, 2014). As ondas Beta são mais lentas que as ondas do tipo Gama e estão mais presentes em situações de julgamentos, tomada de decisões e raciocínio (Dalgarrondo, 2000). As ondas Gama são associadas a um estado de alta excitação cerebral onde os níveis atencionais são altos, a fim de manter atividades que exigem organização perceptual, atenção, memória e consciência (Uhlhaas et al., 2008; Portugal, 2017).

A criança sem TDAH também apresentou baixos níveis de ondas Alfa. Isto faz sentido tendo em vista que elas são maiores sobre o córtex occipital e estão associadas a estados de relaxamento em vigília. Também apresentou baixos níveis de ondas Delta e Teta, o que é esperado porque as ondas Delta estão ativadas em momentos de meditação, sono profundo ou coma, e as ondas Teta estão envolvidas em processo de sono leve (Koudelková & Strmiska, 2018). Para que o jogo funcionasse, era necessário que a criança estivesse concentrada a todo momento. Portanto, altos níveis de ondas Beta e Gama apareceram, tendo em vista que essas ondas estão diretamente ligadas a altos níveis de atenção e raciocínio.

Sujeitos com TDAH costumam apresentar falta de atenção, hiperatividade e dificuldade de autocontrole. Torna-se necessário um cuidado especializado, desde a infância, com acompanhamento multidisciplinar e implicação dos cuidadores e da rede de apoio do sujeito, a fim de alcançar melhores desfechos clínicos. Isso acontece devido ao processo de desenvolvimento neural atípico que acontece na infância, sendo caracterizado por um processo de mielinização também mais lento em comparação com crianças de desenvolvimento típico. Nesse sentido, a manifestação de ondas cerebrais mais lentas é esperada em indivíduos com TDAH (Cortese & Castellanos, 2013). Este fato foi percebido neste estudo, com atividades do tipo Alfa mais prevalentes na criança com TDAH. Em sujeitos com TDAH ocorre um aumento da atividade de ondas do tipo Alfa, característica associada a processos cognitivos mais lentos que o de pessoas sem o transtorno (Loo & Barkley, 2005).

Os resultados descritos na seção anterior também demonstram uma menor predominância de ondas cerebrais do tipo Gama e Beta na criança com o transtorno quando comparada à criança sem o transtorno. Desse modo, funções executivas que exigem maiores níveis atencionais associam-se à frequência Gama, de acordo com Portugal (2017). Além disso, as ondas do tipo Beta, também frequentemente associadas aos processos de manutenção da atenção e do foco, parecem ajudar no processamento de informações (Lelis, 2014; Dalgarrondo, 2000). Nesse sentido, esses resultados preliminares são compatíveis com o maior esforço mental da criança com TDAH para manter os níveis atencionais necessários para a realização do teste, a fim de compensar os menores níveis de atividade Gama e Beta.

Por fim, é importante destacar que este trabalho não se propôs a realizar inferências a toda a população-alvo. A amostra de dois participantes consiste em uma clara limitação para constatações mais abrangentes nesse sentido. O foco do estudo manteve-se em demonstrar a execução de um processo completo, da concepção da ideia à validação com usuários reais e, assim, propor uma alternativa tecnológica voltada para apoiar a detecção de TDAH por meio do uso de ICCs. As constatações

apresentadas pretendem apenas demonstrar os resultados da solução desenvolvida por meio da comparação dos dados obtidos dos sujeitos da pesquisa, a fim de comprovar o seu funcionamento.

5. Conclusão

Este artigo descreveu um processo completo de construção de uma solução para auxílio à detecção de TDAH por meio de ICC sem fio, desde o projeto da ferramenta até a sua validação com duas crianças (uma com e outra sem o transtorno). Os resultados do estudo são promissores. Por um lado, no aspecto da usabilidade da ferramenta, os testes demonstraram que ambas as crianças de cinco anos conseguiram utilizar o jogo por inteiro, realizando todos os testes contidos nele, exclusivamente via comandos mentais, e permitindo o monitoramento cerebral deles. Por outro lado, os comportamentos das ondas EEG obtidos pela solução indicam diferenças entre a criança sem e a com o transtorno, sendo os resultados dessa última similares aos de pacientes com TDAH encontrados em outros estudos.

Como trabalhos futuros, pretende-se realizar novos testes com uma amostra maior, para dar continuidade às investigações sobre as possibilidades e a eficácia da solução desenvolvida como ferramenta efetiva para auxiliar na detecção de TDAH. A longo prazo, almeja-se experimentar a solução como apoio a detecção de outros transtornos neurológicos, como demência, epilepsia e autismo.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) e da Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPII).

Referências

- Abiri, R., Borhani, S., Sellers, E. W., Jiang, Y., & Zhao, X. (2019). A comprehensive review of EEG-based brain-computer interface paradigms. *Journal of neural engineering*, 16(1), 011001.
- Alchalabi, A. E., Shirmohammadi, S., Eddin, A. N., & Elsharnouby, M. (2018). FOCUS: Detecting ADHD patients by an EEG-based serious game. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 67(7), 1512-1520.
- Anderson, T., & Shattuck, J. (2012). Design-based research: A decade of progress in education research?. *Educational researcher*, 41(1), 16-25.
- Barbarini, T. D. A. (2020). Corpos, "mentes", emoções: uma análise sobre TDAH e socialização infantil. *Psicologia & sociedade*, 32.
- Burwell, S., Sample, M., & Racine, E. (2017). Ethical aspects of brain computer interfaces: a scoping review. *BMC medical ethics*, 18(1), 1-11.
- Castro, C. X. L., & de Lima, R. F. (2018). Consequências do transtorno do déficit de atenção e hiperatividade (TDAH) na idade adulta. *Revista Psicopedagogia*, 35(106), 61-72.
- Chakladar, D. D., & Chakraborty, S. (2019). Feature extraction and classification in brain-computer interfacing: Future research issues and challenges. *Natural Computing for Unsupervised Learning*, 101-131.
- Chen, X., Huang, X., Wang, Y., & Gao, X. (2020). Combination of augmented reality based brain-computer interface and computer vision for high-level control of a robotic arm. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 28(12), 3140-3147.
- da Costa, N. M. G. B., Marçal, E., de Carvalho, M. M., & Barbosa, T. D. C. S. (2021). Uso de interfaces cérebro-computador em crianças com TDAH: Uma revisão sistemática. *Research, Society and Development*, 10(7), e51110716929-e51110716929.
- Cortese, S., & Castellanos, F. X. (2013). TDAH e neurociência. Bisanz J, ed. tema. Tremblay RE, Boivin M, Peters RDeV, eds. *Enciclopédia sobre o Desenvolvimento na Primeira Infância*, 1-8.
- Czech, A. (2021, September). Brain-computer interface use to control military weapons and tools. In *International Scientific Conference on Brain-Computer Interfaces BCI Opole* (pp. 196-204). Springer, Cham.
- Dalgalarro P. (2000). *Psicopatologia e semiologia dos transtornos mentais*. Porto Alegre.
- Dias, F. A. F., Dias, V. J. F., Dutra, B. D. A. L., Marques, A. C. S., Marçal, E., Lucena, A. D. R., & Crispim Ribeiro, J. (2020). Mobile app for pre-and intraoperative assessment of astigmatism correction with toric intraocular lenses in cataract surgery. *Journal of Ophthalmology*, 2020.

- de Aquino Ferreira, L. F., Benevides, A. M. L. N., Rabelo, J. A. F., Medeiros, M. S., de Barros Filho, E. M., Sanders, L. L. O., & Peixoto, R. A. C. (2022). Desenvolvimento, Satisfação e Usabilidade de plataforma móvel para monitoramento da saúde mental de estudantes universitários. *Research, Society and Development*, 11(2), e19911225525-e19911225525.
- Fukushima, A., Morooka, R., Tanaka, H., Kentaro, H., Tugawa, A., & Hanyu, H. (2021). Classification of dementia type using the brain-computer interface. *Artificial Life and Robotics*, 26(2), 216-221.
- Guan, C., Lim, C. G., Fung, D., Zhou, H. J., Krishnan, R., & Lee, T. S. (2020, February). BCI facilitates the improvement of cognitive functions in children and elderly. In *2020 8th International Winter Conference on Brain-Computer Interface (BCI)* (pp. 1-2). IEEE.
- Hafeez, T., Umar Saeed, S. M., Arsalan, A., Anwar, S. M., Ashraf, M. U., & Alsubhi, K. (2021). EEG in game user analysis: A framework for expertise classification during gameplay. *Plos one*, 16(6), e0246913.
- Hammond, D. C. (2011). What is neurofeedback: An update. *Journal of Neurotherapy*, 15(4), 305-336.
- Jafri, S. R. A., Hamid, T., Mahmood, R., Alam, M. A., Rafi, T., Ul Haque, M. Z., & Munir, M. W. (2019). Wireless brain computer interface for smart home and medical system. *Wireless Personal Communications*, 106(4), 2163-2177.
- Jamil, N., Belkacem, A. N., Ouhbi, S., & Guger, C. (2021). Cognitive and Affective Brain-Computer Interfaces for Improving Learning Strategies and Enhancing Student Capabilities: A Systematic Literature Review. *IEEE Access*.
- Janani, A., & Sasikala, M. (2017). Investigation of different approaches for noise reduction in functional near-infrared spectroscopy signals for brain-computer interface applications. *Neural Computing and Applications*, 28(10), 2889-2903.
- Koudelková, Z., & Strmiska, M. (2018). Introduction to the identification of brain waves based on their frequency. In *MATEC Web of Conferences*. EDP Sciences.
- Lelis, B. A. (2014). Utilização de Ondas Cerebrais para Controle de Componentes Eletrônicos. *Semana Acadêmica*, Fortaleza, 1(52).
- Li, M., Li, F., Pan, J., Zhang, D., Zhao, S., Li, J., & Wang, F. (2021). The mindgomoku: An online P300 BCI game based on Bayesian deep learning. *Sensors*, 21(5), 1613.
- Liu, Y., Sourina, O., & Hou, X. (2014, October). Neurofeedback games to improve cognitive abilities. In *2014 International Conference on Cyberworlds* (pp. 161-168). IEEE.
- Loo, S. K., & Barkley, R. A. (2005). Clinical utility of EEG in attention deficit hyperactivity disorder. *Applied neuropsychology*, 12(2), 64-76.
- Magila, M. C., & Caramelli, P. (2000). Funções executivas no idoso. *Forlenza OV, Caramelli P, organizadores. Neuropsiquiatria Geriátrica*. São Paulo, 517-25.
- Malmivuo, J., & Plonsey, R. (1995). *Bioelectromagnetism: principles and applications of bioelectric and biomagnetic fields*. Oxford University Press, USA.
- Marçal, E., de Castro Andrade, R. M., & Viana, W. (2017). Development and Evaluation of a Model-Driven System to Support Mobile Learning in Field Trips. *J. Univers. Comput. Sci.*, 23(12), 1147-1171.
- da Mata, L. M. A. (2016). *Anxiety reducing through a neurofeedback serious game with dynamic difficulty adjustment* (Doctoral dissertation, Instituto Politecnico do Porto (Portugal)).
- Mercado, J., Espinosa-Curiel, I., Escobedo, L., & Tentori, M. (2019). Developing and evaluating a BCI video game for neurofeedback training: the case of autism. *Multimedia Tools and Applications*, 78(10), 13675-13712.
- Mota, M. M. P. E. D., Banhato, E. F. C., Silva, K. C. A. D., & Cupertino, A. P. F. B. (2008). Triagem cognitiva: comparações entre o mini-mental e o teste de trilhas. *Estudos de psicologia (Campinas)*, 25, 353-359.
- Mudgal, S. K., Sharma, S. K., Chaturvedi, J., & Sharma, A. (2020). Brain computer interface advancement in neurosciences: Applications and issues. *Interdisciplinary Neurosurgery*, 20, 100694.
- Nigdelis, V., & Kosta-Tsolaki, M. (2017). Neuropricing: Perspectives of brain reactions to price exposure. *Hellenic Journal of Nuclear Medicine*, 20(IKEEART-2018-1135), 196-203.
- Park, K., Kihl, T., Park, S., Kim, M. J., & Chang, J. (2019). Fairy tale directed game-based training system for children with ADHD using BCI and motion sensing technologies. *Behaviour & Information Technology*, 38(6), 564-577.
- Portugal, V. (2017). *Olhando para dentro: Insight, consciência e transcendência*. Gryphus Editora.
- Pereira, R. V. S., Kubrusly, M., & Marçal, E. (2017). Desenvolvimento, utilização e avaliação de uma aplicação móvel para educação médica: um estudo de caso em anestesiologia. *Renote*, 15(1).
- Silva, R. S., Flores-Mendonza, C., & Telles, M. (2013). *Teste de Habilidades e Conhecimentos Pré-Alfabetização (THCP)*. São Paulo: Vetor.
- Soares, J. L., da Silva, A. R., & de Oliveira, R. J. (2022). Análise da produção científica sobre os aplicativos de saúde móvel mHealth para educação, tratamento e reabilitação de AVE-Acidente Vascular Encefálico. *Research, Society and Development*, 11(8), e59311831572-e59311831572.
- Teruel, M. A., Navarro, E., Romero, D., García, M., Fernández-Caballero, A., & González, P. (2017, June). An innovative tool to create neurofeedback games for ADHD treatment. In *International Work-Conference on the Interplay Between Natural and Artificial Computation* (pp. 183-192). Springer, Cham.

Uhlhaas, P. J., Haenschel, C., Nikolić, D., & Singer, W. (2008). The role of oscillations and synchrony in cortical networks and their putative relevance for the pathophysiology of schizophrenia. *Schizophrenia bulletin*, 34(5), 927-943.

Vakil, E. (2012). Neuropsychological assessment: Principles, rationale, and challenges. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 34(2), 135-150.

Valente, P. S. D. M. C., Carneiro, C. L. B., de Aguiar, R. G. P., de Souza Júnior, F. E. A., Maciel, A. A., Marçal, E., & Ribeiro, J. C. (2021). Development and usability evaluation of an application for patients with glaucoma. *International Ophthalmology*, 41(10), 3419-3425.

Vasiljevic, G. A. M., & de Miranda, L. C. (2020). Brain-computer interface games based on consumer-grade EEG Devices: A systematic literature review. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 36(2), 105-142.

Lv, Z., Qiao, L., Wang, Q., & Piccialli, F. (2020). Advanced machine-learning methods for brain-computer interfacing. *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*, 18(5), 1688-1698.