

Desenvolvimento de um Jogo S rio controlado por *Neurofeedback* para auxílio no tratamento de pessoas com TDAH

Giulia Tondin Monteiro

Programa de Pós-Gradua o em Computa o
Universidade Federal do Rio Grande
Rio Grande, Brasil
giuliatondinm@gmail.com

Diana Francisca Adamatti

Programa de Pós-Gradua o em Computa o
Universidade Federal do Rio Grande
Rio Grande, Brasil
dianaada@gmail.com

Resumo—O Transtorno de Déficit de Aten o e Hiperatividade (TDAH) possui como triade sintomatológica fatores de desaten o, hiperatividade e/ou impulsividade. As maiores dificuldades enfrentadas por pessoas com esse transtorno manifestam-se nas fun es cognitivas de aten o e podem afetar diretamente a adapta o da pessoa em diferentes  mbitos. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um Jogo S rio aliado a Interface Cérebro-Computador (ICC) para o aprimoramento da aten o em pessoas com TDAH, podendo atuar como uma ferramenta de apoio para a reabilita o neuropsicológica. O jogo desenvolvido   baseado na mecânica básica de jogos do g nero “corrida infinita” e possui duas atividades controladas por ondas cerebrais captadas através de um dispositivo ICC. Os *feedbacks* gerados a partir da sustenta o da aten o ao longo da utiliza o do jogo permite que a pessoa jogadora examine e aprimore as suas habilidades de autorregula o da aten o de forma ativa.

Palavras-chave—jogos sérios, interface cérebro-computador, déficit de aten o e hiperatividade, *neurofeedback*

I. INTRODU O

O Transtorno de Déficit de Aten o e Hiperatividade (TDAH)   considerado um dos transtornos mais comuns em crianças em idade escolar, totalizando 5% dessa popula o [1]. Caracterizado por fatores de desaten o, hiperatividade e/ou impulsividade, pessoas diagnosticadas com esse transtorno apresentam dificuldades em manter e autorregular as diferentes categorias de aten o, principalmente em atividades que demandam foco ou esforço cognitivo constante. Geralmente, seu diagnóstico   realizado já na infância.

Os tratamentos para esse transtorno buscam diminuir a intensidade e a frequência dos sintomas, visto que o mesmo não possui cura até o momento. Esses tratamentos podem ser de dois tipos: farmacológicos ou psicoterapêuticos. A primeira abordagem busca estimular o Sistema Nervoso Central (SNC) através do uso de remédios, de modo que o número de neurotransmissores aumente [2], porém efeitos colaterais e a dependência dessas medica es podem afetar o cotidiano da pessoa com TDAH ao utiliz -las de modo excessivo. A segunda abordagem permite um melhor entendimento sobre os sintomas enfrentados e auxilia na elabora o de estratégias para lidar com esse transtorno, sendo capaz de transformar o comportamento de pessoas diagnosticadas com o mesmo [3].

A neurociência apresentou um relevante impulso nas últimas décadas a partir da inser o de diferentes tecnologias para o estudo das fun es e processos cognitivos envolvidos no SNC, estimulando o desenvolvimento de novas abordagens para diversos tratamentos e, assim, possibilitando investiga es mais profundas sobre as áreas responsáveis pelo foco, tomada de decisão e aten o [4]. Uma Interface Cérebro-Computador (ICC)   uma sistema baseado em *neurofeedback*, possui como objetivo detectar as ondas cerebrais da superfície cortical ou áreas subcorticais para criar uma via de comunica o do SNC com um dispositivo eletr nico, possibilitando a intera o desses sinais com sistemas de computadores de forma direta. Essas interfaces oferecem métodos de baixo custo e de fácil acesso para o mercado convencional, além disso fornece uma grande capacidade de estímulo, controle e acompanhamento das fun es cognitivas [5].

Sistemas ICC podem ter seu potencial aliado aos chamados Jogos Sérios (JS). Esses, possuem a capacidade de estimular as fun es cognitivas da pessoa jogadora, integrando princípios de aprendizagem, enquanto a diverte [1]. São considerados “sérios” pois possuem o potencial de mudar o comportamento e motivar a pessoa praticante, além de estimular suas capacidades de aten o, tomada de decisão e autocontrole [6].

A partir do cenário apresentado, sistemas baseados em *neurofeedback* e Jogos Sérios podem atuar de forma conjunta como um tratamento alternativo e psicoterapêutico para estimular cognitivamente uma pessoa com TDAH. Ao fornecer um ambiente com maior controle da eficácia da abordagem ao longo do tempo, a intensidade dos sintomas da pessoa jogadora pode ser reduzida e a sua capacidade de aten o pode ser aprimorada a partir de um método mais confortável e lúdico.

Este trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um Jogo S rio aliado a Interface Cérebro-Computador baseado no g nero “corrida infinita” e propor a sua utiliza o como uma ferramenta de apoio no tratamento de pessoas com Transtorno de Déficit de Aten o e Hiperatividade.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A. Interface Cérebro-Computador

Uma Interface Cérebro-Computador possibilita a criação de uma via direta de comunicação entre o SNC e um dispositivo externo, capaz de captar e identificar os impulsos nervosos, chamados de “Potencial de Ação”, originados do processo de propagação de informações entre neurônios, conhecido como sinapse. A parte mais externa do cérebro é conhecida como córtex e é encarregada de receber e interpretar os impulsos nervosos, realizando o processamento neural dos mesmos.

O SNC funciona como um sistema de entrada e saída e é responsável por diversos processos cognitivos. O córtex pré-frontal é uma importante região do SNC responsável pela capacidade de planejamento e tomada de decisões, além da regulação da intensidade do foco de atenção, principalmente através de duas subregiões: área pré-frontal dorsolateral e orbito-ventromedial [7]. A área pré-frontal dorsolateral é responsável pela seleção e manutenção das respostas de atenção, enquanto que a área orbito-ventromedial é encarregada de controlar a modulação de impulsos e da memória de trabalho. Além disso, a área pré-frontal dorsolateral relaciona-se com o desenvolvimento e o desempenho das Funções Executivas (FE) e a orbito-ventromedial, com as emoções. Disfunções nessas áreas podem ocasionar distraibilidade, impulsividade, impersistência e desinibição.

1) *Ritmos cerebrais e estados psicológicos*: Os impulsos nervosos originados da propagação de informações entre os neurônios podem ser classificados e analisados de acordo com suas bandas de frequência, sendo elas: delta (δ), teta (θ), alfa (α), beta (β) e gama (γ). Os sinais elétricos da banda definida como delta oscilam entre 0,5 e 3,5Hz; enquanto os impulsos de teta oscilam entre 3,5 e 7,5Hz; de alfa, entre 7,5 e 12,5Hz; de beta, entre 12,5 e 30Hz; e de gama, variam entre 30 e 80Hz. As frequências acima de 80Hz podem ser classificadas como supergama [8]. A banda delta e teta são definidas como frequências baixas, enquanto que a banda alfa é considerada uma frequência média e gama, alta.

De modo geral, a frequência beta realiza entre 14 e 21 ciclos por segundo, porém ela pode ser dividida entre 3 tipos: beta baixo, sendo considerada uma frequência média que varia entre 12 e 15Hz; beta, considerada uma frequência alta que varia entre 16Hz e 20Hz; e beta alto, também definido como uma frequência alta que oscila entre 21Hz e 30Hz. Visto que cada banda de frequência está relacionada a diferentes estados mentais, estudos afirmam que a frequência beta relaciona-se ao estados mentais de atenção, resolução de problemas e consciência ativa.

2) *Técnicas e caminhos comunicativos*: Esses impulsos nervosos podem ser detectados por uma ICC e utilizados para controlar um dispositivo externo. Para isso, primeiramente esses sinais são obtidos através de eletrodos, em seguida é realizado o processamento desses sinais e após, os dados obtidos são aplicados e retornados em forma de comandos. As etapas desse processo estão esquematizadas na Fig. 1.

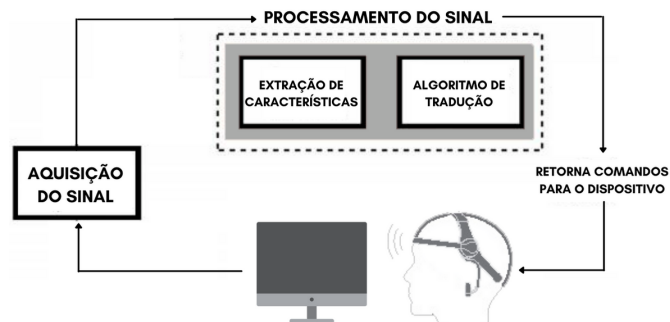


Fig. 1. Esquema das etapas do processo de um sistema ICC. Fonte: Adaptada de [9].

A etapa de captação dos sinais pode ocorrer de forma invasiva e não invasiva. A primeira, realizada através de uma cirurgia, permite uma melhor obtenção de sinais elétricos, porém com um maior risco de provocar prejuízos à pessoa exposta. Enquanto que a segunda é mais segura e de mais fácil acesso do que o primeiro método, além de ter um menor custo.

Um das abordagens não invasivas utilizadas por sistemas ICC é conhecida como Eletroencefalograma (EEG). Nesse método são posicionados eletrodos na cabeça da pessoa, distribuídos de acordo com as áreas do córtex cerebral importantes para a análise em questão. A distribuição dos eletrodos normalmente segue o Sistema Internacional 10-20, onde o crânio é dividido em 21 pontos distribuídos a uma distância de 10% e 20% das posições de referências, indo de *náision* a *ínion*, como pode ser observado na Fig. 2. Esse sistema busca padronizar a distribuição de eletrodos em tamanhos de crânios diferentes [8].

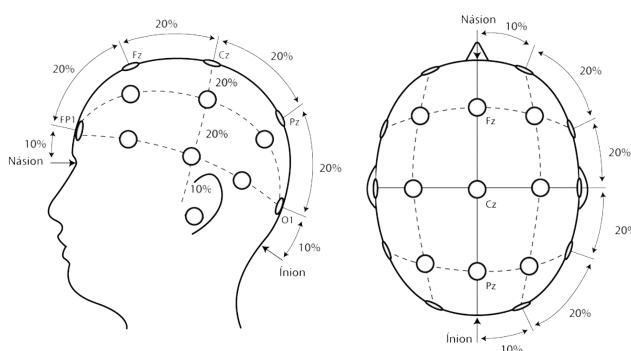


Fig. 2. Posicionamento dos eletrodos utilizando o Sistema Internacional 10-20. Fonte: Adaptada de [10].

Após a aquisição dos sinais cerebrais, é realizada a etapa de processamento, onde ocorre a extração de características e classificação dos dados obtidos. Nessa etapa, os sinais cerebrais passam por um processo de filtragem e cálculo da amplitude, para que as informações advindas desses sejam codificadas e em seguida, utilizadas pelo algoritmo de tradução,

que interpreta essas informações e as decodifica em comandos no sistema [11].

Esses comandos provocam *feedbacks*, sejam visuais, auditivos ou táteis, em dispositivos de saída, como computadores, próteses e outros equipamentos [8]. Esses *feedbacks* compõem o que é conhecido como *Neurofeedback*, uma categoria de *biofeedback*, e são eles que possibilitam o aprimoramento de funções de autorregulação do cérebro a partir da estimulação e observação de padrões da atividade cerebral, permitindo que a pessoa que os esteja recebendo controle a sua performance.

Visto a capacidade de controle e aprimoramento proporcionada pelo uso de tecnologias EEG, diversos tratamentos e treinamentos foram desenvolvidos utilizando esse método. A expansão das possibilidades de aplicação utilizando esses equipamentos possibilitou o desenvolvimento de tecnologias mais acessíveis e mais simples, baseadas na aplicação de eletrodos ativos secos. Para a população com TDAH, soluções baseadas em *neurofeedback* foram efetivamente utilizadas para a diminuição de comportamentos hiperativos e impulsivos, para o aumento do tempo de atenção sustentada e concentração, além do aprimoramento da autorregulação dessas e outras habilidades afetadas pelo transtorno [12]–[14].

B. Jogos Sérios

A palavra “jogo” é oriunda do latim *ludus*, tendo a diversão de modo intrínseco ao seu significado. De acordo com Vygotsky [15], o ato de brincar exerce uma grande influência no desenvolvimento infantil. Por artifício da ludicidade, os jogos são capazes de estimular a elaboração de estratégias, organização e respeito a regras [16], ativando os sistemas neurológicos das pessoas que os praticam. De diferentes formas e gêneros, principalmente os digitais, estão presentes em diferentes esferas da sociedade, como nas áreas de ensino, saúde, engenharia e treinamento empresarial.

McGonigal [17] sintetizou em seu livro quatro características fundamentais que todos os jogos, independente do gênero e complexidade, possuem, sendo elas: existência de metas, regras, sistemas de *feedback* e participação voluntária. Pode-se afirmar que a definição de metas fornece um senso de objetivo para a pessoa jogadora, enquanto que as regras encorajam o pensamento estratégico e os sistemas de *feedback* motivam a prática contínua. A partir desses elementos, os jogos criam obstáculos que são aceitos de forma espontânea e voluntária, e são superados através do engajamento, gerado a partir da ativação dos sistemas neurológicos, tais como os sistemas de atenção, os centros de recompensas, emoção e memória. Essas características estabelecem a base do que torna a utilização de jogos algo tão divertido.

Os Jogos Sérios (JS) possuem como propósito difundir e praticar um assunto, se beneficiando do potencial de ativação dos sistemas neurológicos que os jogos possuem. Esses jogos são capazes de estimular novos comportamentos das pessoas praticantes, além de promover a socialização, a motivação e o desenvolvimento cognitivo [18]. Visto isso, é possível compreender a sua aplicação em temas relevantes, como a área

da saúde, pois esses jogos buscam impactar a pessoa jogadora e o seu meio além de seu ambiente virtual.

Aproveitando-se do grande potencial de estimular funções cognitivas que esses ambientes possuem, os mesmos podem ser utilizados como ferramentas auxiliaadoras durante a terapia de pacientes e no processo de diagnóstico, oferecendo um ambiente seguro e controlável, além de envolver o indivíduo ao fornecer soluções atrativas.

III. TRABALHOS RELACIONADOS

Em um estudo preliminar desenvolvido pelas autoras [19], foram reunidos os trabalhos relacionados a esse contexto realizados entre 2010 e 2020, a partir de uma revisão sistemática. Foram investigadas seis bases de dados, sendo elas: Science Direct¹, SpringerLink², IEEEExplore³, Scopus⁴, SciELO⁵ e PubMed Central (PMC)⁶. Ao final, seis estudos que contaram com amostras populacionais diagnosticadas com TDAH foram selecionados.

Os estudos de Lim et al. [20] e Lee et al. [21] foram desenvolvidos no mesmo laboratório de pesquisa. O primeiro, apresenta a elaboração de um jogo que utiliza o nível de atenção de uma pessoa, captado por uma ICC, para controlar e determinar a velocidade de seu avatar. Nesse estudo, 20 crianças com TDAH participaram ao longo de 8 semanas de treinamento cognitivo e 3 meses de acompanhamento pós-tratamento. Porém, o mesmo apresentou algumas limitações em relação a sua metodologia. Buscando contornar essas limitações, o estudo de Lee et al. [21] aplicou o mesmo jogo, analisando 160 voluntários, divididos em dois grupos para realização de testes randomizados controlados e a avaliação foi conduzida por médicos a partir de um método cego. Ambos os estudos tiveram como resultado o aprimoramento de habilidades de atenção sustentada e melhora dos comportamentos de hiperatividade-impulsividade.

Em Blandon et al. [12] foi desenvolvido um jogo que utiliza a autorregulação do nível de atenção de uma pessoa para realização de determinadas tarefas em um ambiente de Realidade Virtual imersivo. Nesse estudo, 9 crianças com TDAH participaram ao longo de duas sessões e teve como resultado não apenas o aprimoramento da atenção sustentada, mas também o desenvolvimento de habilidades de autorregulação e indução da mesma, treinando a pessoa jogadora a aumentar o seu nível de atenção de modo incremental.

No estudo de Alchalabi et al. [13], o jogo desenvolvido baseou-se no controle das ações do avatar a partir do nível de atenção da pessoa jogadora ao repetir imagens mentais, como, por exemplo, empurrar um objeto do mundo virtual. A solução proposta busca facilitar o diagnóstico de pessoas com TDAH a partir de diferentes estados de atenção, para isso foi utilizado um classificador de *Machine Learning* que

¹<https://www.sciencedirect.com/>

²<https://link.springer.com/>

³<https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>

⁴<https://www.scopus.com/>

⁵<https://www.scielo.br/>

⁶<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/>

analisou os sinais de atenção durante o jogo. Nessa pesquisa, foram utilizados grupos de controle, sendo o primeiro grupo composto por 4 jovens adultos com TDAH e o segundo, por 5 jovens adultos neurotípicos. Foram aplicadas 10 sessões para o grupo composto por neurotípicos e 12 sessões para o grupo com TDAH. Ao final do estudo, a solução proposta obteve 98% de acurácia na detecção do estado e do nível de atenção, além de estabelecer uma forte base para viabilização de jogos para a detecção de TDAH.

Já no estudo de Mercado et al. [14] foi desenvolvido um jogo que utiliza o nível de atenção da pessoa jogadora para controlar a velocidade do avatar, buscando analisar como o esforço de atenção demandado e a usabilidade da solução afeta a performance da pessoa usuária e o próprio processo de reabilitação neuropsicológica. Para isso, 12 crianças com TEA (Transtorno do Espectro Autista) e TDAH comórbida participaram ao longo de duas sessões cada e foram utilizados dois jogos diferentes aliados a mesma ICC, buscando comparar a usabilidade. Ao final do estudo, as habilidades de atenção sustentada aumentaram e foi possível observar que, apesar de utilizar a mesma configuração na ICC, a usabilidade e o grau de empatia pelo personagem do jogo possuíram efeitos diretos na capacidade de aprimoramento neuropsicológico da solução.

Em Park et al. [22], os objetivos principais do estudo foram a diminuição de comportamentos hiperativos e o aprimoramento da habilidade de leitura através de um jogo narrativo de conto de fadas que apresentou atividades de atenção sustentada e de conduta para avanço do mesmo. Para avaliar a solução proposta, 5 crianças com TDAH participaram ao longo de 5 sessões cada, obtendo resultados rápidos e positivos na melhora da leitura em voz alta, na compreensão do texto e no tempo de atenção sustentada.

Tornou-se evidente através da análise dos estudos a relevância do desenvolvimento de soluções que buscam aprimorar a atenção sustentada de indivíduos com TDAH, principalmente de crianças, visto que a melhora dessa função cognitiva específica foi um dos objetivos principais de 5 dos 6 estudos. A melhora nas habilidades de atenção sustentada, que permite que uma pessoa foque em uma tarefa contínua durante um maior período de tempo, tem impacto direto no processo de ensino-aprendizagem, uma vez que a manutenção do foco para acompanhar as atividades em sala de aula é essencial.

Em relação aos dispositivos para leitura dos sinais cerebrais, 4 dos 6 estudos selecionados utilizaram o *headset* EEG denominado Mindwave, fabricado pela NeuroSky, Inc.⁷. Seus dois eletrodos foram suficientes para captar o nível de atenção no córtex pré-frontal, mostrando-se ser um artifício simples e efetivo para análise dessa função cognitiva. No estudo de Mercado et al. [14], foi utilizado o *headset* EEG denominado BrainLink Pro, que utiliza a mesma tecnologia de biosensores desenvolvida pela NeuroSky, Inc. e apresenta um *design* mais confortável do que o anterior. Por fim, o estudo de Alchalabi et al. [13] utilizou o *headset* EEG EMOTIV EPOC+, fabricado

pela Emotiv, Inc.⁸, sendo esse um dispositivo mais complexo do que os anteriores, com mais possibilidades de aplicação e análises.

As principais limitações desses estudos estão relacionadas com o tamanho da amostra (de modo geral, pequena) e número de sessões. Ambos dificultaram a generalização dos resultados por não cobrirem amplamente a população com TDAH e seus resultados pós-teste durante um maior espaço de tempo. Além disso, alguns estudos apontaram que o conteúdo do jogo pode ter sido um fator limitante do aprimoramento, visto a falta de variação das tarefas desempenhadas nos jogos.

IV. DESENVOLVIMENTO DO JOGO

O objetivo deste trabalho consiste no desenvolvimento de um Jogo Sério aliado a uma Interface Cérebro-Computador. O jogo busca estimular cognitivamente e aprimorar a capacidade de atenção, podendo atuar como um tratamento alternativo de reabilitação neuropsicológica para pessoas com Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade.

O Eletroencefalograma utilizado para captação dos sinais e para aplicação conjunta com o jogo foi o dispositivo Mindwave, desenvolvido pela empresa NeuroSky. Ele é definido como um *headset* que possui algoritmos pré-definidos, composto por apenas dois eletrodos que seguem o Sistema Internacional 10-20, onde um é posicionado sobre o lobo frontal, para captar os sinais advindos do córtex pré-frontal, enquanto que o segundo atua como uma referência elétrica para garantir a qualidade do processamento dos sinais captados, como demonstrado na Fig. 3.

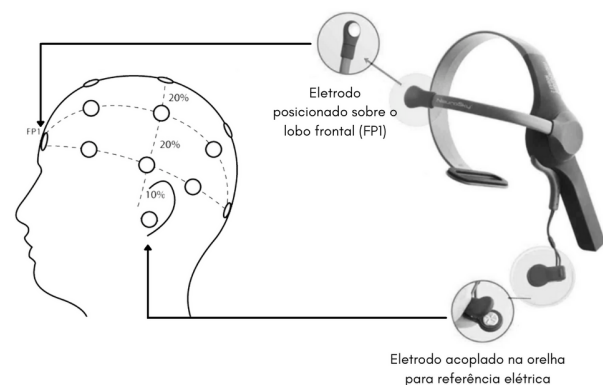


Fig. 3. Posicionamento dos eletrodos dos headsets NeuroSky seguindo o Sistema 10-20. Fonte: Adaptada de [23].

Esse *headset* é composto por um módulo chamado Think-Gear ASIC Module (TGAM) que realiza o pré-processamento desses sinais. Esse módulo calcula a densidade espectral baseada em 512 amostras de frequência por segundo e os sinais captados através dos eletrodos. No pré-processamento, esse módulo amplifica e digitaliza a diferença dos sinais elétricos obtidos através do eletrodo posicionado sobre o lobo frontal

⁷<http://neurosky.com/>

⁸<https://www.emotiv.com>

e o eletrodo de referência e os transmite por um filtro no domínio da frequência [24].

Nesse filtro, primeiramente é realizada uma verificação preliminar do alcance dos sinais, para detectar ruídos. Em seguida, esses sinais são convertidos para o domínio de frequência através da Transformada Rápida de Fourier (FFT), que calcula as diferentes frequências e amplitudes em cada sinal. Ao obter o domínio de frequência, novamente é verificada a existência de ruídos e os mesmos são corrigidos. Por fim, esses sinais são categorizados de acordo com sua frequência entre as ondas delta, teta, alfa, beta e gama [23].

Esse dispositivo, através de um algoritmo pré-definido, denominado “eSense”, é capaz de classificar as ondas em dois estados mentais: atenção e meditação. Nesse algoritmo, os estados mentais identificados são categorizados, após passar pelo filtro, de acordo com a variação da intensidade captada dos mesmos, indo de 1 a 100, como pode ser observado na Tabela I. No caso do estado de atenção, os sinais com intensidade entre 1 e 20 ou entre 20 e 40, por exemplo, podem significar que a pessoa está distraída, e no caso do estado de meditação, que a pessoa está agitada.

TABELA I
CLASSIFICAÇÃO DOS ESTADOS MENTAIS EM RELAÇÃO A INTENSIDADE NO ALGORITMO ESENSE

| Intensidade | Classificação |
|----------------|---------------|
| Entre 1 e 20 | Muito baixa |
| Entre 20 e 40 | Reduzida |
| Entre 40 e 60 | Neutra |
| Entre 60 e 80 | Elevada |
| Entre 80 e 100 | Muito elevada |

A classificação em relação a intensidade dos estados mentais de atenção será utilizada nesse estudo para controlar diferentes atividades no jogo desenvolvido, modificando elementos do ambiente de acordo com a intensidade identificada. Em seguida, serão apresentadas as principais características do jogo.

A. Características do jogo

Primeiramente, foi realizada uma busca de referências de jogos que incentivam a concentração e habilidades de tempo de resposta, além de jogos com conteúdos não limitantes para a prática contínua, visto as melhorias e limitações observadas nos trabalhos relacionados. Os jogos do gênero “corrida infinita” mostraram-se uma interessante opção, visto a sua mecânica básica.

Nos jogos de corrida infinita (conhecidos também como *endless runner*), as habilidades de foco da pessoa jogadora são testadas ao medir por quanto tempo ela consegue se manter e quão longe ela consegue ir no jogo, desviando de obstáculos. Jogos nesse estilo não possuem um fim propriamente dito de seu conteúdo, a pessoa jogadora pode melhorar e testar suas habilidades sempre ao iniciar uma nova corrida, que apenas tem fim quando a(o) personagem perde todas as suas vidas ao bater nos obstáculos.

Em jogos de corrida infinita, a velocidade da personagem aumenta de acordo com o total da distância percorrida. Para

atingir o objetivo do atual estudo, a mecânica do jogo utiliza-se do nível de atenção da pessoa jogadora para aumentar ou diminuir a velocidade da personagem e para liberar recompensas. Baseado nisso, foi criado um *Unified Game Canvas* [25], um *framework* utilizado para reunir de forma rápida os elementos de um jogo em um único painel.

No *Unified Game Canvas* criado, a meta do jogo fornece um senso de objetivo: chegar o mais longe possível e coletar o máximo de estrelas, enquanto desvia de objetos em um cenário urbano. Como regras, define-se que a cada nova atividade é necessário conectar o *headset* para captação dos sinais, além disso, define-se que durante a corrida a colisão com algum obstáculo resulta em perda de vida e que o jogo tem fim quando as vidas do personagem acabam. Ademais, define-se como regra especial que sempre que a atenção da pessoa jogadora estiver acima de 80 (representando atenção muito elevada), cada estrela coletada vale o dobro de seu valor.

O *software* escolhido para desenvolvimento do jogo foi a plataforma Unity, visto que, além de ser um dos motores de jogos mais utilizado atualmente, ela disponibiliza um amplo conjunto de bibliotecas e permite o desenvolvimento de jogos tanto 2D quanto 3D, além de jogos multiplataformas. A Unity possui uma vasta documentação e uma comunidade online de desenvolvedores bastante ativa [26].

O jogo é composto por objetos coletáveis, três tipos de obstáculos, um personagem e elementos de interface. Esses componentes foram obtidos gratuitamente, com algumas adaptações, a partir da loja da Unity⁹. Os pacotes utilizados no jogo são:

- *Endless Runner - Sample Game*: ferramenta que fornece elementos otimizados para composição de jogos de corrida infinita. Foram utilizados seus modelos de cenário e obstáculos, além de seus elementos de interface como os corações e botões;
- *Sci-Fi Engineer*: pacote com o modelo e animações de um personagem masculino, utilizado durante a corrida;
- *Resource Icons*: fornece 6 ícones diferentes para composição da interface, porém apenas o ícone de moeda foi utilizado no menu do jogo;
- *10 Skyboxes Pack - Day/Night*: pacote com 10 tipos de céus diferentes, utilizado para complementar a ambientação dos cenários diurnos e noturnos do jogo.

Além desses pacotes, foi necessário a utilização de um *plugin* para realizar a conexão do *headset* Mindwave com a Unity, disponibilizado no GitHub¹⁰. O sistema de *feedback* define respostas visuais, com a regulação da velocidade do jogador e controle do preenchimento de uma barra de progresso através do nível de atenção captado, além da alteração de textos apresentados para a pessoa jogadora quando ocorre esse aumento e diminuição da atenção no momento da tentativa de obtenção de recompensa. Ademais, são apresentadas barras de progresso em relação as missões em andamento, para que seja possível visualizar o quanto já foi realizado da missão e

⁹<https://assetstore.unity.com>

¹⁰<https://github.com/DaCookie/mindwave-unity>

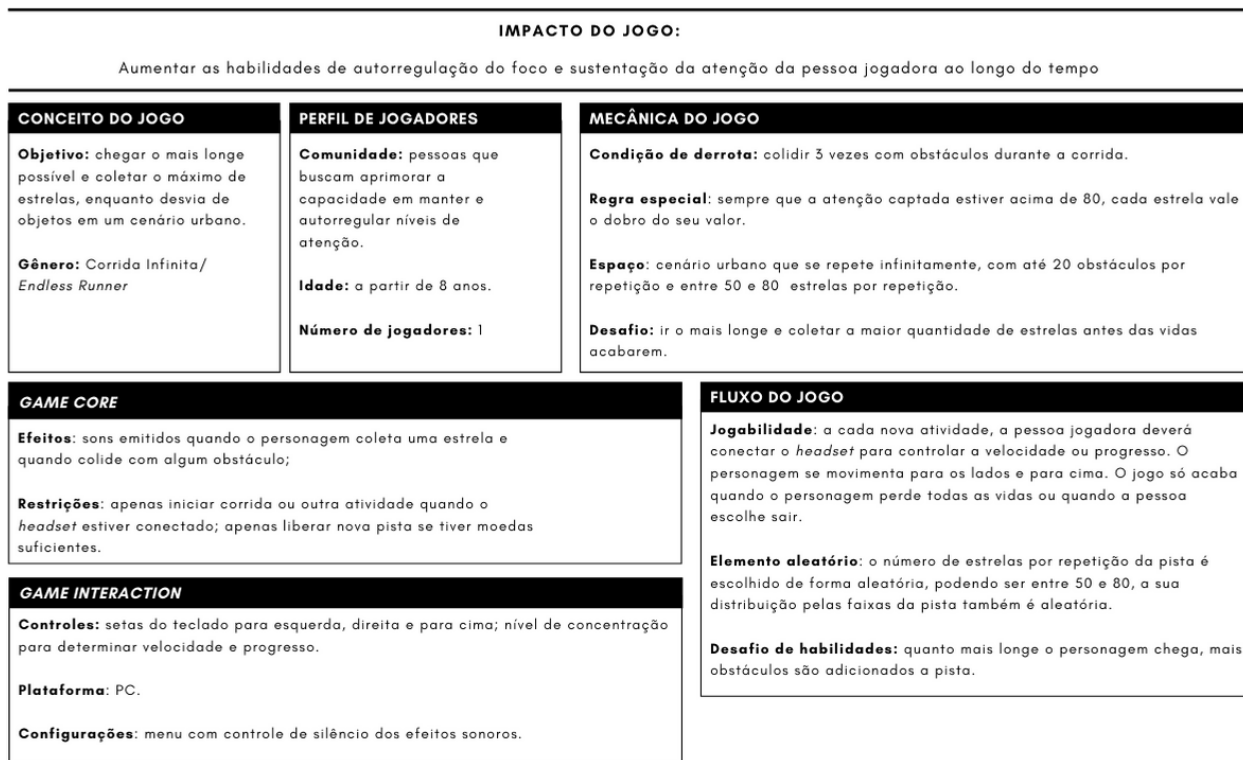


Fig. 4. Design do jogo utilizando Unified Game Canvas. Fonte: autoria própria.

o quanto falta. Por fim, também foram definidos *feedbacks* sonoros, quando o personagem bate em algum obstáculo, quando coleta os objetos e quando recebe bônus.

Para estimular a continuação da prática do jogo, foram definidas missões, descritas na Tabela II, que podem ser completadas através da corrida e que geram recompensas ao serem finalizadas. Essas recompensas são moedas que podem ser trocadas por novas pistas de corrida. As missões do tipo 1, por exemplo, variam em relação aos metros percorridos em uma única corrida. O valor total da distância é escolhido aleatoriamente quando a missão é selecionada. Caso a distância definida seja de 100 metros, por exemplo, o valor de recompensa será igual a 50 moedas, e assim por diante. As missões do tipo 2 e do tipo 3 funcionam da mesma maneira.

TABELA II
MISSÕES ESTABELECIDAS PARA O JOGO

| Missões | Descrição | Recompensa |
|---------|--|--|
| Tipo 1 | “Corra x (valor entre 100, 200, 300 e 400 aleatório) metros em uma corrida” | Valor entre 50, 100, 200 e 250 (dependendo dos metros percorridos) |
| Tipo 2 | “Corra x (valor entre 1000, 2000, 3000 e 4000 aleatório) metros no total” | Valor entre 400, 550, 700 e 1000 (dependendo do total percorrido) |
| Tipo 3 | “Colete x (valor entre 200, 400, 450 e 600 aleatório) estrelas em uma corrida” | Valor entre 100, 200, 300 e 400 (dependendo do total de estrelas) |

Para finalizar as missões e coletar as moedas de recompensa,

foi definida uma segunda atividade de concentração que pode ser realizada quando uma missão é completada. Nessa atividade, a pessoa jogadora é incentivada a focar no crescimento de uma barra de progresso, até que a mesma esteja totalmente preenchida. Caso a pessoa esteja distraída, o preenchimento da barra regride até o seu ponto mínimo e a coleta da recompensa não é liberada. Caso ela consiga manter o foco até o fim do preenchimento da barra, a recompensa é liberada, tal como demonstrado no esquema da Fig. 5.

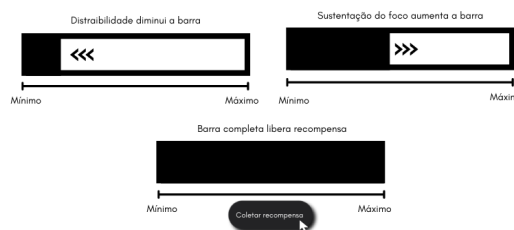
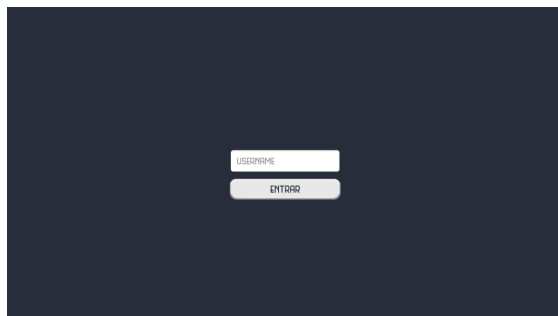


Fig. 5. Esquema da coleta de recompensas no jogo. Fonte: autoria própria.

B. Inteface do jogo

A interface da tela inicial apresenta um simples sistema de *login* para o jogo, como pode ser observado na Fig. 6. A única informação solicitada é o nome da pessoa jogadora, caso o nome não exista ainda no registro local, ele cria uma nova pasta para guardar os dados advindos do jogo, tais como as missões realizadas por essa pessoa, a quantidade de moedas

e pistas liberadas. Ao inserir o nome e selecionar o botão “entrar”, uma janela *pop-up* de confirmação do dado inserido é apresentada, ao clicar em “entrar” novamente, o fluxo avança para a tela do menu. Esse sistema de *login* foi desenvolvido apenas para manter o controle dos sinais captados durante as futuras sessões de aplicação do jogo.



(a) Input para inserir o nome da pessoa jogadora



(b) Pop-up de confirmação de login

Fig. 6. Tela Login. Fonte: autoria própria.

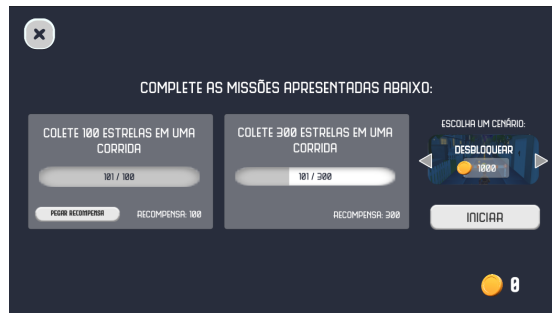
A interface da tela do menu apresenta as missões disponíveis para serem realizadas e os seus valores de recompensa ao serem finalizadas. Para completar as missões, primeiramente é necessário escolher o cenário de corrida. Atualmente, o jogo disponibiliza duas opções de cenário, sendo eles: corrida diurna em um ambiente urbano, e corrida noturna em um ambiente residencial, como pode ser observado na Fig. 7.

Inicialmente, apenas a corrida diurna está desbloqueada. Essa definição busca incentivar a prática do jogo, visto que para desbloquear um novo cenário é preciso utilizar as moedas obtidas ao completar missões. Para isso, quando uma missão é finalizada, um botão para coletar a recompensa torna-se visível na interface. A partir da tela do menu, a pessoa jogadora pode escolher iniciar uma corrida, coletar uma recompensa ou sair do jogo. Caso ela opte por iniciar uma corrida ou coletar uma recompensa, a próxima etapa do fluxo é a tela de conexão, apresentada na Fig. 8.

Nesse momento, é realizada a conexão do *headset* Mindwave com o jogo. Essa conexão é necessária para coletar os dados de controle utilizados na corrida e na atividade para coleta da recompensa, logo, o acesso da próxima tela só é liberado caso o jogo tenha sucesso nessa etapa.

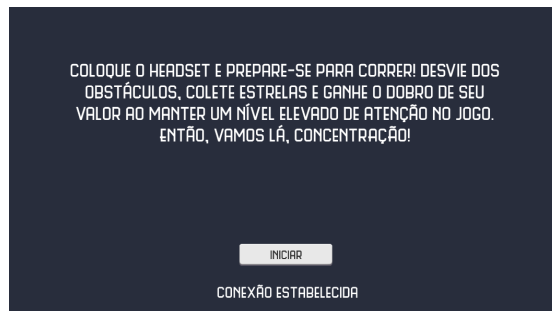


(a) Corrida diurna selecionada

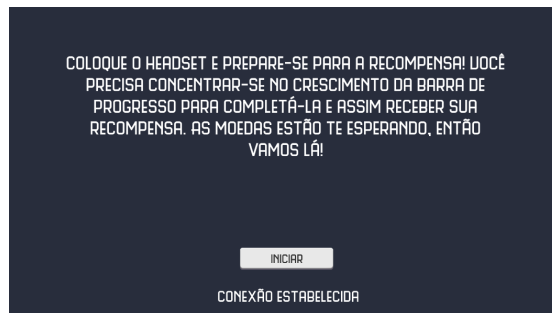


(b) Corrida noturna selecionada

Fig. 7. Tela Menu. Fonte: autoria própria.



(a) Conexão para iniciar corrida



(b) Conexão para coletar recompensa

Fig. 8. Tela Conexão. Fonte: autoria própria.

Após o sucesso da conexão com o *headset*, a pessoa jogadora pode acessar a tela de corrida ou a tela de recompensa.

Primeiramente, será apresentada a interface e os cenários da tela de corrida. Tanto no cenário de corrida diurno quanto noturno, os elementos da interface mantêm-se os mesmos, mudando apenas a estrutura da pista de corrida e o fundo do ambiente, como pode ser observado na Fig. 9.



(a) Cenário corrida diurna



(b) Cenário corrida noturna

Fig. 9. Tela Corrida. Fonte: autoria própria.

Como elementos dessa interface, podemos listar o botão “pausar”, a quantidade de vidas disponíveis (representadas por corações) e a quantidade de estrelas coletadas durante a atual corrida, além da distância total percorrida na mesma. Na Fig. 9, também é possível observar a personagem principal posicionado no meio da pista, os objetos coletáveis (representados pelas estrelas) e um obstáculo que precisa ser desviado para que a personagem não perca uma vida. A velocidade do personagem varia de acordo com a intensidade da atenção captada, tendo como velocidade mínima o valor 9 e máxima, o valor 30.

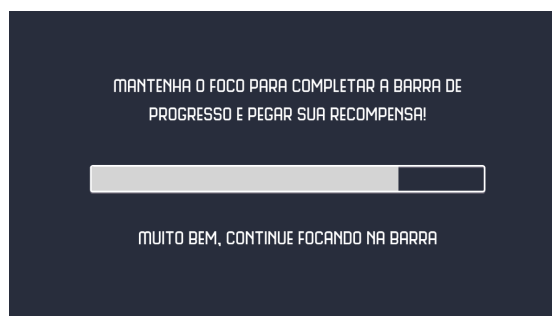
Enquanto a personagem tiver vidas, a corrida continua e a quantidade de obstáculos aumenta. O jogo apresenta uma mensagem de fim de jogo quando as vidas da personagem chegam ao fim, como pode ser observado na Fig. 10.

A tela de recompensa, apresentada na Fig. 11, possui dois elementos principais: uma barra de progresso e textos de *feedback*. Nessa etapa é solicitado que a pessoa jogadora foque no crescimento da barra de progresso para que a mesma continue avançando, caso a pessoa perca o foco, a barra de progresso recua e apresenta uma mensagem de alerta.

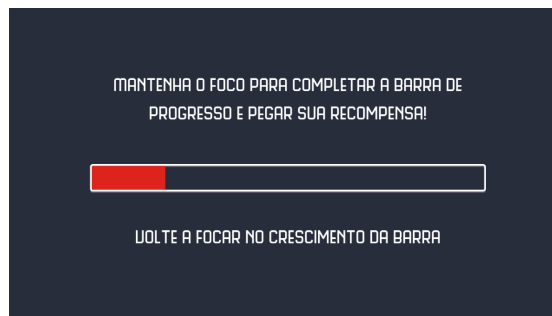
Esse avanço e recuo da barra de progresso é baseado a intensidade da captada através do *headset*: caso a atenção da pessoa jogadora esteja acima de 60 (nível elevado), a barra



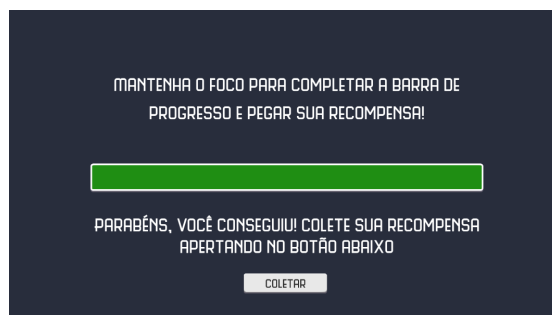
Fig. 10. Tela Corrida - Fim de Jogo. Fonte: autoria própria.



(a) Mensagem crescimento da barra



(b) Mensagem decremento da barra



(c) Mensagem atividade completa

Fig. 11. Tela Coleta de Recompensa. Fonte: autoria própria.

progredir, caso não (nível neutro para baixo), a barra regride. O valor mínimo do progresso da barra é 0 (zero) e máximo, 100. Ao completar a barra de progresso (ou seja, ao atingir o valor

máximo), um botão para coleta da recompensa torna-se visível. Ao clicar, a pessoa jogadora recebe as moedas referentes a missão completada e volta automaticamente para a tela de menu do jogo.

C. Registro dos sinais cerebrais

As ondas cerebrais captadas durante as atividades de corrida e coleta de recompensa são registradas em um arquivo texto estruturado de forma que possa ser facilmente convertido em uma tabela, auxiliando na geração de gráficos e análises estatísticas. Esses registros contêm os sinais monitorados das ondas beta baixo e beta alto, juntamente com a intensidade da atenção categorizada através do algoritmo “eSense” (descrito na Tabela I). Para a análise da prática das atividades de corrida, foi adicionada ao registro uma variável de monitoramento da velocidade do personagem, enquanto que na análise da prática das atividades de coleta de recompensas, foi adicionada uma variável de monitoramento do progresso da barra e o tempo demandado para finalização da tarefa. A seguir são apresentados os gráficos gerados após a utilização das atividades do jogo como método de verificação do funcionamento das funcionalidades do mesmo.

No primeiro gráfico (Fig. 12), é possível observar o incremento e decremento da velocidade em relação a intensidade de atenção captada através do *headset*. Nesse gráfico, é possível verificar que o valor da velocidade aumenta quando o nível de atenção está acima de 60 (nível elevado) e reduz quando está abaixo desse valor (nível neutro para baixo).

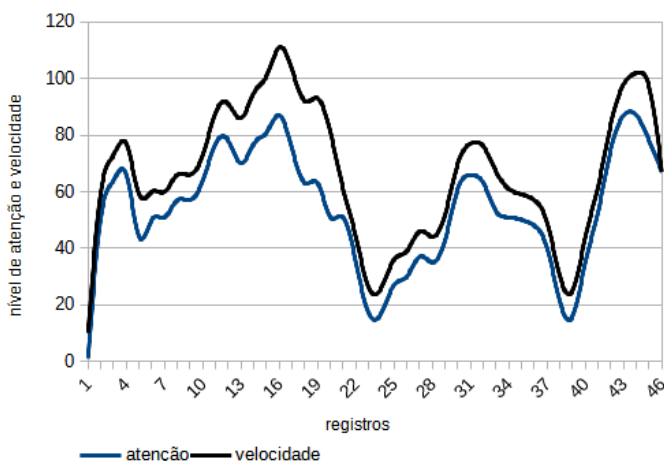


Fig. 12. Gráfico da relação entre nível de atenção e velocidade do personagem. Fonte: autoria própria.

No segundo gráfico (Fig. 13), os valores da barra de progresso em relação a intensidade da atenção são apresentados. Nesse gráfico, é possível verificar que o valor de progresso apenas incrementa quando a intensidade de atenção está acima de 60 e decrementa, quando está abaixo, até chegar ao valor máximo de progresso.

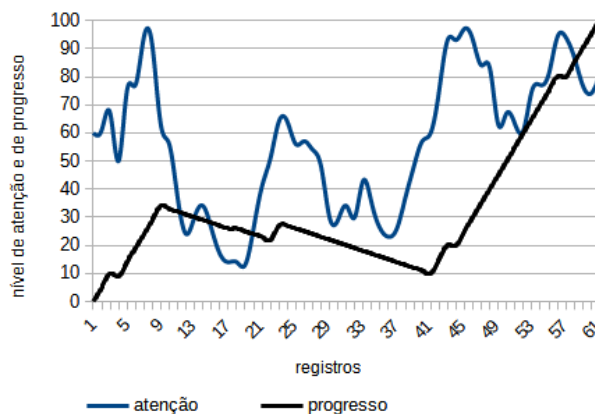


Fig. 13. Gráfico da relação entre nível de atenção e progresso da barra. Fonte: autoria própria.

V. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho apresentou um Jogo Sérioso aliado a Interface Cérebro-Computador (ICC) como uma ferramenta de apoio para a reabilitação neuropsicológica de pessoas com Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH). O jogo baseia-se na mecânica básica de jogos do gênero “corrida infinita” e utiliza os sinais cerebrais captados através da ICC para o controle das suas atividades. Busca-se estimular os sistemas de atenção e motivação da pessoa jogadora a partir da observação visual dos efeitos da sua autorregulação e sustentação da atenção. Nessa etapa do estudo, além do desenvolvimento do jogo, foi possível obter e verificar a integração da tecnologia ICC no controle efetivo das funcionalidades propostas do mesmo.

Como próximos passos, uma atividade de relaxamento será adicionada ao jogo, para registrar o desempenho da pessoa jogadora na atenuação de comportamentos hiperativos. Em seguida, serão realizados testes com voluntários diagnosticados com TDAH para avaliação e validação do jogo desenvolvido, analisando sua usabilidade, os registros das ondas cerebrais e o progresso de cada jogador dentro do jogo ao longo das sessões de aplicação, buscando verificar ao fim se houve o aprimoramento das habilidades de autorregulação e sustentação da atenção da pessoa jogadora ao longo de sua utilização.

REFERÊNCIAS

- [1] D. P. Theodório, A. P. Silva, and T. A. Scardovelli, “Jogos sérios brasileiros para auxílio do diagnóstico e tratamento de tdah: uma revisão integrativa,” *Interfaces da Educação*, vol. 11, no. 32, pp. 60–78, 04 2020.
- [2] T. d. S. Couto, M. R. de Melo-Junior, and C. R. d. A. Gomes, “Aspectos neurobiológicos do transtorno do déficit de atenção e hiperatividade (tdah): uma revisão,” *Ciências e Cognição*, vol. 15, pp. 241 – 251, 04 2010. [Online]. Available: http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-58212010000100019&nrm=iso
- [3] V. Effgem, C. P. Canal, D. D. A. Missawa, and C. B. Rossetti, “A visão de profissionais de saúde acerca do tdah - processo diagnóstico e práticas de tratamento,” *Construção Psicopedagógica*, vol. 25, no. 26, pp. 34–45, 2017.

- [4] S. K. Mudgal, S. K. Sharma, J. Chaturvedi, and A. Sharma, “Brain computer interface advancement in neurosciences: Applications and issues,” *Interdisciplinary Neurosurgery*, vol. 20, p. 100694, 2020. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214751920300098>
- [5] H. Rieiro, C. Diaz-Piedra, J. M. Morales, A. Catena, S. Romero, J. Roca-Gonzalez, L. J. Fuentes, and L. L. Di Stasi, “Validation of electroencephalographic recordings obtained with a consumer-grade, single dry electrode, low-cost device: A comparative study,” *Sensors*, vol. 19, no. 12, 2019. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/12/2808>
- [6] L. Oliveira, L. Ishitani, and A. Cardoso, “Jogos computacionais e transtorno de déficit de atenção e hiperatividade: Revisão sistemática de literatura,” *Taller Internacional de Software Educativo*, 01 2013.
- [7] R. S. Almeida, M. S. S. Crispim, D. S. Silva, L. F. C. Souza, and A. F. O. Fermoeli, “A psicofisiologia da atenção: uma revisão bibliográfica,” *Ciências Humanas e Sociais*, vol. 5, no. 1, pp. 123–136, 11 2018.
- [8] W. D. Casagrande, “Identificação de estado mental de atenção através do eeg para treinamento com neurofeedback,” Master’s thesis, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - Universidade Federal do Espírito Santo, 2019.
- [9] J. Wolpaw, N. Birbaumer, D. Mcfarland, G. Pfurtscheller, and T. Vaughan, “Wolpaw, j.r.: Brain-computer interfaces for communication and control. ’clin. neurophysiol. 113, 767-791,” *Clinical neurophysiology : official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, vol. 113, pp. 767–91, 07 2002.
- [10] P. G. Rodrigues, “Extração de características em interfaces cérebro-máquina utilizando métricas de redes complexas,” Master’s thesis, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica pela Universidade Federal do ABC (UFABC), 2018.
- [11] A. R. Schuh, “Interface cérebro-computador híbrida e colaborativa no processo de tomada de decisão,” Master’s thesis, Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2017.
- [12] D. Blandon, J. Munoz, D. Lopez, and O. Henao, “Influence of a bci neurofeedback videogame in children with adhd. quantifying the brain activity through an eeg signal processing dedicated toolbox,” in *2016 IEEE 11th Colombian Computing Conference (CCC)*, 09 2016, pp. 1–8.
- [13] A. E. Alchalabi, S. Shirmohammadi, A. Eddin, and M. Elsharnouby, “Focus: Detecting adhd patients by an eeg-based serious game,” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. PP, pp. 1–9, 06 2018.
- [14] J. Mercado, I. Espinosa Curiel, L. Escobedo, and M. Tentori, “Developing and evaluating a bci video game for neurofeedback training: the case of autism,” *Multimedia Tools and Applications*, vol. 78, 11 2018.
- [15] L. S. Vygotsky, *A formação social da mente*. São Paulo: Martins Fontes, 1998.
- [16] J. Piaget, *A psicologia da criança*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.
- [17] J. McGonigal, *Reality Is Broken: Why Games Make Us Better and How They Can Change the World*. Londres: Jonathan Cape, 2011.
- [18] M. S. Vasconcellos, F. G. Carvalho, and C. M. Dias, “Proposta de um método descritivo formal de regras de jogos sérios,” *Proceedings of SBGames 2017*, 11 2017.
- [19] G. Monteiro and D. Adamatti, “Serious games e neurofeedback como alternativa de tratamento de indivíduos com transtorno de déficit de atenção e hiperatividade: uma revisão sistemática,” *Anais do XXXI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pp. 752–761, 2020. [Online]. Available: <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbie/article/view/12831>
- [20] C. Lim, T. Lee, C. Guan, D. Fung, Y. Zhao, S. Teng, H. Zhang, and K. Krishnan, “A brain-computer interface based attention training program for treating attention deficit hyperactivity disorder,” *PloS one*, vol. 7, 10 2012.
- [21] X. Lee, E. Koukouna, C. Lim, C. Guan, T. Lee, and D. Fung, “Can we play with adhd? an alternative game-based treatment for inattentive symptoms in attention-deficit/hyperactivity disorder,” in *Subconscious Learning via Games and Social Media*. Singapore: Springer Singapore, 2015, pp. 69–86. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/978-981-287-408-5_6
- [22] K. E. Park, T. Kihl, S. Park, M.-J. Kim, and J. Chang, “Fairy tale directed game-based training system for children with adhd using bci and motion sensing technologies,” *Behaviour & Information Technology*, vol. 38, pp. 1–14, 11 2018.
- [23] Biofeedback & Neurofeedback Therapy, “Neurosky home use device for neurofeedback,” <https://biofeedback-neurofeedback-therapy.com/neurosky/>, 2019, acesso em: 23-06-2021.
- [24] NeuroSky, “Mindwave user guide,” http://developer.neurosky.com/docs/lib/exe/fetch.php?media=mindwave_user_guide.pdf, 2011, acesso em: 23-06-2021.
- [25] V. T. Sarinho, “Uma proposta de game design canvas unificado,” *Proceedings of SBGames 2017*, 2017.
- [26] E. A. Torres, “Simulador de tecnologias de pulverização agrícola utilizando o motor de jogos unity,” pp. 1–43, 2018, monografia (Bacharel em Engenharia de Automação) - Centro de Ciências Computacionais - Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande. 2018.