

16º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP – 2025

André L. Sclaunik¹, Márcio B. Machado²

Interface cérebro-máquina baseada em EEG visando aplicações assistivas controladas por sinais neuronais

RESUMO: As Interfaces Cérebro-Máquina (ICMs) têm o potencial de melhorar a qualidade de vida de pessoas com deficiências motoras, permitindo que elas controlem dispositivos eletrônicos diretamente com seus sinais cerebrais. No entanto, muitos sistemas comerciais são de custo elevados e inacessíveis para a maioria dos usuários, especialmente em se tratando de tecnologia assistiva. Neste projeto, é proposto o desenvolvimento de uma ICM de baixo custo, com foco na aquisição, processamento e amplificação do sinal de eletroencefalograma (EEG). Para tal, pretende-se a busca e o desenvolvimento de um protótipo composto por um *front-end* analógico otimizado e por uma topologia com um número reduzidos de eletrodos, permitindo o seu uso em dispositivos eletrônicos vestíveis de controle de objetos assistivos pelo pensamento.

PALAVRAS-CHAVE: EEG; Interface Cérebro-Máquina; Tecnologia Assistiva; Baixo custo

EEG-based brain-computer interface for assistive applications controlled by neural signals

ABSTRACT: Brain-Computer Interfaces (BCIs) have the potential to improve the quality of life for individuals with motor disabilities by enabling them to control electronic devices directly through their brain signals. However, many commercial systems are expensive and inaccessible to most users, especially when it comes to assistive technology.

This project proposes the development of a low-cost BCI focused on the acquisition, processing, and amplification of electroencephalogram (EEG) signals. To achieve this, the goal is to research and develop a prototype composed of an optimized analog front-end and a topology with a reduced number of electrodes, allowing its use in wearable electronic devices for controlling assistive objects through thought.

KEYWORDS: EEG; Brain-Computer Interface; Assistive Technology; Low cost

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por tecnologias assistivas e a popularização das interfaces cérebro-máquina (ICM) têm impulsionado pesquisas voltadas à inclusão e ao desenvolvimento de soluções acessíveis para pessoas com déficits motores. As ICMs são dispositivos capazes de interpretar sinais eletroencefalográficos (EEG) e traduzi-los em comandos para controlar dispositivos externos, permitindo desde o monitoramento em tempo real da atividade cerebral até a execução de tarefas multisensoriais.

Segundo a Organização Mundial da Saúde (2022), aproximadamente 2,5 bilhões de pessoas necessitam de um ou mais produtos assistivos, com projeção de crescimento para 3,5 bilhões até 2050. Diante desse cenário, torna-se cada vez mais urgente o desenvolvimento de sistemas que apoiem indivíduos com limitações na comunicação e na mobilidade.

Diversos estudos têm explorado o uso de ICMs associadas à inteligência artificial para criar soluções inovadoras. Giudice (2020) e Sindhuja (2021) propuseram sistemas capazes de reconhecer, respectivamente, piscadas oculares e intenções de movimento em usuários de cadeiras de rodas. Romero-Laisecca (2020) desenvolveu uma tecnologia assistiva baseada em EEG para pessoas com debilidades nos membros inferiores, enquanto Yan (2022) investigou o registro da atividade cerebral com foco em aplicações assistivas.

Neste contexto, este trabalho propõe o desenvolvimento de um hardware de aquisição de sinais EEG de baixo custo, com potencial para aplicações em tecnologias assistivas. Para isso, é fundamental

compreender as bandas de frequência envolvidas na atividade elétrica cerebral. Na figura 1 abaixo, é ilustrado as principais bandas de frequência de um sinal de EEG apresentado por Amer (2023), onde suas características podem ser vistas conforme a tabela 1.

FIGURA 1. Sinal de EEG bruto e suas principais bandas de frequência

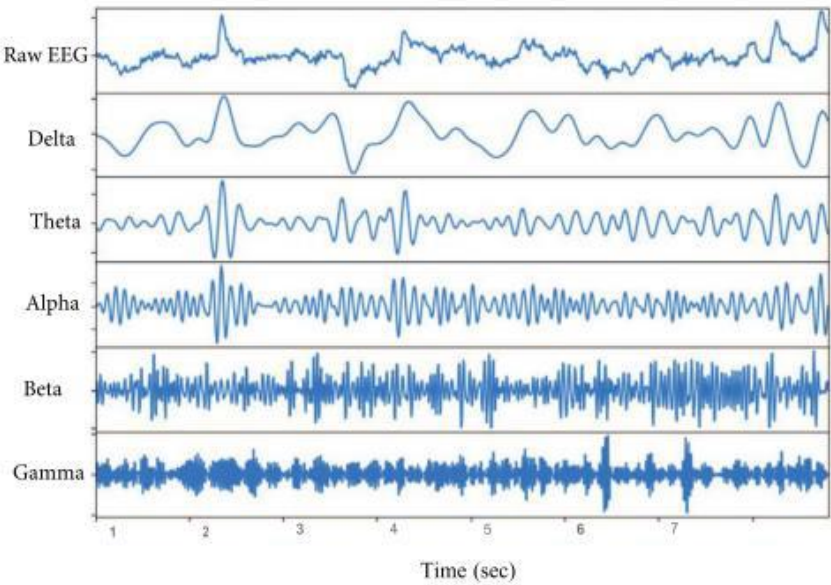


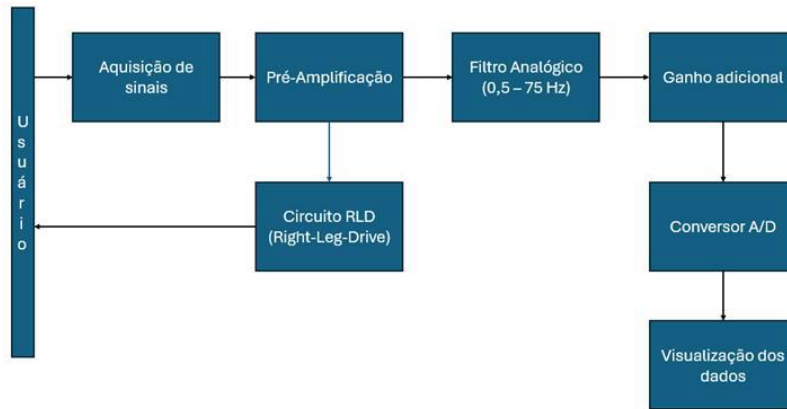
TABELA 1. As cinco principais bandas de frequência de EEG

Ondas	Banda de frequência [Hz]	Estado cerebral
Delta	0.5 - 4	Sono profundo, sonhando.
Theta	4 - 8	Pensamento criativo, estresse, meditação profunda.
Alpha	8 - 12	Estado mental calmo, relaxação, descanso.
Beta	12 - 30	Atividade mental agitada, atenção, coordenação
Gama	>30	Funções motoras, resolução de problemas, concentração, tarefas simultâneas.

MATERIAL E MÉTODOS

Essa etapa descreve a metodologia utilizada para realizar o projeto proposto. Para isso, o projeto se dividiu nos seguintes blocos descritos pela figura 2: Aquisição de sinais, pré-amplificação, filtragem analógica, etapa de ganho adicional, conversão A/D, circuito right-leg-drive e a visualização dos dados no computador.

FIGURA 2. Diagrama de blocos do sistema proposto



Amplificação

Nesta etapa, utilizou-se o amplificador de instrumentação INA118P com ganho de 30 dB, devido à sua alta rejeição de modo comum e baixo ruído, ideal para sinais bio potenciais. O ganho do amplificador pode ser calculado pela equação 1 conforme fabricante Texas Instruments (2000). Ainda se tratando de ganho de sinal, foi implementado uma etapa de ganho adicional de 20 dB, a fins de descentralizar o ganho de uma única etapa e fazer o INA118P trabalhar em melhores condições em relação ao ruído de entrada e saturação.

$$G = 1 + \frac{50\text{ k}\Omega}{R_G} \quad (1)$$

Em que,

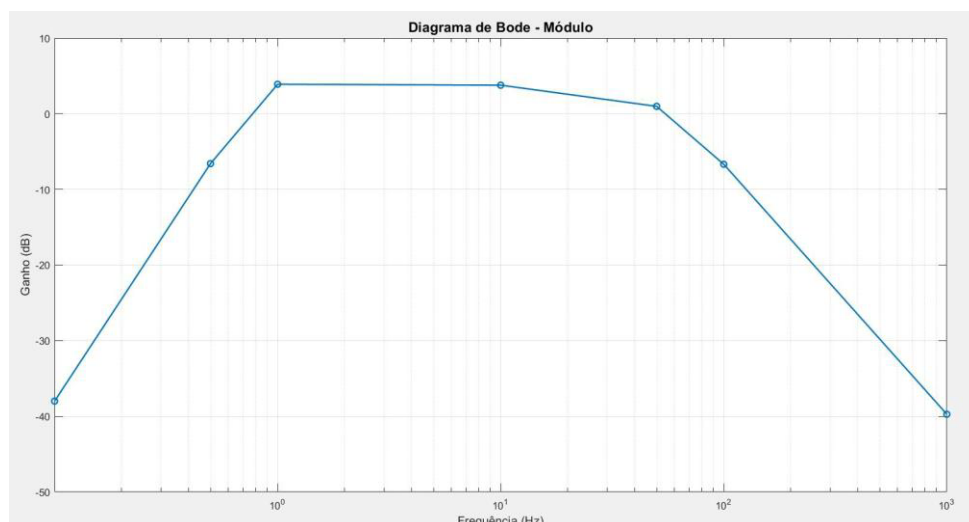
G – Ganho do INA118P

R_G – Resistor de ganho [Ω]

Filtros Analógicos

O EEG contém componentes de baixa frequência (abaixo de 100 Hz), sendo necessário um filtro passa-baixa para eliminar ruídos de alta frequência e um filtro passa-alta para remover componentes de muito baixa frequência ($< 0,5$ Hz), como variações lentas na impedância dos eletrodos ou artefatos fisiológicos (Kang et al., 2014; Ansari et al., 2023; Li et al., 2021). Para isso, filtros ativos do tipo passa baixa e passa alta do tipo Butterworth de 2ª ordem com ganho de 3 dB foram implementados e validados por meio de sua resposta em frequência conforme figura 3 abaixo e com o uso do MATLAB.

FIGURA 3. Resposta em frequência dos filtros analógicos



Right Leg Drive (RLD)

O circuito Right Leg Drive (RLD) foi empregado para reduzir o ruído de modo comum (Texas Instruments, 2000), realimentando um sinal inverso ao ruído captado, garantindo uma melhor relação sinal-ruído. Esse circuito ajuda a minimizar interferências da rede elétrica e outras fontes externas sendo ligado ao usuário conforme a figura 4.

Nesta etapa, realizou-se a simulação do circuito completo do sistema proposto, conforme figura 5, a fins de avaliar o funcionamento dos blocos em conjunto por meio da simulação em AC no LTSpice.

A validação do sistema proposto foi realizada por meio da análise da resposta em frequência do circuito completo, tanto em ambiente simulado quanto experimental, cujo ambos os resultados podem ser vistos nas figuras 6 e 7 respectivamente. A simulação foi conduzida no software LTSpice, utilizando análise em AC para verificar o comportamento dos blocos de amplificação, filtragem e circuito RLD. Os resultados simulados mostraram conformidade com os parâmetros teóricos definidos na etapa de projeto, especialmente em relação às faixas de corte dos filtros Butterworth de 2ª ordem.

Embora a etapa de digitalização do sinal não tenha sido implementada neste trabalho, o caminho para essa funcionalidade já está preparado. A PCB projetada inclui o roteamento das trilhas para o conversor analógico-digital (ADC) do microcontrolador ESP32, que está devidamente alimentado e conectado, permitindo futuras integrações com sistemas de processamento digital e visualização de dados.

FIGURA 6.

Resposta em frequência em simulação no LTSpice

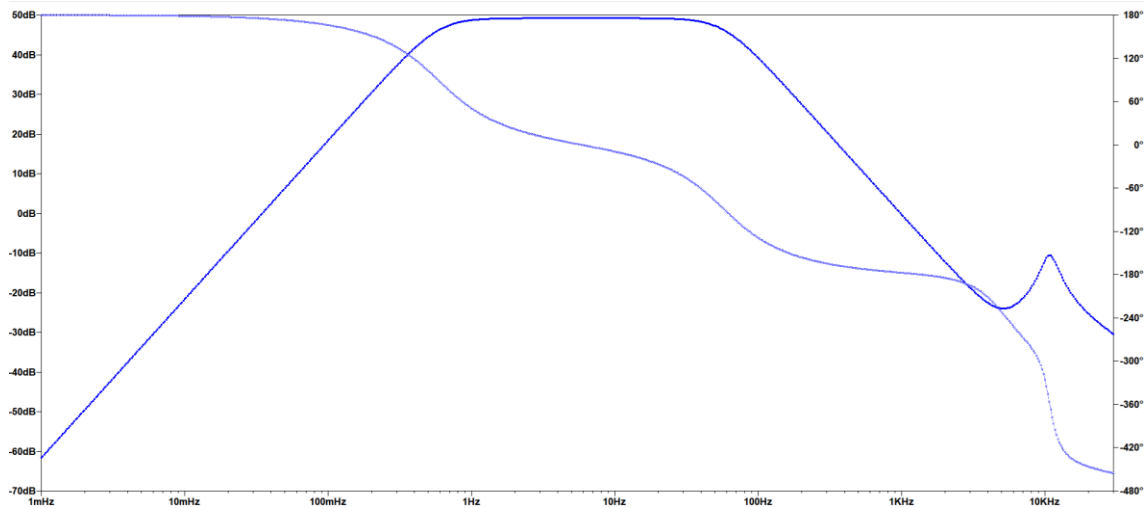


FIGURA 7.

Resposta em frequência experimental do sistema

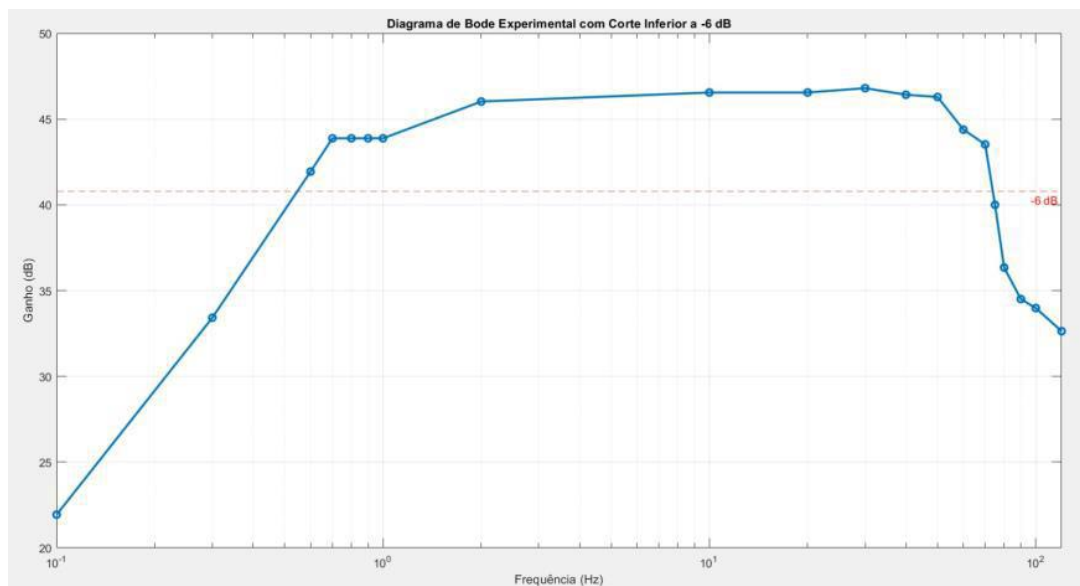
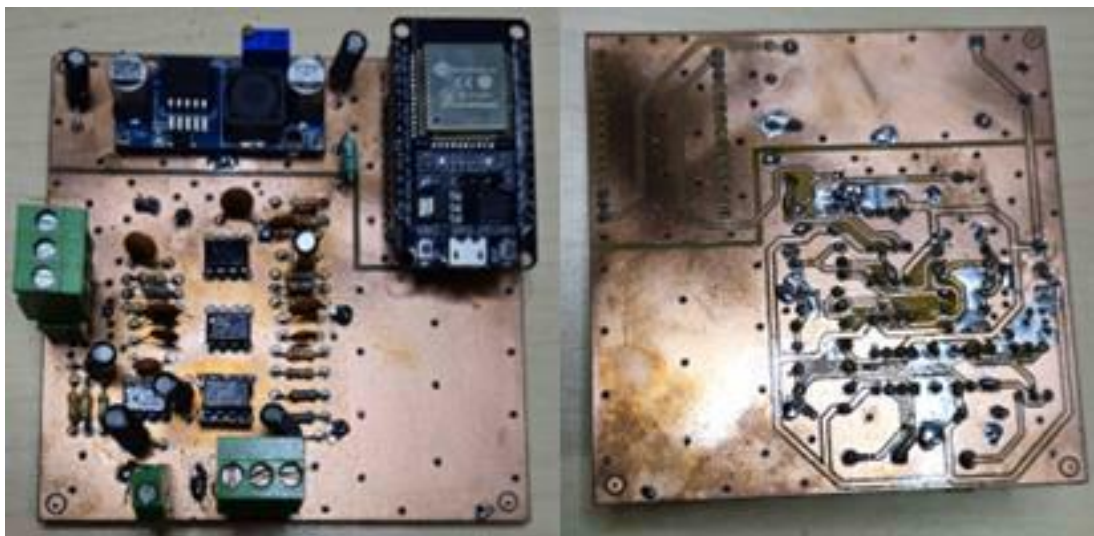


FIGURA 8.

Placa de circuito impresso do sistema desenvolvido



CONCLUSÕES

O sistema proposto demonstrou viabilidade técnica e potencial para aplicações assistivas, especialmente no contexto de aquisição de sinais EEG de baixo custo. A análise da resposta em frequência, tanto simulada quanto experimental, evidenciou a eficiência dos blocos de amplificação, filtragem e circuito RLD, com resultados consistentes entre teoria e prática. A utilização da placa de circuito impresso

(PCB) desenvolvida foi essencial para validar o desempenho do sistema em ambiente real.

Embora a etapa de digitalização não tenha sido implementada neste trabalho, o projeto já contempla essa funcionalidade. A PCB foi cuidadosamente roteada para integrar o conversor analógico-digital (ADC) do microcontrolador ESP32, permitindo futuras expansões para processamento digital e visualização dos sinais.

Como trabalhos futuros, propõe-se a captação de sinais EEG reais e o desenvolvimento de algoritmos de processamento digital voltados a aplicações assistivas, como controle de dispositivos por meio de atividade cerebral. Para isso, será necessária a aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa, uma vez que os testes envolverão participação de seres humanos, respeitando os princípios éticos e legais vigentes.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

A.L.S contribuiu com conceituação, metodologia, coleta de dados, análise formal, investigação, redação – rascunho original, visualização. Andre foi o principal responsável pela execução da pesquisa, desde a concepção do estudo até a análise dos dados e redação inicial do artigo.

M.B.M contribuiu com supervisão, validação, recursos, redação – revisão e edição, administração do projeto. Márcio atuou como orientador da iniciação científica, contribuindo com orientação técnica, revisão crítica do manuscrito e suporte institucional.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro, que foi essencial para a realização desse projeto.

REFERÊNCIAS

AMER, Nisreen Said; BELHAOUARI, Samir Brahim. EEG Signal Processing for Medical Diagnosis, Healthcare, and Monitoring: A Comprehensive Review. *IEEE Access*, v. 11, p. 143116–143142, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3341419>. Acesso em: 11 set. 2025.

ANSARI, N. et al. (2023). Automatic removal of ocular and cardiac artifacts via adaptive noise cancellation. *IEEE REEDCON*.

Brasil.un.org. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/182189-cerca-de-um-bilhão-de-pessoas-com-deficiência-têm-acesso-negado-tecnologia-assistiva>>. Acesso em: 17 ago. 2025.

KANG, J.-S. et al. (2014). Adaptive EEG noise filtering for coherence analysis. *IEEE BCI*.

LI, Q. et al. (2021). Ocular artifact removal algorithm of single channel EEG. *IEEE ICSIP*.

LO GIUDICE, M. et al. 1D Convolutional Neural Network approach to classify voluntary eye blinks in EEG signals for BCI applications. In: 2020 INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON NEURAL NETWORKS (IJCNN), 2020, Glasgow, UK. Proceedings [...]. Glasgow: IEEE, 2020. p. 1-7. doi: 10.1109/IJCNN48605.2020.9207195.

ROMERO-LAISECA, M. A. et al. A Low-Cost Lower-Limb Brain-Machine Interface Triggered by Pedaling Motor Imagery for Post-Stroke Patients Rehabilitation. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, v. 28, n. 4, p. 988-996, abr. 2020. doi: 10.1109/TNSRE.2020.2974056.

SINDHUJA.R et al. “Simulation And Modelling of BCI Based Multi Purpose Wheel Chair For Paralysed People.” *Journal of physics. Conference series* 1937.1 (2021): 12048. Print.

TEXAS INSTRUMENTS. *INA118 Precision, Low-Power Instrumentation Amplifier datasheet (Rev. C)*. Disponível em: <https://www.ti.com/product/INA118>. Acesso em: 17 ago. 2025.

YAN, T. et al. Intracranial EEG Recordings of High-Frequency Activity From a Wireless Implantable BMI Device in Awake Nonhuman Primates. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, v. 70, n. 4, p. 1107-1113, abr. 2023. doi: 10.1109/TBME.2022.3210286.