Anais do Congresso Brasileiro de Iniciação Científica
(https://periodicos.unisanta.br/COB)

ISSN 2317-1316

DISPOSITIVO DE ELETROMIOGRAFIA DE SUPERFÍCIE DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAMENTO EM TEMPO REAL DA ATIVAÇÃO DE MÚSCULOS ALVO E COMPENSATÓRIOS

LOW-COST SURFACE ELECTROMYOGRAPHY DEVICE FOR REAL-TIME MONITORING OF TARGET AND COMPENSATORY MUSCLE ACTIVATION

Lucas dos Santos Mato Grosso, Matheus Moraes Pereira, Cauan Maldi Camargo, Gustavo da Fonseca Silveira, Felipe Tadeu Meyer de Sá, Douglas Vaz de Oliveira Bogue, Kelly Cristina Abou Arabi de Mendonça, Nina Maria Bueno.

Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia, Curso de Engenharia da Computação
E-mail para contato: lg257332@alunos.unisanta.br

RESUMO – Este trabalho apresenta um dispositivo de eletromiografia de superfície (sEMG) de baixo custo para o monitoramento em tempo real da ativação muscular, com foco na comparação entre o músculo alvo de um exercício e músculos compensatórios. O sistema integra módulos sensores sEMG, eletrodos de superfície e um microcontrolador ESP32 alimentado por bateria, que transmite os dados via WebSocket para uma interface web acessada por Wi-Fi. A placa foi projetada no KiCad e o firmware, na Arduino IDE. Os ensaios demonstraram que o sistema distingue repouso e contração muscular, com transmissão contínua dos dados, constituindo alternativa acessível para ensino, pesquisa e biofeedback.

Palavras-chave: Eletromiografia de superfície; ESP32; Ativação muscular; Biofeedback; Baixo custo.

ABSTRACT – This paper presents a low-cost surface electromyography (sEMG) device for real-time monitoring of muscle activation, focusing on the comparison between the target muscle of an exercise and compensatory muscles. The system integrates sEMG sensor modules, surface electrodes and a battery-powered ESP32 microcontroller, which streams data via WebSocket to a web interface accessed over Wi-Fi. The board was designed in KiCad and the firmware in the Arduino IDE. Tests showed that the system distinguishes rest from muscle contraction, with continuous data transmission, providing an accessible alternative for teaching, research and biofeedback.

Keywords: Surface electromyography; ESP32; Muscle activation; Biofeedback; Low cost.

ISSN 2317-1316

1 INTRODUÇÃO

A avaliação da ativação muscular é fundamental em áreas como fisioterapia, educação física e reabilitação. Tradicionalmente, ela é realizada com equipamentos clínicos de eletroneuromiografia (ENMG) ou de eletromiografia de superfície (sEMG) de uso profissional, que apresentam custo elevado e operação complexa, o que limita seu uso no ensino e em pesquisas de caráter exploratório. A sEMG registra, por meio de eletrodos posicionados sobre a pele, a atividade elétrica gerada pelas unidades motoras durante a contração, e a amplitude desse sinal está relacionada ao recrutamento de fibras musculares (DE LUCA, 1997; MERLETTI; FARINA, 2016).

Em exercícios de força e em protocolos de reabilitação, é comum que músculos auxiliares assumam parte do esforço que deveria ser realizado pelo músculo alvo, o que reduz a eficácia do movimento e pode favorecer padrões compensatórios. Estudos indicam que direcionar a atenção ao músculo trabalhado altera sua ativação (CALATAYUD et al., 2016), e o biofeedback eletromiográfico, que apresenta ao usuário a atividade muscular em tempo real, é reconhecido como recurso de apoio à reabilitação (GIGGINS; PERSSON; CAULFIELD, 2013).

Microcontroladores com conectividade sem fio, como o ESP32, e módulos sensores de sEMG de baixo custo viabilizam o desenvolvimento de sistemas portáteis para esse fim. Fuentes del Toro et al. (2019), por exemplo, compararam um sistema de EMG de baixo custo com um equipamento comercial e obtiveram resultados compatíveis para a detecção da ativação muscular. Ainda são escassas, porém, propostas que integrem aquisição sEMG, transmissão sem fio e uma interface de visualização simples, capaz de comparar simultaneamente a atividade do músculo alvo e de um músculo compensatório.

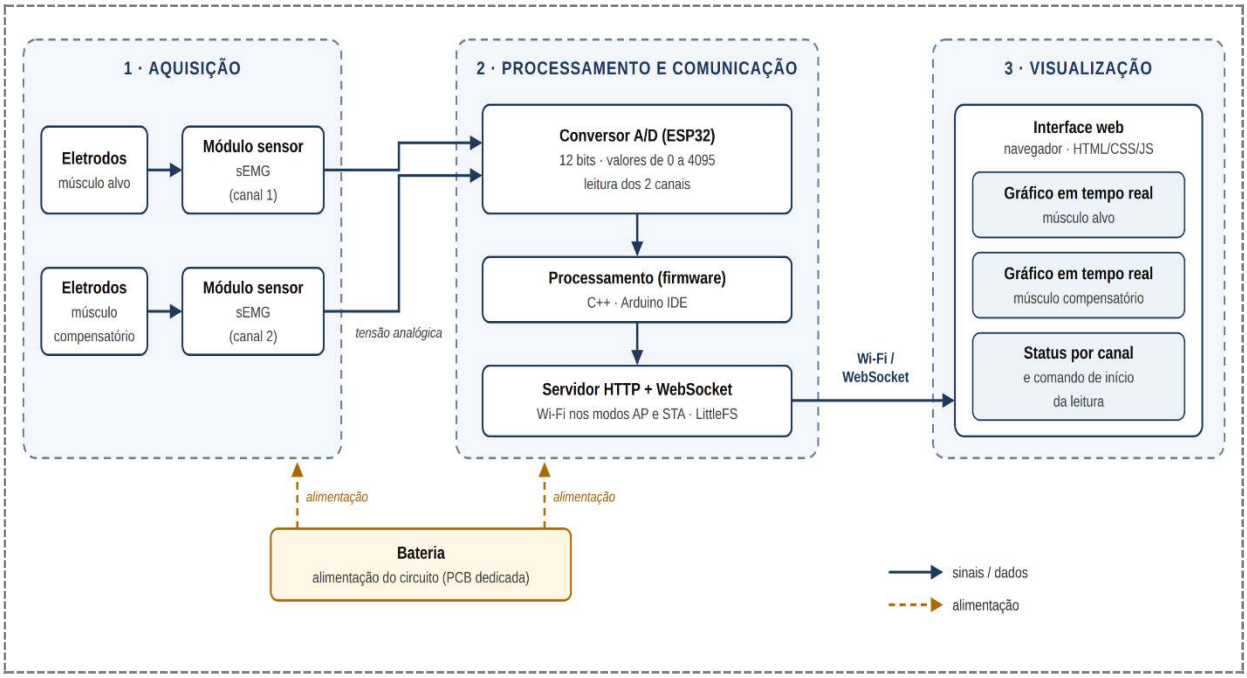
Diante desse cenário, o objetivo deste trabalho é desenvolver um dispositivo de sEMG de baixo custo que capture os sinais elétricos da contração muscular, processe-os e os exiba em tempo real em uma interface web, permitindo a distinção entre repouso e contração e a comparação da ativação entre o músculo alvo e o músculo compensatório. O dispositivo destina-se a contextos não clínicos — ensino de fisiologia e biomecânica, pesquisas exploratórias em controle motor e atividades de biofeedback —, sem finalidade diagnóstica.

ISSN 2317-1316

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema foi organizado em três blocos, conforme a Figura 1: aquisição, composta por eletrodos de superfície e módulos sensores sEMG; processamento e comunicação, realizados pelo microcontrolador ESP32; e visualização, por meio de uma interface web acessada pelo navegador. Os principais componentes empregados foram uma placa ESP32 DEVKITV1, módulos sensores sEMG genéricos, eletrodos de superfície descartáveis e duas baterias 9V de lítio recarregáveis montados em uma placa de circuito impresso dedicada.

Figura 1 – Diagrama de blocos do sistema



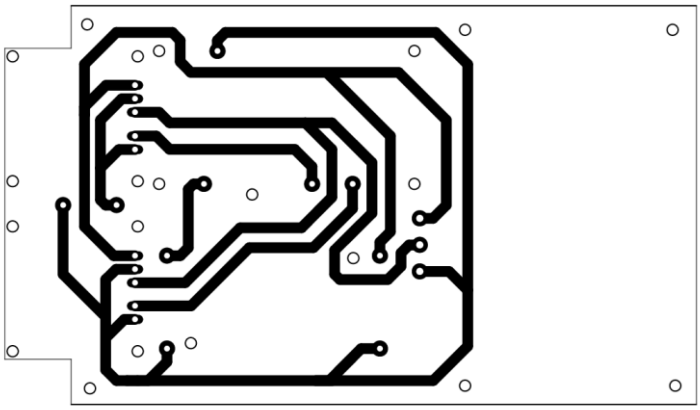
Fonte: Autores (2026).

O ESP32 foi escolhido por reunir, em uma única placa, capacidade de processamento adequada, conversor analógico-digital de 12 bits — que representa as leituras em valores de 0 a 4095 — e Wi-Fi integrado (ESPRESSIF SYSTEMS, 2023), o que dispensa componentes adicionais de comunicação e reduz o custo do projeto. Os módulos sensores sEMG amplificam e condicionam o sinal captado pelos eletrodos, entregando ao ESP32 uma tensão analógica proporcional à atividade muscular, lida a uma taxa de 20 amostras por segundo. Foram utilizados eletrodos de superfície por sua compatibilidade com os módulos, simplicidade de uso e caráter não invasivo.

ISSN 2317-1316

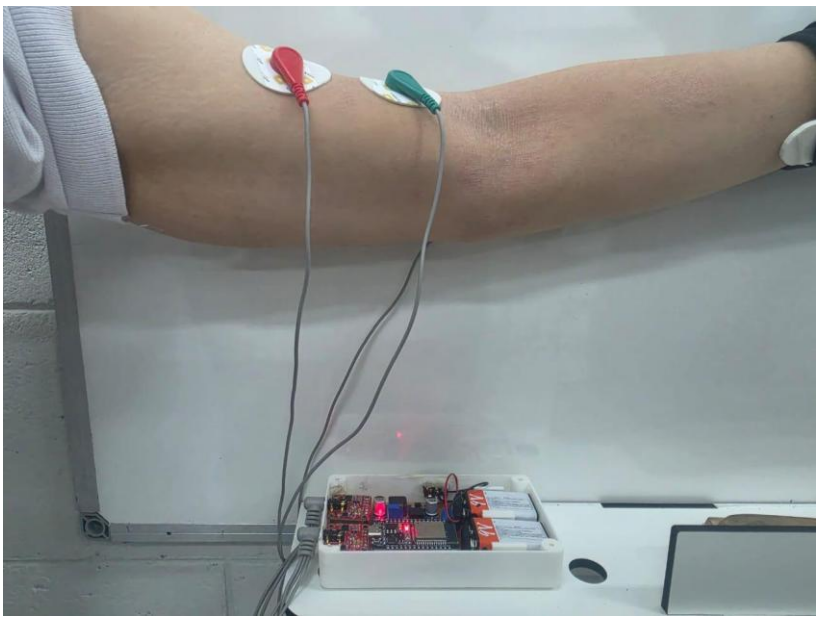
O circuito foi desenvolvido no software KiCad, empregado na elaboração do esquemático elétrico e no roteamento da placa de circuito impresso (PCB), cujo layout é apresentado na Figura 2. A placa reúne as conexões entre os módulos sensores, o ESP32 e a alimentação, o que torna a montagem mais organizada e menos suscetível a mau contato e a ruídos. O protótipo montado e o posicionamento dos eletrodos são mostrados na Figura 3.

Figura 2 – Layout da placa de circuito impresso desenvolvida no KiCad



Fonte: Autores (2026).

Figura 3 – Protótipo montado e posicionamento dos eletrodos



Fonte: Autores (2026).

ISSN 2317-1316

Para melhorar a qualidade do sinal, adotaram-se a limpeza da pele e o posicionamento dos eletrodos sobre o ventre muscular, alinhados às fibras, conforme as recomendações do projeto SENIAM (HERMENS et al., 2000). Nos ensaios, o canal do músculo alvo foi posicionado sobre o bíceps braquial e o canal compensatório, sobre o tríceps braquial. A alimentação por bateria, em vez de fonte conectada à rede elétrica, contribuiu para reduzir interferências de 60 Hz, tornou o dispositivo portátil e eliminou o risco de conexão do usuário à rede durante o uso.

O firmware foi desenvolvido em C++ na Arduino IDE, com as bibliotecas listadas na Tabela 1. O ESP32 hospeda os arquivos da interface (HTML, CSS e JavaScript) em seu próprio sistema de arquivos, disponibiliza-os por um servidor HTTP e envia as leituras dos sensores ao navegador por meio do protocolo WebSocket, que mantém uma conexão bidirecional e persistente entre cliente e servidor (FETTE; MELNIKOV, 2011). A interface recebe esses valores e atualiza continuamente um gráfico para cada canal.

Tabela 1 – Bibliotecas utilizadas no firmware do ESP32

Biblioteca	Função no sistema
WiFi.h	Gerenciamento do Wi-Fi do ESP32 nos modos ponto de acesso (AP) e estação (STA)
WebServer.h	Criação do servidor HTTP que disponibiliza as páginas do sistema
WebSocketsServer.h	Envio dos valores de sEMG em tempo real para a interface web
LittleFS.h	Armazenamento dos arquivos da interface (index.html, style.css, script.js e imagens) na memória do ESP32

Fonte: Autores (2026).

Os ensaios foram realizados pelos próprios autores, em contexto não clínico, alternando períodos de repouso e de contração voluntária do músculo alvo, com observação simultânea do canal compensatório, a fim de verificar a distinção entre os estados, a resposta da interface e a estabilidade da transmissão dos dados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema desenvolvido permitiu a captação, o processamento e a visualização em tempo real dos sinais de ativação muscular, atendendo aos objetivos propostos. A interface web, apresentada na Figura 4, recebe os dados transmitidos pelo ESP32 e exibe dois gráficos lado a

ISSN 2317-1316

lado — músculo alvo e músculo compensatório —, com a intensidade da atividade muscular ao longo do tempo na escala do conversor (0 a 4095), além de um campo de status para cada canal e o comando de início da leitura.

Figura 4 – Interface web de monitoramento da ativação muscular



Fonte: Autores (2026).

Os ensaios demonstraram que o sistema distingue os estados de repouso e de contração muscular, como ilustra a Figura 5. Em repouso, o sinal apresenta baixa amplitude e variação reduzida, enquanto, durante a contração, observa-se aumento expressivo da amplitude e da frequência das oscilações, indicando maior recrutamento de unidades motoras. Esse comportamento está de acordo com o esperado para sinais de sEMG (DE LUCA, 1997; KONRAD, 2005). A exibição simultânea dos dois canais permite ao usuário perceber quando a ativação do músculo compensatório se aproxima da do músculo alvo, o que constitui o principal diferencial da proposta para o direcionamento correto da musculatura durante o exercício.

ISSN 2317-1316

Figura 5 – Registro do sinal em repouso e durante a contração muscular



Fonte: Autores (2026).

A transmissão dos dados via Wi-Fi manteve-se estável durante os ensaios, e o uso do WebSocket assegurou a atualização contínua dos gráficos, sem necessidade de recarregar a página. Esse resultado indica que a arquitetura é adequada a aplicações que demandam retorno visual imediato, como atividades de ensino de fisiologia e protocolos de biofeedback (GIGGINS; PERSSON; CAULFIELD, 2013). O sistema também se mostrou flexível quanto à conexão: o ESP32 pode operar com rede própria, no modo ponto de acesso, permitindo o acesso direto ao dispositivo mesmo sem rede externa, ou conectar-se à rede Wi-Fi do usuário, no modo estação, integrando-se à rede local. A configuração é feita pela interface apresentada na Figura 6.

Figura 6 – Interface de configuração da conexão Wi-Fi



ISSN 2317-1316

Fonte: Autores (2026).

Do ponto de vista do hardware, a combinação entre os módulos sEMG e o ESP32 mostrou-se adequada para a aquisição dos sinais e a visualização dos padrões de ativação. A alimentação por bateria, a placa de circuito impresso dedicada e o preparo da pele com o posicionamento correto dos eletrodos foram determinantes para reduzir ruídos e interferências externas.

Em comparação com equipamentos clínicos de sEMG e de ENMG, o dispositivo não se propõe a oferecer a mesma precisão nem os recursos avançados de análise, mas constitui uma alternativa de baixo custo e de fácil replicação para contextos em que o objetivo é visualizar a ativação muscular em tempo real. Nesse sentido, a proposta alinha-se a outras iniciativas de hardware acessível para sEMG, que priorizam a simplicidade e o custo reduzido (FUENTES DEL TORO et al., 2019), e acrescenta a comparação direta entre músculo alvo e músculo compensatório. A incorporação de métricas quantitativas, como o valor RMS e a frequência média do sinal, representa a evolução natural do sistema para aplicações em pesquisa.

4 CONCLUSÃO

O presente estudo resultou em um dispositivo de eletromiografia de superfície de baixo custo, baseado em módulos sensores sEMG integrados a um microcontrolador ESP32 e em uma interface web em tempo real. O sistema capta, processa e exibe os sinais de ativação muscular, distingue os estados de repouso e de contração e permite comparar simultaneamente a atividade do músculo alvo e de um músculo compensatório, com transmissão contínua dos dados via WebSocket e flexibilidade de conexão Wi-Fi. Dessa forma, os objetivos propostos foram atendidos, confirmando a viabilidade da arquitetura como alternativa acessível para ensino, pesquisa exploratória e biofeedback.

Como continuidade, destacam-se: (i) a incorporação de métricas quantitativas, como RMS, frequência média e relação sinal-ruído; (ii) a comparação dos registros com um equipamento comercial de referência; (iii) a avaliação de diferentes configurações de filtragem; (iv) a ampliação dos ensaios para outros grupos musculares e participantes; e (v) a criação de alertas visuais na interface quando a ativação compensatória ultrapassar um limiar definido pelo usuário.

ISSN 2317-1316

Os autores agradecem à Universidade Santa Cecília e à Faculdade de Engenharia pelo apoio institucional ao desenvolvimento do projeto.

5 DECLARAÇÃO DE USO DE IA

Durante a elaboração deste trabalho, utilizou-se a ferramenta de inteligência artificial Perplexity Pro para apoio na redação e na revisão de trechos do texto. A ferramenta Claude Sonnet 5.5(Anthropic) foi utilizada na criação do diagrama, revisão da estrutura, da redação e da formatação das referências. O conteúdo gerado foi revisado, editado e validado pelos autores, que assumem total responsabilidade pelo texto final.

6 REFERÊNCIAS

CALATAYUD, J. et al. Importance of mind-muscle connection during progressive resistance training. European Journal of Applied Physiology, v. 116, n. 3, p. 527-533, 2016.

DE LUCA, C. J. The use of surface electromyography in biomechanics. Journal of Applied Biomechanics, v. 13, n. 2, p. 135-163, 1997.

ESPRESSIF SYSTEMS. ESP32 series datasheet. Shanghai: Espressif Systems, 2023. Disponível em: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf. Acesso em: 20/05/2026.

FETTE, I.; MELNIKOV, A. The WebSocket protocol: RFC 6455. [S. l.]: Internet Engineering Task Force, 2011. Disponível em: https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc6455. Acesso em: 22/05/2026.

FUENTES DEL TORO, S. et al. Validation of a low-cost electromyography (EMG) system via a commercial and accurate EMG device: pilot study. Sensors, v. 19, n. 23, art. 5214, 2019.

GIGGINS, O. M.; PERSSON, U. M.; CAULFIELD, B. Biofeedback in rehabilitation. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, v. 10, art. 60, 2013.

HERMENS, H. J. et al. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. Journal of Electromyography and Kinesiology, v. 10, n. 5, p. 361-374, 2000.

KONRAD, P. The ABC of EMG: a practical introduction to kinesiological electromyography. Scottsdale: Noraxon, 2005.

MERLETTI, R.; FARINA, D. (ed.). Surface electromyography: physiology, engineering, and applications. Hoboken: Wiley-IEEE Press, 2016.