

AEREO - Proposta de jogo sério com neurofeedback para tratamento de pacientes com TDAH

Mariana Morete Bregantin
Faculdade de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Uberlândia
Uberlândia, Brazil
ORCID: 0000-0001-7541-9808

Júlia Nepomuceno Mello
Faculdade de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Uberlândia
Uberlândia, Brazil
ORCID: 0000-0002-5952-0583

Alcimar Barbosa Soares
Faculdade de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Uberlândia
Uberlândia, Brazil
ORCID: 0000-0003-1100-3533

Kerolayne Meneses da Silva
Faculdade de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Uberlândia
Uberlândia, Brazil
ORCID: 0000-0003-2218-2848

Narayanni Isabelly David Santana
Faculdade de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Uberlândia
Uberlândia, Brazil
ORCID: 0000-0001-8013-7055

Resumo — O Transtorno do Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH), caracterizado por sintomas clínicos como desatenção, hiperatividade e impulsividade, atinge cerca de 5% das crianças. Tais manifestações podem comprometer negativamente o aprendizado na infância e estar associado a desordens psiquiátricas na vida adulta. Os sintomas estão associados a manifestações clínicas, tal como na eletroencefalografia, com diferenças de atividade em faixas de frequências específicas, durante tarefas de concentração e relaxamento. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver um sistema de aquisição e processamento de sinais eletroencefalográficos, visando estimar o estado de atenção do usuário, e utilizar esta reposta para o controle de um jogo virtual, voltado para o aperfeiçoamento da capacidade de concentração e foco. O sistema elaborado consiste no hardware para aquisição dos sinais, um software para processamento e um jogo com interface interativa. O sistema proposto apresentou desempenho satisfatório na classificação dos estados e no desempenho das tarefas do jogo, apresentando-se, assim, como uma possibilidade para utilização em tratamentos com pacientes de TDAH.

Palavras-chaves — *eletroencefalografia, jogo sério, TDAH*

I. INTRODUÇÃO

O Transtorno do Déficit de Atenção com Hiperatividade é um transtorno neurobiológico, com causas ainda desconhecidas, que afeta cerca de 5% das crianças e é encontrado em cerca de 2,5% da população adulta [1]. Os sintomas clínicos, também considerados os principais critérios para diagnóstico do TDAH, são, principalmente, a desatenção, a hiperatividade e a impulsividade. Tais sintomas são destacados na fase infantil, na qual são mais acentuados. Na fase adulta observa-se, contudo, uma prevalência da desatenção [1-4]. Tais sintomas se apresentam em um grau que compromete as atividades diárias destas pessoas em ambientes tais como a escola, trabalho e casa, dificultando as relações pessoais [4]. Alguns estudos associam o TDAH com desordens de conduta e aprendizado em crianças e desordens psiquiátricas em adultos, incluindo abuso de álcool e drogas [2].

O déficit fundamental do TDAH é a incapacidade de modular a resposta ao estímulo, com a impulsividade e a desatenção [4]. Pesquisas utilizando Imagem por Ressonância Magnética indicam uma diminuição da atividade neural na região frontal, córtex cingular anterior e nos gânglios da base

de pacientes com TDAH [4]. Além disso, estudos apontam que existem diferenças consistentes no sinal eletroencefalográfico (EEG) de pacientes com TDAH comparado com crianças normais [2-4]. Neste contexto, a eletroencefalografia pode ser uma importante ferramenta de apoio ao diagnóstico e tratamento seja por bioindicadores seja para ferramentas de neurofeedback.

Com relação as alterações no sinal EEG de pacientes com TDAH, o estudo de Bresnahan & Barry, (2002) demonstrou que o grupo com TDAH produz significativamente maiores poderes delta e teta absolutos e teta relativo, sendo observadas também diferenças nos poderes alfa e beta absolutos. Nesse mesmo trabalho, um grupo que apresentava sintomas de TDAH, mas sem diagnóstico, exibiu menor poder teta relativo e maiores poderes beta absoluto e relativo que o grupo controle, além de menores poderes teta absoluto e relativo que o grupo com TDAH. Os resultados encontrados demonstram que a elevação na energia das ondas lentas se reflete em altos níveis contínuos de comportamento impulsivo e a aparente normalização na frequência beta (que geralmente é menor em crianças com TDAH) está associada a uma redução no nível de hiperatividade. Além disso, se o poder teta elevado em adultos com TDAH refletir em alguns sintomas da doença (como impulsividade), então o poder teta reduzido apresentado no grupo sem TDAH, mas com os sintomas, sugere que esses sintomas fossem diagnosticamente importantes na distinção entre o grupo com TDAH e o grupo sem. Por fim, uma taxa teta/beta elevada no grupo com TDAH pode significar um importante marcador específico dessa condição clínica ao longo da vida [2].

Clarke et al (2019) avaliou potenciais evocados em adultos e crianças em condições de repouso e olhos fechados. Em crianças foi demonstrado um maior delta relativo na região frontal, porém menor na região posterior, teta relativo globalmente aprimorado e menor alfa relativo no grupo com TDAH. Enquanto isso, o grupo adulto com TDAH apresentou uma atividade teta global mais elevada, além de uma elevação central na atividade beta na região central [3]. Assim, pesquisas demonstraram que crianças com TDAH apresentam maior percentual de atividade teta fronto-central durante estados de relaxamento. Além disso, a relação teta/beta significativamente aumentada em pacientes com TDAH pode estar relacionada a períodos curtos de atenção e reações rápidas impensadas, determinando assim um aumento do

número de erros em testes (muita rapidez e pouco desempenho), refletindo em maior impulsividade, uma característica comum desta condição clínica [4].

Por fim, o estudo de Markovska-Simoska & Pop-Jordanova, (2017) analisou o EEG de crianças e adultos em condições de relaxamento com a atenção focada em um monitor de computador. Assim, demonstrou-se um maior poder delta e teta absoluto em crianças, mas não em adultos. Percebeu-se também uma relação teta/beta com diferença significativa no grupo infantil, mas não no grupo adulto [5]. Apesar de alguns desses estudos apresentarem resultados contraditórios, percebe-se, em geral um aumento do poder de ondas teta [2,3,4] e delta [5] e uma diminuição do poder beta [2] em crianças, além de uma maior produção de energia de ondas lentas em adultos [2,4]. A relação teta/beta é significativamente aumentada em pacientes com TDAH [2,4,6], mas essa relação tende a diminuir com a idade [2,4]. Tais achados podem ser considerados importantes biomarcadores para avaliação do quadro clínico dos pacientes.

Além disso, os sinais EEG podem ser utilizados para fornecimento de neurofeedback em atividades de neuromodulação da atividade cerebral [1]. Assim, busca-se que o próprio sujeito seja capaz de controlar sua atividade neural, controlando seu desempenho em determinada tarefa mental [1]. Assim, os protocolos de neurofeedback apresentam-se como uma ferramenta eficaz para auxílio do tratamento de crianças com TDAH, com reduções sustentadas dos sintomas ao longo do tempo [6,7]. Nesse contexto, buscam-se soluções que possibilitem aos pacientes com TDAH, ferramentas auxiliares no tratamento dessa condição clínica. Trabalhos envolvendo aquisição de sinais EEG para ferramentas de neurofeedback de auxílio ao tratamento clínico estão relacionados, principalmente, a apresentação do estado atual de atenção [6-8] ao paciente e à utilização de jogos para aliar diversão ao tratamento [1].

Dessa forma, visando a avaliação do estado de atenção e a geração de sinais de controle para o jogo sério, utiliza-se comumente a análise das bandas do sinal EEG. Estudos demonstraram a utilização da relação teta/beta (TBR), definida como a razão da potência teta (medida dentro da faixa de frequência de 4-7 Hz) e da potência beta (medida dentro da faixa de frequência de 12-21 Hz), como um índice de desatenção [4-9], assim como o poder beta relativo e a relação teta/(alfa + beta) [9]. Sabe-se que a atividade beta é associada à concentração ou atividade mental, enquanto a atividade teta é associada à sonolência [10], sendo tais resultados consistentes com os sintomas de desatenção exibidos no TDAH.

Sendo assim, o presente trabalho teve como principal objetivo o desenvolvimento de um sistema para controle de um jogo virtual que possibilite aos usuários o aperfeiçoamento da sua capacidade de concentração e foco em uma determinada atividade através de um feedback visual e auditivo, além de avaliação de biomarcadores associados ao TDAH. Para tanto, fez-se necessária a elaboração de um sistema portátil de aquisição sinais eletroencefalográficos, sendo estes posteriormente classificados e utilizados para controle de um personagem no jogo. Dessa forma, buscou-se uma ferramenta que possa auxiliar com aumento do entretenimento e motivação durante, principalmente, o tratamento de crianças com TDAH, visando a continuação deste de forma adequada e lúdica.

II. METODOLOGIA

Para a realização deste estudo desenvolveu-se o projeto do hardware de aquisição do sinal eletroencefalográfico, assim como o software de processamento e visualização dos dados e um jogo interativo para realização das tarefas de concentração pelo usuário. Alguns testes de verificação das funcionalidades do sistema foram realizados, para confirmar se todos os requisitos iniciais do equipamento foram satisfeitos. Os testes foram realizados por uma pessoa saudável com vista corrigida e sem diagnóstico de patologias neurológicas.

A. Hardware para aquisição do sinal

Por tratar-se do projeto de um equipamento eletromédico, necessita-se cumprir requisitos de segurança. Assim, decidiu-se por utilizar uma baixa tensão de operação e alimentar o circuito por meio de uma bateria. Estabeleceu-se assim que a fonte de alimentação teria uma tensão de saída de 5 V, corrente de saída de 250 mA, e tensão de referência em 2,5 V.

Em seguida, deu-se para a concepção das unidades componentes do equipamento de EEG. A primeira unidade definida foi o tipo de eletrodo para a aquisição dos sinais. Esses são os componentes que transformam a corrente iônica, proveniente do corpo, em corrente elétrica. Definiu-se o uso do eletrodo de Ag/AgCl, devido à suas características de baixa solubilidade em água, de estabilidade quando em contato com fluidos que possuem uma alta concentração de ânions, que é o caso da pele, e de menor geração de ruído elétrico quando comparado a outros materiais equivalentes [11].

Em seguida, definiu-se o primeiro estágio do circuito eletrônico, o amplificador de instrumentação. Esse componente amplifica a diferença entre duas tensões de entrada, mantendo uma alta razão de rejeição a sinais de modo comum (RRMC), uma elevada impedância de entrada e um ganho diferencial ajustável, funcionando de forma semelhante ao amplificador operacional (AOP), mas com ganhos menores. Para este estudo, definiu-se que o INA333 seria o adequado devido a sua elevada impedância de entrada, baixa corrente de BIAS e tensão de saída rail-to-rail [12].

No segundo estágio, projetou-se um filtro passivo passa alta de frequência de corte de 0,05 Hz, com objetivo de eliminar tensões contínuas provenientes da diferença das tensões de polarização entre os eletrodos de captação, para evitar a saturação na saída dos amplificadores secundários.

No terceiro estágio, tem-se um amplificador não-inversor realizando uma amplificação de 1000 vezes. O amplificador escolhido foi o MPC602 que possui uma baixa corrente de BIAS, tensão de saída rail-to-rail, alta RRMC (tipicamente de 90 dB), alta impedância diferencial de entrada e um ganho diferencial de 100 dB [13].

O quarto estágio, prove a eliminação de componentes de frequência não importantes para o processo. Como a faixa de interesse do sinal EEG é de 0,5 a 50 Hz, construiu-se um filtro passa-baixa ativo com frequência de corte de 50 Hz. Este filtro, ao limitar a máxima frequência do sinal de entrada no conversor A/D, evitando também o efeito aliasing. Um filtro passa-alta ativo de 0,5 Hz foi também projetado para eliminar instabilidades da interface eletrodo/pele e artefatos similares. Ambos os filtros são do tipo Butterworth de três pólos com ganho unitário.

Por fim, adotou-se o conversor ADS8344 de oito canais multiplexados e 16 bits de resolução para realizar a conversão do sinal analógico em digital. Este dispositivo trabalha com aproximação sucessiva, o que o torna rápido e preciso para este estudo [14]. A taxa de amostragem estabelecida foi de 250 Hz. Para controle das unidades de hardware e comunicação com o computador principal, utilizou-se a Plataforma Arduino Due. A comunicação do Arduino Due com o conversor AD se deu pela interface SPI e com o computador central pela interface USB.

B. Software de aquisição e classificação dos sinais

Os sinais digitalizados foram enviados ao computador central pela interface USB e capturados por uma unidade de software desenvolvida em C#. Para a classificação do estado de atenção optou-se por utilizar a Análise de Discriminante Linear, uma vez que essa técnica visa maximizar a proporção da variação entre classes e a variação dentro da classe em qualquer conjunto de dados, garantindo assim máxima separabilidade [15, 16].

Dessa forma, tal software pode ser dividido em duas etapas: treinamento do classificador e utilização do mesmo para geração dos comandos de controle para o jogo. Em ambas as etapas os sinais adquiridos são filtrados com um filtro passa-baixa (Butterworth de 3 ordem com frequência de corte de 40 Hz) e são janelados. Utilizou-se uma janela de tempo de 1,024 segundos, com sobreposição de 500 ms. Para a etapa de extração de características tem-se a opção de trabalhar com as seguintes: razão teta/beta, razão teta (beta + alpha) e potencial beta relativo, permitindo assim maior flexibilidade e adequação aos diferentes usuários. Para o treinamento coletou-se o sinal durante duas tarefas, uma de concentração e outra de relaxamento. Esses sinais são então utilizados para treinar o classificador.

Para a geração dos comandos de controle do jogo, os sinais passam por um processamento similar, ao detalhado no esquema da Figura 1, sendo estes então classificados para gerar a saída de estado de atenção ou desatenção. Os comandos enviados para o jogo foram realizados através da simulação de pressionamento de teclas distintas, uma para cada estado. Além disso, os sinais eram plotados em tempo real juntamente com a Transformada de Fourier do sinal da janela de processamento, permitindo assim uma visualização das bandas de frequência do sinal EEG em tempo real.

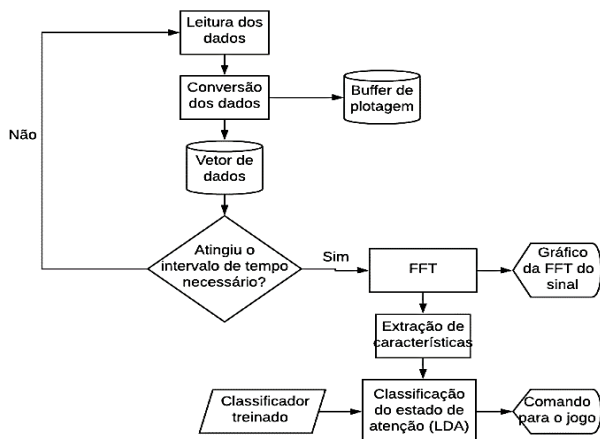


Fig. 1. Diagrama de funcionamento da etapa de processamento do sinal EEG para geração do controle do jogo.

C. Jogo sério

Os jogos sérios podem ser aplicados em diversas áreas, como: educação, saúde, treinamento militar etc, e seu uso tem se tornado cada vez mais popular no meio acadêmico e comercial. Segundo Derryberry (2008), jogos sérios se diferem de outros jogos pelo foco em um resultado de aprendizado específico e intencional para alcançar mudanças de performance e comportamento mensuráveis e continuadas [17, 18]. Assim, para o jogo proposto, primeiramente, é necessário que seja estabelecido um protocolo de treinamento, que será utilizado na classificação dos estados de atenção. Dessa forma, será garantido um feedback fidedigno ao usuário durante a realização do jogo. Para que a individualidade cerebral, com relação aos estados de atenção e relaxamento, seja respeitada, faz-se necessário treinar o classificador presente no sistema para cada usuário.

Dessa forma, seguindo o protocolo definido empiricamente para treinamento em trabalho similar [1], estabeleceu-se para o presente trabalho duas tarefas de treinamento, uma de relaxamento e outra de concentração. Definiu-se 15 segundos para cada tarefa e um intervalo de 40 segundos entre cada tarefa, totalizando 1 minuto e 10 segundos de sessão de aquisição. O tempo de cada tarefa, assim como o número de tarefas a serem realizadas pode ser alterado pelo profissional. Cada tarefa consiste em uma atividade diferente no jogo, conforme observado na Figura 2.



Fig. 2. Esquema da etapa de treinamento.

Na etapa de relaxamento, o participante deve permanecer de olhos abertos, de frente ao monitor, onde será exibido o

ambiente que compõe o fundo do jogo e o personagem, sem a necessidade de realizar ações. Já na etapa de atenção, o participante deve ser submetido a uma atividade de atenção concentrada, no qual deverá ser solicitado que ele se concentre em realizar as ações manuais, utilizando o teclado, de desvios dos inimigos que aparecerão aleatoriamente na tela, voando ao encontro do jogador. Tal protocolo poderá ser aplicado quantas vezes forem necessárias para que o classificador esteja bem treinado, possibilitando uma maior assertividade da condição dos estados mentais.

Modelou-se um diagrama de atividade do jogo sério, observado na Figura 3, a fim de especificar suas etapas de funcionamento e os comportamentos esperados. O jogo foi implementado com o auxílio da plataforma Unity, utilizando a linguagem C#, com o objetivo de proporcionar, por meio de um estímulo visual, um neurofeedback ao usuário a respeito do seu estado de atenção. Após o sinal eletroencefalográfico passar pelo software de classificação em tempo real, o software do jogo receberá do primeiro o estado no qual o usuário se encontra. A partir disto, se desencadeará uma ação no jogo, que deve ser positiva, caso o participante esteja concentrado e negativa, caso contrário. Essas ações correspondem, respectivamente, ao desvio do jogador do inimigos, marcando pontos, ou o não desvio e, conseqüentemente a perda de pontos.

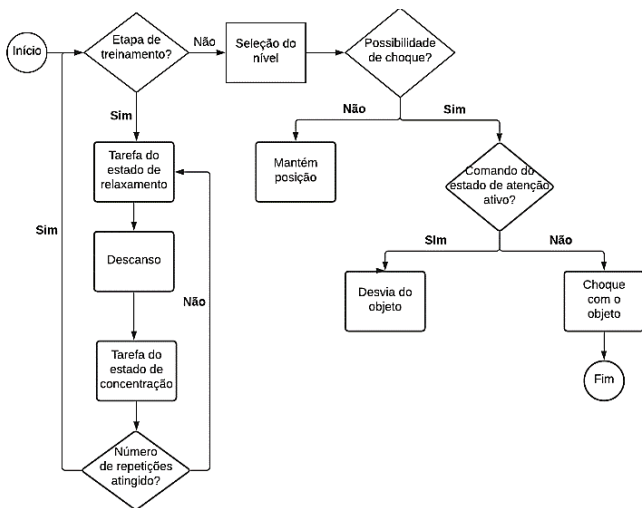


Fig. 3. Diagrama de funcionamento do jogo sério.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A placa de circuito impressa referente ao eletroencefalograma foi construída e testada com sucesso. A Figura 4 apresenta o sistema elaborado para a placa de alimentação, enquanto a Figura 5 representa o eletroencefalograma de um canal construído. O sinal EEG foi adquirido utilizando uma frequência de amostragem de 250 Hz. O sistema foi utilizado com o eletrodo posicionado na posição Cz e Fz para teste das funcionalidades.

A partir da aquisição dos sinais foi possível sua digitalização e envio através da porta serial para o software de processamento. A Figura 6 apresenta a tela de interface do software. Através dela é possível realizar a seleção da característica a ser utilizada para classificação do estado de

atenção, treinamento do classificador seguindo o protocolo de estado de relaxamento e atenção e processamento do sinal em tempo real para envio do comando para o jogo.

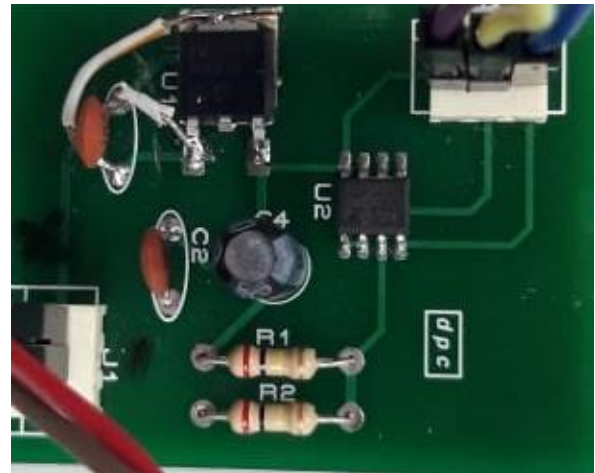


Fig. 4. Hardware da fonte utilizada.

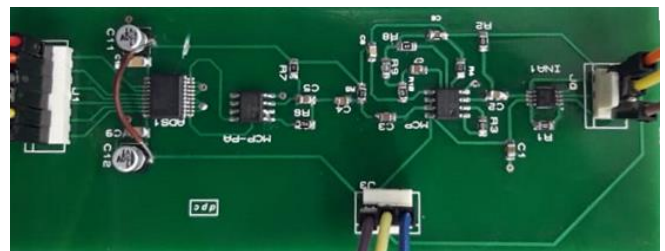


Fig. 5. Hardware do EEG utilizado.

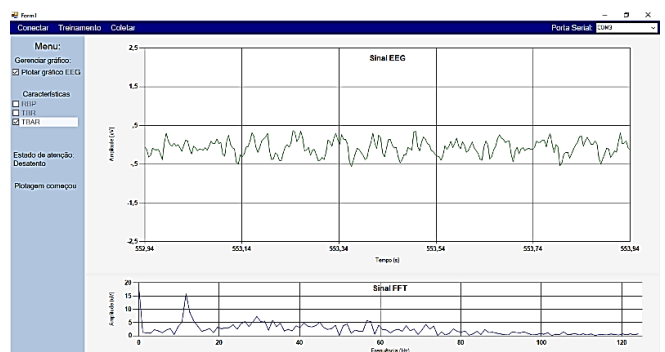


Fig. 6. Interface principal e de plotagem do software de processamento

O jogo possui seis cenas, sendo estas: o menu principal; a seleção de níveis; o treinamento; o nível 1; o nível 2 e o nível 3, como representadas na Figura 7. O jogo apresentou funcionamento conforme o esperado. Durante a realização das tarefas, quando em comunicação com o software de processamento, o jogo recebe comandos que indicam o início das tarefas de concentração e de relaxamento, além das variáveis que indicam estado mental de atenção e desatenção, respondendo a estas de forma adequada. Dessa forma, foi possível controlar o personagem através da manutenção do estado de atenção e foco na tarefa a ser realizada. O personagem colide com os obstáculos quando não era mantida a atenção no jogo, conforme os dados coletados.

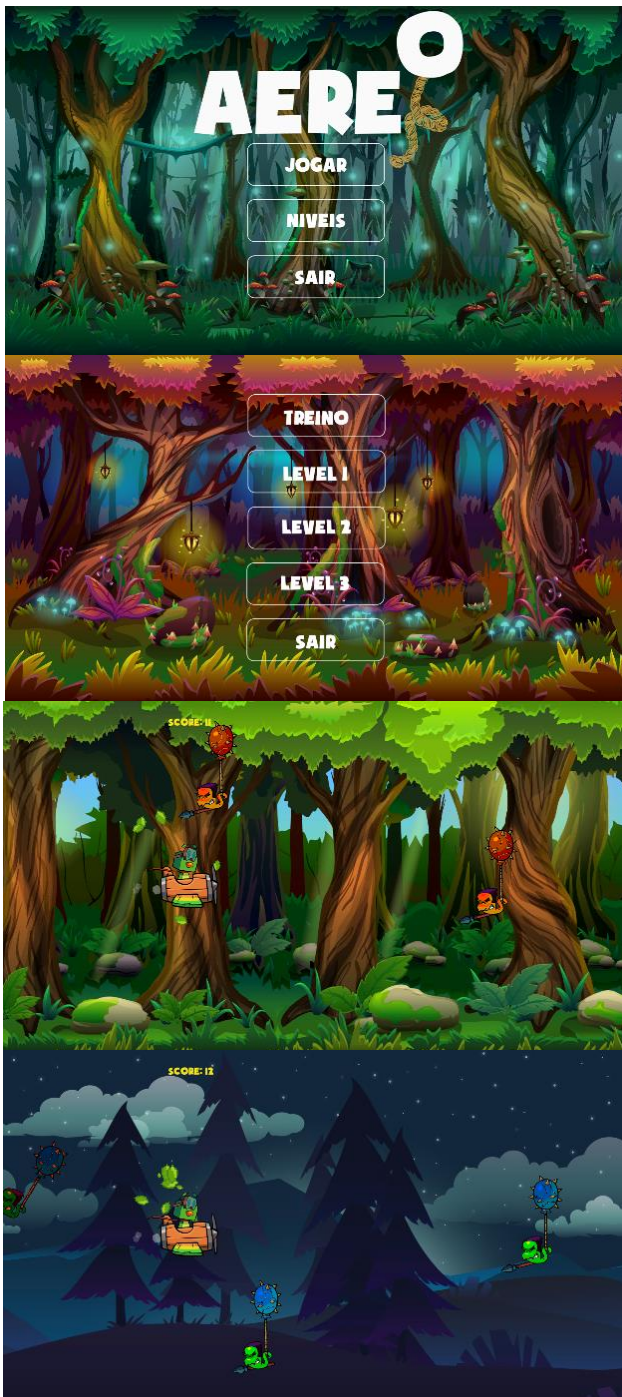


Fig. 7. Cena de menu principal, cena de seleção de níveis, cena do nível 2 e cena do nível 3.

Sabe-se que, atualmente, os protocolos padrões para tratamentos com neurofeedback em pacientes com TDAH utilizam a razão teta/beta, potencial cortical lento ou ritmo sensório-motor [6]. A aplicação de tais protocolos em crianças com TDAH resultam em benefícios clínicos consistentes na literatura, tal como a redução sustentada de sintomas como inatenção [6]. Dessa forma, o jogo proposto visa aliar um protocolo de neurofeedback a uma atividade lúdica, visando aprimorar a experiência do usuário na realização de suas atividades de tratamento. Além disso, os dados coletados podem ser utilizados como importantes biomarcadores a serem avaliados por profissionais de saúde, permitindo assim um melhor acompanhamento do paciente.

As terapias envolvendo jogos tendem a engajar os pacientes, além de apresentar uma maior possibilidade de aliar lazer e tratamento. Dessa forma, observa-se uma maior motivação do paciente, sendo esse um fator chave para aumentar a participação, levando assim a uma melhora dos resultados alcançados [19]. Com o aumento da pontuação, o jogo apresentava mensagens de estímulo e felicitação para o jogador. Além do feedback imersivo promovido pelo próprio jogo em si, as mensagens positivas e de incentivo podem facilitar o aprendizado, assim como diminuir o nervosismo e aumentar o foco na tarefa [20]. Portanto, os jogos sérios, tal como o jogo proposto, podem ser importantes aliados no tratamento de pacientes com TDAH, especialmente crianças, as quais já tendem a possuir um grande interesse por jogos e interfaces visuais interativas e de visual agradável, assim como a interface elaborada para o jogo proposto.

IV. CONCLUSÕES

O eletroencefalograma é um equipamento de extrema importância no contexto clínico por fornecer informações acerca da atividade elétrica do córtex cerebral. Assim, sua análise pode proporcionar estudos e aplicações em benefício da saúde do indivíduo, como é o caso da utilização dos sinais EEG para fornecimento de neurofeedback com atividades de neuromodulação da atividade cerebral no presente trabalho.

Com um foco nos transtornos de atenção, o sistema de processamento e classificação de sinais bem como o jogo sério desenvolvidos visam auxiliar o usuário a conseguir estados de atenção e concentração mais elevados. Dessa forma, busca-se possibilitar uma diminuição dos efeitos de hiperatividade e desatenção, aprimorando assim a qualidade de vida do paciente.

REREFÊNCIAS

- [1] W. D. Casagrande, Identificação de estado mental de atenção através do EEG para treinamento com neurofeedback. 2019. 73 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória - ES , 2019.
- [2] S. M. Bresnahan, R. J. Barry. Specificity of quantitative EEG analysis in adults with attention deficit hyperactivity disorder. *Psychiatry research*, v. 112, n. 2, p. 133-144, 2002.
- [3] A. R. Clarke et al. EEG development in attention deficit hyperactivity disorder: from child to adult. *Clinical Neurophysiology*, v. 130, n. 8, p. 1256-1262, 2019.
- [4] P. T. Santos, I. D. Francke. O transtorno déficit de atenção e os seus aspectos comportamentais e neuro-anatomo-fisiológicos: uma narrativa para auxiliar o entendimento ampliado do TDAH. 2017.
- [5] S. Markovska-Simoska, N. Pop-Jordanova. Quantitative EEG in children and adults with attention deficit hyperactivity disorder: comparison of absolute and relative power spectra and theta/beta ratio. *Clinical EEG and neuroscience*, v. 48, n. 1, p. 20-32, 2017.
- [6] J. Van Doren et al. Sustained effects of neurofeedback in ADHD: a systematic review and meta-analysis. *European child & adolescent psychiatry*, v. 28, n. 3, p. 293-305, 2019.
- [7] M. Ams, H. Heinrich, U. Strehl. Evaluation of neurofeedback in ADHD: the long and winding road. *Biological psychology*, v. 95, p. 108-115, 2014.
- [8] S. C. Limonge, Sistema de neurofeedback para controle de um atuador para auxílio na identificação dos níveis de concentração. 2015. 81 f.

Trabalho de Conclusão de Curso - Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Brasília - DF, 2.

- [9] C. G. Lim et al. A brain-computer interface based attention training program for treating attention deficit hyperactivity disorder. *PloS one*, v. 7, n. 10, p. e46692, 2012.
- [10] F. Fahimi et al. Personalized features for attention detection in children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder. In: 2017 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). IEEE, 2017. p. 414-417.
- [11] J. G. Webster (Ed.). *Medical instrumentation: application and design*. John Wiley & Sons, 2009.
- [12] Texas Instruments. Datasheet: INA333 Micro-Power (50 μ A), Zero-Drift, Rail-to-Rail Out Instrumentation Amplifier. Electronic Publication, 2015.
- [13] Microchip. Datasheet: MCP601/1R/2/3/4. Electronic Publication, 2007.
- [14] Texas Instruments. Datasheet: 16-Bit, 8-Channel Serial Output Sampling analog-to-digital converter. Electronic Publication, 2006.
- [15] A. Tharwat et al. Linear discriminant analysis: A detailed tutorial. *AI communications*, v. 30, n. 2, p. 169-190, 2017.
- [16] L. R. M. Paiva. Caracterização da atividade eletroencefalográfica em diferentes faixas etárias, por meio da análise discriminante linear. 2012. 99 f. Tese (Doutorado em Engenharias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.
- [17] R. S. Cavalcante, Desenvolvimento de um jogo sério para treinamento de amputados de membros superiores. 2018. 79 f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG, 2018.
- [18] K. Mitgutsch, N. Alvarado. Purposeful by design? A serious game design assessment framework. *Proc. Int. Conf. on the Foundations of Digital Games*, pp. 121–128, 2012.
- [19] L. Y. Joo et al. A feasibility study using interactive commercial off-the-shelf computer gaming in upper limb rehabilitation in patients after stroke. *Journal of rehabilitation medicine*, v. 42, n. 5, p. 437-441, 2010.
- [20] G. Wulf, S. Chiviacowsky, and P. L. Cardozo. "Additive benefits of autonomy support and enhanced expectancies for motor learning." *Human movement science* 37 (2014): 12-20.