



PROJETO INTEGRADOR EM ENGENHARIA BIOMÉDICA - ELETROMIOGRAFIA PARA CONTROLAR ATIVAÇÃO DE LED'S

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2025.6081

Autores: ANNA FLÁVIA COSTA RODRIGUES, VERÔNICA ALVES CALEGARI, LÍVIA DE SOUSA SORGATTO, VANESSA COLLI ALVES, ISABELA RUSSO FUCKNER, AMILTON DA COSTA LAMAS

Resumo: Os sinais elétricos gerados durante a contração muscular e sua conversão em dados interpretáveis por sistemas computacionais pode tornar a Eletromiografia numa solução adequada para programas de reabilitação física, facilitação da acessibilidade e mesmo controle e automação personalizável de dispositivos. Neste trabalho é reportado o desenvolvimento de uma prova de conceito com objetivo de demonstrar a viabilidade de utilizar a atividade muscular da face como entrada para sistemas eletrônicos simples, simulando o reconhecimento de estados emocionais como felicidade, surpresa e raiva. O desenvolvimento foi realizado com sucesso numa plataforma OpenBCI, empregando uma placa Cyton, uma CPU e um circuito integrador. As diferentes expressões faciais controlaram o ligar e desligar de LEDs. A atividade foi realizada como parte da validação do emprego de atividades de curricularização da extensão universitária na disciplina Projeto Integrador 2 do curso de Engenharia Biomédica da PUC-CAMPINAS.

Palavras-chave: EMG, controle de sistemas eletrônicos, expressões faciais, curricularização da extensão.

PROJETO INTEGRADOR EM ENGENHARIA BIOMÉDICA ELETROMIOGRAFIA PARA CONTROLAR ATIVAÇÃO DE LED'S

1 INTRODUÇÃO

A eletromiografia (EMG) desempenha um papel fundamental no estudo da atividade muscular, permitindo o registro dos sinais elétricos gerados durante a contração dos músculos e sua conversão em informações interpretáveis por sistemas computacionais. Essa capacidade torna a EMG uma ferramenta valiosa no desenvolvimento de soluções voltadas para reabilitação, acessibilidade e automação personalizada. Nesse contexto, destaca-se a crescente aplicação das interfaces homem-máquina (IHM) na engenharia biomédica, nas quais sinais biológicos são utilizados como forma de controle em sistemas interativos, especialmente em tecnologias assistivas (LU e ZHOU, 2019).

Diante desse cenário, este trabalho relata o desenvolvimento de um sistema baseado em EMG capaz de controlar a ativação de LEDs por meio de expressões faciais específicas. Utilizando a plataforma Open Brain Computer Interface (OPENBCI, 2025) com placa Cyton integrada a um Arduino, o sistema traduz sinais musculares em comandos digitais, acionando LEDs que representam diferentes emoções. A proposta foi desenvolvida no âmbito da disciplina Projeto Integrador 2 do curso de Engenharia Biomédica da PUC-Campinas, integrando conhecimentos das áreas de anatomia, fisiologia, eletrônica, programação e biomecânica. O objetivo principal é demonstrar, por meio de uma prova de conceito, a viabilidade de utilizar a atividade muscular da face como entrada para sistemas eletrônicos simples, simulando o reconhecimento de estados emocionais como felicidade, surpresa e raiva. Este projeto faz parte de um exercício de curricularização da extensão no curso mencionado. O público-alvo deste trabalho inclui a comunidade acadêmica interessada em bioengenharia e tecnologias assistivas, bem como profissionais da saúde e da tecnologia envolvidos no desenvolvimento de interfaces interativas baseadas em sinais biológicos. A relevância do projeto está na demonstração prática de um modelo funcional de IHM com base em EMG, promovendo soluções acessíveis e customizáveis com potencial de aplicação em contextos clínicos e sociais. Além disso, o trabalho reforça a importância da curricularização da extensão universitária, ao envolver a colaboração com a Faculdade de Fisioterapia em um processo de aprendizado aplicado e multidisciplinar. Entre os principais desafios enfrentados estiveram a correta interpretação dos sinais EMG, a integração entre hardware e software, e a confecção de uma placa de circuito impresso funcional. Ainda assim, os resultados obtidos demonstraram com êxito a capacidade do sistema de identificar padrões musculares e acioná-los em forma de sinais luminosos, consolidando o projeto como uma prova de conceito promissora para o controle de dispositivos eletrônicos via EMG.

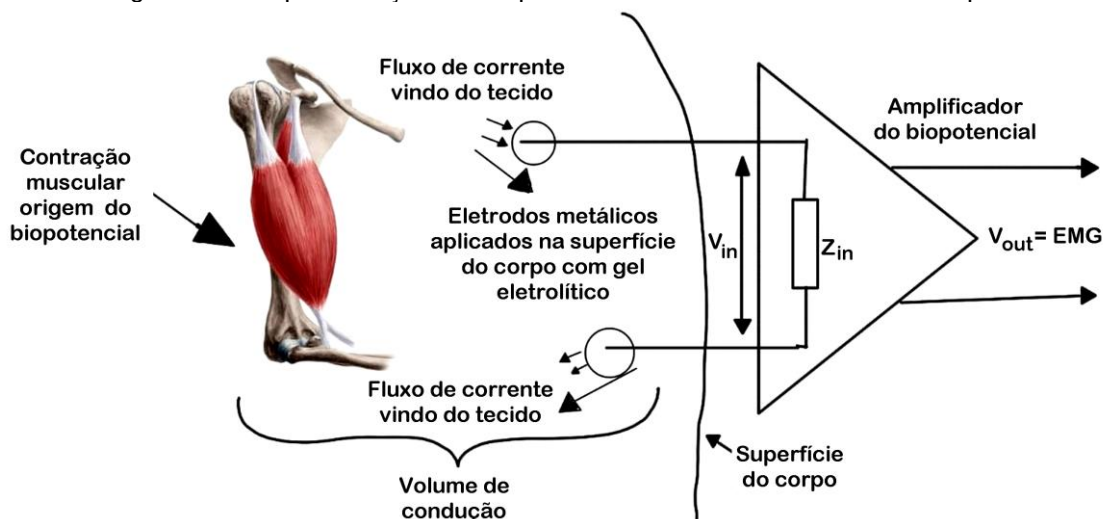
2 FUNDAMENTAÇÃO

2.1 Eletromiografia (EMG)

As células nervosas e musculares geram sinais bioelétricos que são o resultado de alterações eletroquímicas dentro e entre as células. Se uma célula nervosa ou muscular for estimulada por um sinal elétrico forte o suficiente para atingir um limiar necessário, a célula gerará um potencial de ação. O potencial de ação, que representa um breve fluxo de íons

através da membrana celular, pode ser medido com eletrodos intracelulares ou extracelulares. Os potenciais de ação gerados por uma célula excitada podem ser transmitidos de uma célula para as células adjacentes por meio de seu axônio. Quando muitas células são ativadas, é gerado um campo elétrico que se propaga pelo tecido biológico. Essas alterações no potencial extracelular podem ser medidas na superfície do tecido ou do organismo por meio de eletrodos de superfície (BRONZINO e PETERSON, 2014). A EMG é uma tecnologia médica que mapeia, no tempo e no espaço, a atividade elétrica dos potenciais elétricos dos músculos. Quando uma célula nervosa ou muscular em repouso, com um potencial de membrana de cerca de 200 mV em relação ao meio externo, é estimulada, uma onda de despolarização se espalha pela superfície da célula. A célula em repouso não tem momento de dipolo elétrico, mas enquanto a célula está sofrendo despolarização, ela pode ser representada eletricamente por um momento de dipolo elétrico variável no tempo, que chega a zero depois que o potencial de membrana em repouso é restaurado em um processo de repolarização. Essas mudanças levarão a variações locais no potencial elétrico, o que dá origem a correntes bioelétricas variáveis que irradiam energia na forma de ondas eletromagnéticas. Essas ondas são então detectadas por eletrodos de superfície, no caso presente, e o sinal elétrico é enviado a um dispositivo para tratamento e processo elétrico adequados. Os registros da atividade muscular podem verificar o funcionamento normal da estimulação nervosa do músculo. As medições em algumas distâncias ao longo de um músculo podem determinar as velocidades de condução ao longo do nervo estimulante. O eletrodo de superfície mais comum usado para análise de EMG é o eletrodo de disco Ag-AgCl. Eventualmente, o acoplamento entre o músculo e o eletrodo pode ser melhorado com o uso de gel de eletrodo entre o eletrodo e o tecido. Atualmente, os eletrodos adesivos autoajustáveis dispensam o uso desse gel. A Figura 01 mostra uma representação esquemática elétrica do arranjo tecido-eletrodo (BUTTON, 2015).

Figura 01 – Representação do acoplamento elétrico entre o eletrodo e a pele



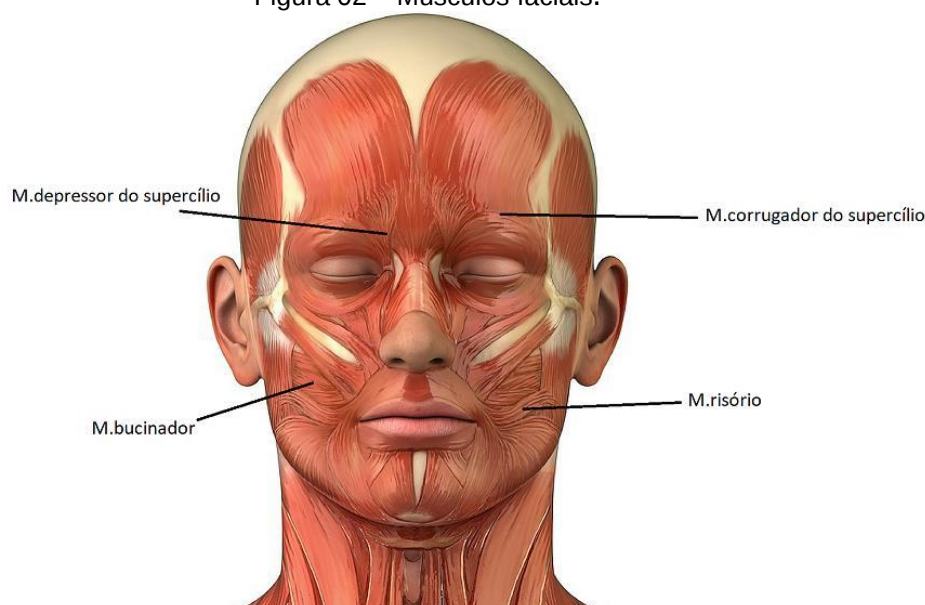
Fonte: adaptado de BUTTON, 2015 e NETTER, 2024.

O sinal EMG surge então das correntes elétricas geradas nos músculos durante a contração e a expansão (relaxamento) devido à ativação neurológica. Uma excelente descrição da geração do biosinal pode ser encontrada em WEIS, Lyn, et al, Easy EMG: A Guide to Performing Nerve Conduction Studies and Electromyography (WEIS, 2022) ou em KANDEL *et al.* Principles of Neural Science (KENDAL, 2021). Esse sinal foi usado como entrada na plataforma aquisição de dados.

2.2 Anatomia da face

Os músculos da face são um grupo de cerca de vinte músculos esqueléticos planos e se localizam abaixo da pele da face. A maior parte deles se originam do crânio ou de estruturas fibrosas e se irradiam para a pele através de um tendão elástico. Os músculos estão posicionados ao redor das aberturas da face (boca, olho, nariz e ouvido), ou se estendem ao longo do crânio e do pescoço. Dessa forma, eles possuem as seguintes classificações: Músculos da boca (grupo bucolabial), músculos do nariz (grupo nasal), músculos do crânio e do pescoço (grupo epicraniano), músculos do ouvido externo (grupo auricular) e músculos da pálpebra (grupo orbital). A localização dos músculos faciais permite a realização dos movimentos do rosto, que é conhecida como mímica facial. Portanto, são conhecidos também como músculos da expressão facial. Esses músculos são inervados pelo nervo facial (nervo craniano VII) e irrigados pela artéria facial. Os músculos faciais são os seguintes: occipitofrontal, orbicular do olho, corrugador do supercílio, prócero, nasal, orbicular da boca, levantador do lábio superior e da asa do nariz, zigomático menor, bucinador, zigomático maior, levantador do ângulo da boca, risório, depressor do ângulo da boca, depressor do lábio inferior, mental, platisma. A Figura 02 exemplifica os músculos da face.

Figura 02 – Músculos faciais.



Fonte: ODONTOUP, 2024.

O processo de contração do músculo esquelético, ocorre em resposta à transmissão neuromuscular, realizada pelo sistema nervoso somático (atividade sempre excitatória). Na musculatura estriada, as ações são voluntárias (você pensa e depois executa o movimento). Para que o músculo se movimente, ele precisa ser inervado e essa inervação é realizada por um neurônio motor somático. A contração muscular ocorre quando a actina (filamento fino) desliza sobre a miosina (filamento grosso) nas células musculares, permitindo assim os movimentos do corpo. As fibras musculares contêm os filamentos de proteínas contráteis de actina e miosina, que estão dispostas lado a lado. Esses filamentos se repetem ao longo da fibra muscular, formando o sarcômero, que é a unidade funcional da contração muscular. O filamento grosso é formado pela miosina, que é formada por hélices e por cabeças globulares. Já o filamento fino é formado por filamentos de actina entrelaçados por tropomiosina, e com moléculas de troponina dispostas ao longo da

tropomiosina. A tropomiosina bloqueia o sítio de ligação da miosina na actina. Para ocorrer a contração muscular são necessários alguns elementos: estímulo do sistema nervoso, proteínas contráteis e energia para contração, fornecida por adenosina trifosfato (ATP)

2.3 Biomecânica dos músculos da face

Os músculos do corpo humano possuem regiões, as quais determinam a origem e a inserção de seus respectivos músculos. A origem é a parte fixa onde o músculo se inicia, e a inserção é a extremidade móvel. Durante a contração muscular, uma das porções tentará se aproximar da outra, isso dependerá do tipo do movimento que a musculatura em questão realizará. Os músculos que participam dos movimentos realizados pelo usuário e que serão capturados pelos eletrodos, são os seguintes: occipitofrontal, zigomático maior, bucinador e risório. O músculo occipitofrontal recobre a parte superior do crânio e se estende das sobrancelhas até a porção superior da nuca. Isso é dividido em duas partes, sendo elas a parte frontal e occipital. A parte frontal se origina na sobrancelha e segue até ao nível da sutura coronal do crânio; já a parte occipital se origina na porção superior da nuca e segue até se juntar com a parte frontal. Dessa forma, dois dos cinco eletrodos estarão conectados neste músculo, sendo posicionados lado a lado logo acima da sobrancelha esquerda do usuário. O movimento registrado será a contração da parte frontal, empurrando o couro cabeludo para frente e dobrando a pele da testa, uma expressão facial de brabeza. Neste caso, a parte frontal será a origem e a parte occipital será a inserção, pois é a porção superior que se desloca anteriormente. O músculo zigomático maior tem origem na superfície lateral do osso zigomático e se estende diagonalmente, inserindo-se no ângulo da boca. O terceiro eletrodo será posicionado neste músculo e o movimento realizado será o de elevação e eversão do ângulo da boca superolateralmente, produzindo o sorriso (felicidade). O músculo bucinador se localiza entre a maxila e a mandíbula, possuindo três partes: superior, inferior e posterior. A parte superior e inferior possui origem na porção alveolar da maxila e mandíbula respectivamente, suas inserções convergem em direção ao ângulo da boca. Já a parte posterior se origina na margem anterior da rafe pterigomandibular e se insere no ângulo da boca. O músculo risório se origina de vários pontos, podendo incluir a fáscia da glândula parótida, a fáscia dos músculos masseter e platisma e do arco zigomático, por fim se inserindo no ângulo da boca. O último eletrodo se conectará no respectivo músculo, realizando a equivalente função do zigomático.

2.4 Sobre a extensão na Engenharia Biomédica da PUC-Campinas

A curricularização da extensão tem sido tema predominante nas resoluções estratégicas das Instituições de Ensino Superior (IES). Os esforços neste sentido vão desde o planejamento de como institucionalizar a curricularização da extensão, a validação da estratégia empregada e a realização de eventuais ajustes, dependendo do grau de maturidade da ação de cada instituição. A PUC-Campinas, atenta aos movimentos de uma sociedade baseada na formação holística e de qualidade dos seus egressos recentemente conduziu uma reestruturação organizacional institucionalizando escolas que abrigam faculdades sinérgicas. Nesta direção, a Faculdade de Engenharia Elétrica, que inclui os cursos de Engenharia Elétrica, Engenharia de Controle e Automação e Engenharia Biomédica, está abrigada na Escola Politécnica da PUC-Campinas. Concomitantemente, antecipando a esta realidade, os vários cursos atualizaram seus Projetos Pedagógicos (PPC) quanto ao conteúdo, uso de ferramentas pedagógicas e aplicação de métodos de trabalho mais ágeis de forma a atenderem às demandas de mercado. Neste sentido, a Faculdade de Engenharia Elétrica, optou por concentrar as atividades de extensão nas disciplinas práticas de Projeto Integrador, tendo em vista que estas disciplinas são inerentemente multidisciplinares. Projetos integradores são unidades práticas destinadas à

mobilização de competências, habilidades, atitudes e conteúdo do módulo, associados aos quais é desenvolvida a maior carga de atividades autônomas e de curricularização da extensão. Conforme mencionado, as atividades aqui descritas foram realizadas na disciplina de Projeto Integrador 2 do curso de Engenharia Biomédica, durante o ano de 2024. Esta disciplina faz parte do primeiro ciclo da grade de disciplinas, ela tem por objetivo propor, estimular e acompanhar projetos que integram os conhecimentos e habilidades adquiridos durante as disciplinas que o precederam ou que ocorrem simultaneamente. No caso deste trabalho as disciplinas que mais contribuíram para a realização do projeto foram: Engenharia Biomédica, Lógica e Circuitos Lógicos, Programação em Python; Anatomia e Neuroanatomia Humana; Física do Movimento; Histologia Aplicada a Engenharia; Cinesilogia e Biomecânica; Circuitos Elétricos; Projeto Integrador em Engenharia Biomédica 1 e Materiais Elétricos e Componentes Eletrônicos. Isto caracteriza a multidisciplinaridade da ação.

2.5 Relevância do projeto na curricularização da extensão

Projetos de extensão universitária aproximam os conhecimentos técnicos desenvolvidos dentro da universidade daqueles construídos através das vivências do dia a dia pelos assistidos. Além, a relação colaborativa com as equipes técnicas de profissionais das instituições parceiras, oportunizam o desenvolvimento de soluções para problemas reais resultantes da conjunção de visões técnicas diferentes. Esta interatividade contribui para a formação de uma ampla teia de relacionamentos profissionais que ampliam a percepção de oportunidades para o desenvolvimento de tarefas, ensaios e projetos dentro das componentes curriculares. Desta forma os projetos de extensão promovem a viabilização da inclusão das atividades de extensão dentro dos projetos pedagógicos dos cursos universitários, abrindo diversas frentes de trabalho onde atividades típicas de extensão agora são conduzidas em meio ao desenvolvimento destas componentes. No projeto descrito neste trabalho, não se efetivou uma parceria propriamente dita, no entanto, um dos autores desenvolve projetos com a Faculdade de Fisioterapia, a qual assumiu o papel de instituição parceira para este projeto. Todas as atividades desenvolvidas, inclusive estudos e treinamento foram orientados conforme sugestões dos professores(as) da Faculdade de Fisioterapia. Esta ação caracteriza-se mais como um ensaio de curricularização da extensão nesta disciplina. A partir de 2025 a disciplina Projeto Integrador em Engenharia Biomédica 2 terá carga oficial de extensão.

2.6 Relevância das atividades de extensão na formação dos discentes

Os discentes participantes realizam atividades que dizem respeito ao coplanejamento e cocriação/execução de serviços e/ou aplicações, soluções, provas de conceito, protótipos, inovadores fundamentados em tecnologias desenvolvidas nas disciplinas dos diferentes cursos. O uso do formato colaborativo entre discentes das Faculdades de Engenharia Elétrica e de Engenharia de Computação agregado à orientação informal dos professores do Fisioterapia através do docente extensionista, propicia o desenvolvimento de uma nova visão do mundo e ampliação das possibilidades de participação em ações de evolução da sociedade. Os estudantes, participantes dos projetos, têm a oportunidade de desenvolver suas habilidades de comunicação, análise e interpretação de dados, vivências relacionamentos de forma não disponível na sala de aula. Eles também experimentam resolver situações de conflito e encontrar usos criativos e aplicações para os conhecimentos não previstos dentro os muros da universidade. Através desta experiência, os graduandos de engenharia desenvolvem um sentido maior de responsabilidade com a sociedade e uma melhor compreensão do que significa ser um engenheiro. A participação no projeto oferece ao egresso a oportunidade de vivenciar a

aplicação dos conhecimentos adquiridos nos cursos da Escola Politécnica da PUC-Campinas e desenvolver competências transversais como: Flexibilidade cognitiva; Capacidade de concentração; Capacidade de julgamento e tomada de decisões; Capacidade de resolução de problemas complexos; Capacidade de comunicação e trabalho colaborativo; Espírito crítico, criatividade, inovação e responsabilidade que lhe permita uma atuação profissional consciente, dirigida para a melhoria da qualidade de vida da população humana.

3 MÉTODO

O Método de desenvolvimento aplicado foi inspirado no RUP (*Rational Unified Process*) hoje conhecido como IBM® *Engineering Lifecycle Management* (IBM-ELM 2024), uma solução de engenharia de fim a fim com sistemas avançados e modelagem de software, que melhora a colaboração e orienta você desde os requisitos até a entrega de produtos e sistemas complexos. Apesar de direcionado ao desenvolvimento de software o método pode ser aplicado com sucesso ao desenvolvimento de qualquer projeto desde que adaptado, conforme demonstrado em publicações anteriores. De forma clássica o ciclo de vida de um projeto é uma série de fases cujas principais são: 1) Concepção, 2) Planejamento, 3) Desenvolvimento e 4) Transição/encerramento, descritas a seguir. 1) Concepção: nesta fase se dá a definição do escopo do projeto, incluído a definição das hipóteses assumidas, condições de contorno, restrições e requisitos. Nesta fase são especificadas as características da a plataforma de desenvolvimento, se for o caso. 2) Elaboração: fase em que se concentra a análise do projeto, incluindo planejamento, especificações detalhadas e arquitetura do sistema. O foco de análise nesta fase é na integração dos módulos que compõe a solução. 3) Desenvolvimento/construção: esta fase se caracteriza pelo desenvolvimento propriamente dito da solução ou prova de conceito. Nesta fase é demonstrada a viabilidade técnica do projeto. A estratégia é iniciar pelo desenvolvimento/teste e validação dos módulos individuais. Antes de finalizar esta fase os módulos são parcialmente integrados e os testes e validações realizados. 4) Transição/encerramento: esta fase se inicia com os testes e avaliações sistêmicas. A necessidade de ajustes pode ser detectada nesta fase, significando o início de um novo ciclo de vida do projeto. A realização do ciclo de projeto foi executada através de reuniões semanais (rodas de conversa) abrangendo desde as pesquisas e discussões sobre a escolha de um tema que abordasse áreas multidisciplinares de interesse, até a escolha da plataforma de desenvolvimento e identificação dos módulos a serem desenvolvidos e integrados à plataforma e a programação computacional de suporte. A escolha do escopo recaiu sobre a evolução de uma proposta de projeto que utiliza a plataforma OpenBCI que faz uso de biosinais de EMG para acender e apagar diodos emissores de luz (LED – *light emitting diodes*). A escolha se deu em função do tema ser inerente a Engenharia Biomédica, além de exemplificar a transdisciplinaridade mencionada anteriormente. Caracterizando-se como uma oportunidade de reforçar os conceitos e aprendizados adquiridos em disciplinas anteriormente cursadas ou em curso. A equipe entendeu como assuntos interessantes os temas como conceitos, teorias e nomenclaturas dos assuntos, como EMG e a produção desses sinais elétricos no corpo humano, as partes anatômicas da face, a linguagem de programação Python e C juntamente com alguns comandos e, por fim, dispositivos na área da eletrônica. Alguns desafios apareceram na forma de entender o funcionamento da plataforma OpenBCI e sua interface gráfica (GUI - *Graphic User Interface*) em conjunto com placas *Daisy* e *Dongle* e a operação da plataforma. Chamou a atenção da equipe a oportunidade de desenvolver uma placa de circuito impresso para promover a integração entre a plataforma e o circuito com os LEDs, procedimento, bem como os elementos

envolvidos, de elaborar uma placa de circuito impresso. Especial atenção precisou ser dedicada à documentação da plataforma visto esta ser bastante flexível, permitindo análises de EMG e Eletroencefalografia (EEG).

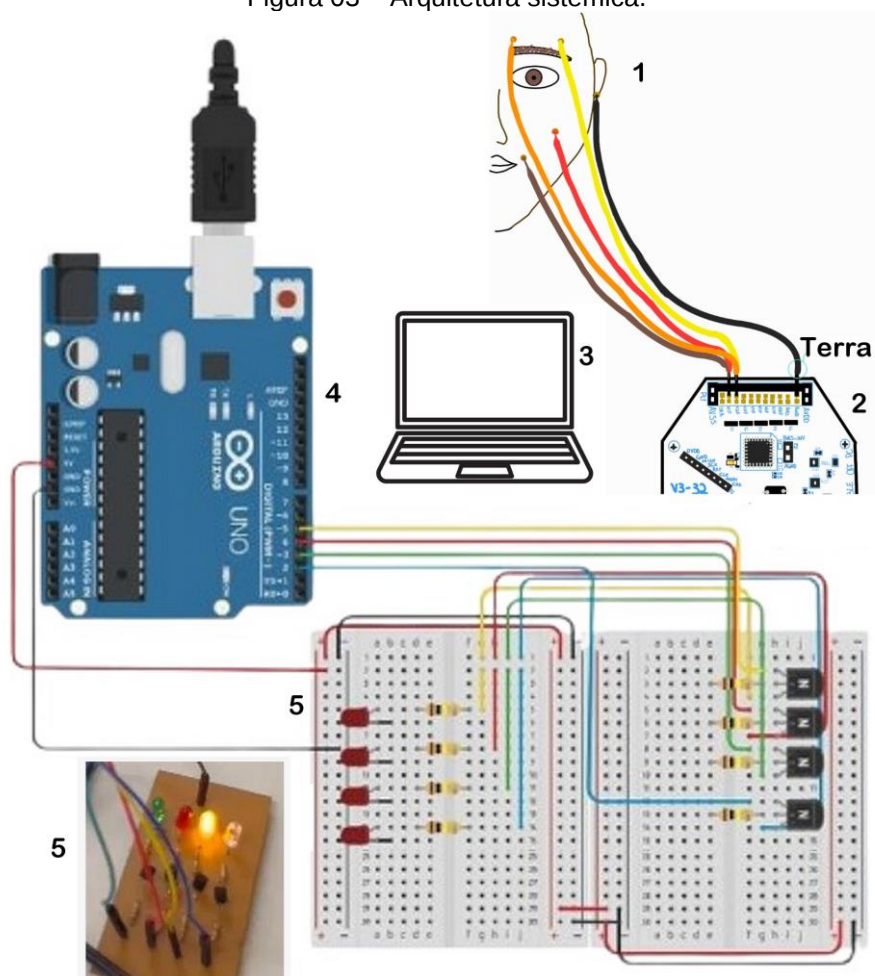
4 ARRANJO EXPERIMENTAL

Neste experimento foi utilizada a plataforma OpenBCI adaptada para medidas de EMG de superfície. As subseções abaixo descrevem o arranjo experimental.

4.1 Arquitetura

A arquitetura sistêmica é composta por: 1) Eletrodos adesivados na face, responsáveis para captura do biosinal; 2) plataforma OpenBCI com uma placa Cyton que recebia os biosinais, processava e enviava para um PC; 3) um PC com a interface gráfica da OpenBCI que recebia os dados e os apresentava. Este PC era responsável por hospedar um script em Python que identificava o sinal de EMG, codificava e transmitia o código para uma CPU (Arduíno UNO). 4) uma CPU que decodificava o código e acionava o circuito integrador (5) para que o LED correspondente fosse energizado; conforme apresentado na Figura 03.

Figura 03 – Arquitetura sistêmica.



Fonte: autores.

4.2 A plataforma OpenBCI

A OpenBCI é uma plataforma de interface cérebro-computador de código aberto, criada por Joel Murphy e Conor Russomanno, após uma campanha bem-sucedida no Kickstarter no final de 2013. Ela é conhecida por desenvolver interfaces cérebro-computador de nível de pesquisa a preços acessíveis. As placas OpenBCI podem ser usadas para medir e registrar a atividade elétrica produzida pelo cérebro (EEG), músculos (EMG) e coração (EKG), e são compatíveis com eletrodos EEG padrão. As placas OpenBCI podem ser usadas com uma interface gráfica de usuário (GUI) de código aberto ou podem ser integradas a outras ferramentas de processamento de sinais EEG de código aberto. A placa OpenBCI de 32 bits usa o ADS1299, um CI desenvolvido pela *Texas Instruments* para medições de biopotencial. A placa, chamada Cyton, usa um microcontrolador para processamento integrado e a versão de 16 bits usa um CI ATmega328P compatível com Arduino. Ela usa um microcontrolador PIC e grava os dados de EEG em um cartão SD ou os transmite para o software em um computador por meio de um link Bluetooth. Para este trabalho, a plataforma consistiu em: a) a placa Cyton de 32 bits; b) um dongle OpenBCI, que permite a comunicação de dados por Bluetooth entre a placa e o PC; e c) uma interface gráfica do usuário (GUI). A GUI para medições de EMG consiste em três widgets (componentes gráficos na interface): 1) Time Series; 2) EMG e 3) Network, para escolha do protocolo de comunicação de dados. No caso foi escolhido o protocolo *Lab Stream Layer* (LSL). O *Time Series* é o principal widget para exibição de dados de biossensores. Ele processa e exibe o sinal eletrofisiológico em tempo real, com cada gráfico de linha representando a tensão detectada em um ponto no tempo por um eletrodo. Ele mede a amplitude absoluta da tensão do sinal em unidades de μV_{rms} (microvolts, raiz quadrada média).

4.3 Integração sistêmica

Para a coleta dos sinais foram conectados eletrodos em portas específicas da placa Cyton, conforme recomendação da OpenBCI, bem como estes eletrodos foram posicionados na face de forma a garantir o melhor sinal de EMG. O terra elétrico foi colocado no dorso da mão de forma a não ter interferência do sinal de EMG. O lóbulo da orelha também poderia ser utilizado com referência elétrica. Os músculos a serem monitorados foram escolhidos de acordo com a participação ativa na formação das expressões faciais. A Figura 02 mostra os músculos que participam no processo. A Tabela 01 traz um resumo da associação entre a cor do fio que liga ao eletrodo, a porta da placa Cyton associada e a região ou músculo participativo. O sistema integrado é apresentado na Figura 05.

Tabela 01 - Relação entre cor do fio do eletrodo, porta Cyton e região muscular.

Cor do Eletrodo	Porta Cyton	Região Corporal
Branco	BIAS - baixo	Dorso da mão
Marrom	N1P - cima	M. Risório
Vermelho	N1P - baixo	M. Zigomático menor
Laranja	N2P - cima	M. Depressor do supercílio
Amarelo	N2P - baixo	M. Corrugador do supercílio

Fonte: autores.

Figura 05 – Sistema integrado.



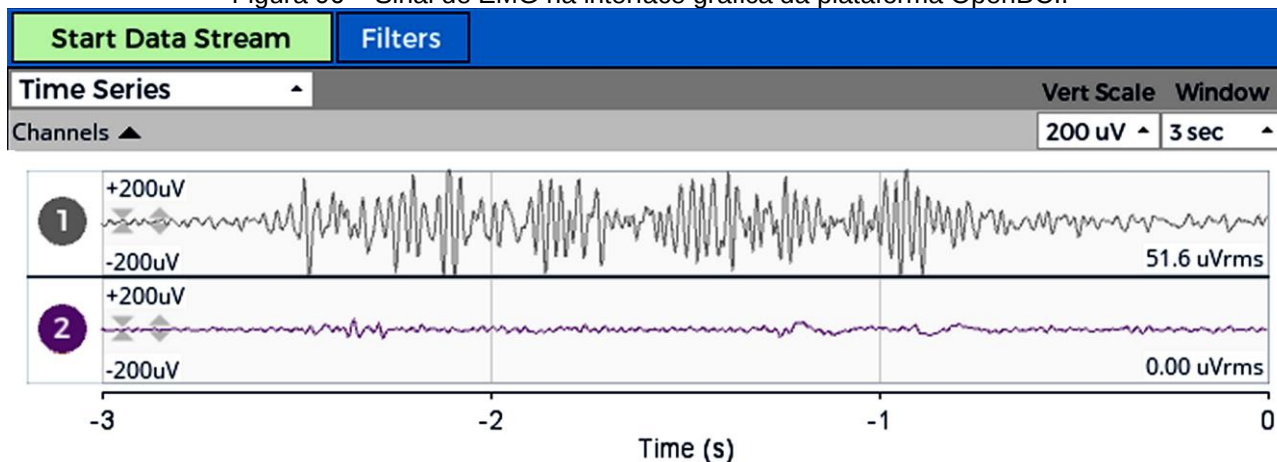
Fonte: autores.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Detecção do Sinal de EMG e Controle dos LEDs

Uma vez integrado o arranjo experimental, a equipe passou a estudar o posicionamento mais adequado (aquele que gerava sinal de EMG mais intenso) dos eletrodos na face. A Figura 03 apresenta o posicionamento aproximado, naturalmente, foram encontradas diferentes posições para diferentes indivíduos. A Figura 06 mostra o sinal de EMG para uma pessoa sorrindo apresentado no widget Time Series da interface gráfica da OpenBCI.

Figura 06 – Sinal de EMG na interface gráfica da plataforma OpenBCI.



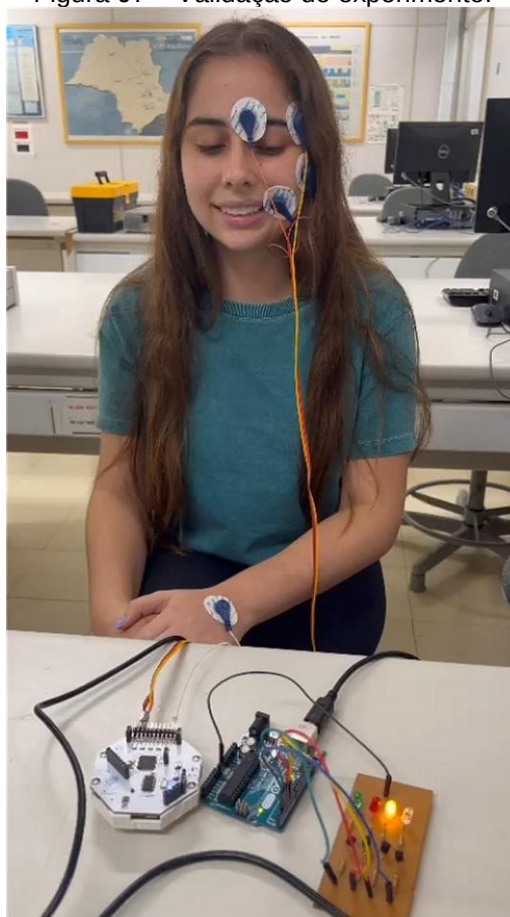
Fonte: autores.

Este experimento demonstrou como controlar o disparo de LEDs através da ativação muscular dos músculos da face, i.e., da expressão facial. O script Python lê os picos nos sinais EMG que os músculos faciais produzem quando são flexionados e os utiliza para alterar a cor de um LED. Amarela indica um sorriso (felicidade), a cor vermelha indica brabeza, a cor verde representa surpresa (susto) e a cor azul, uma expressão neutra, normalmente o início do experimento. Esse experimento foi realizado com cinco eletrodos de ouro. O primeiro eletrodo é conectado ao pino AGND inferior da placa Cyton, e os outros quatro cabos de eletrodo aos pinos superior e inferior do Canal 1 (N1P) e do Canal 2 (N2P). Os cinco eletrodos devem ser colocados na face. Os dois eletrodos na parte superior da

sobrancelha vão para os pinos N2P superior e inferior do Cyton, os dois eletrodos mais próximos da boca vão para os pinos N1P superior e inferior e o eletrodo mais próximo da orelha vai para o AGND inferior. Um pequeno código Arduino deve ser programado na CPU. Ao abrir o Monitor serial no IDE do Arduino e enviar os comandos "Y", "R", "G" e "B" para o Arduino, a cor do LED muda para amarelo, vermelho, verde e azul, respectivamente. O experimento inicia sempre no estado neutro, cor azul. Vídeos de demonstração deste projeto podem ser encontrados em: <https://l1nk.dev/0079C>.

A Figura 07 apresenta um momento na validação do experimento por um membro da equipe.

Figura 07 – Validação do experimento.



Fonte: autores.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A condução da disciplina Projeto Integrador em Engenharia Biomédica 2 do curso de Engenharia Biomédica da PUC-Campinas, fundamentou-se no método de aprendizagem baseada em problemas (PBL); no caso o desafio consistiu em como representar diferentes expressões faciais através das cores de LEDs. Foi demonstrada a construção de um sistema para medidas de EMG adaptado à plataforma da OpenBCI para tal finalidade. O sistema contou com um circuito integrador que funcionou de forma a controlar o acender e apagar dos LEDs correspondentes em função da contração dos músculos da face conforme esperado. Os resultados do projeto podem ser melhorados incluindo filtros elétricos na placa integradora, por exemplo. O projeto aqui descrito pode ser aprimorado aumentando o número de LEDs e transformando a prova de conceito num dispositivo para avaliação de

tonicidade muscular. Testes estão em idealização para explorar o arranjo utilizado em outras situações, como análise de movimentos intestinais.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Pontifícia Universidade Católica de Campinas pelo apoio ao projeto. Um agradecimento especial para o técnico Eduardo Veiga de Araujo e ao aluno Bruno Tomaz Soares Lemes da Faculdade de Computação, pelas contribuições.

REFERÊNCIAS

IBM-ELM, Engineering Lifecycle Management disponível em:

<https://www.ibm.com/products/engineering-lifecycle-management>, Acesso em 12 mar 2024.

BRONZINO, Joseph D. e PETERSON, Donald R., **Biomedical Engineering Fundamentals**, CRC Press; 2nd ed., 2014

BUTTON, Vera Lúcia S.N, **Principles of Measurement and Transduction of Biomedical Variables**, ISBN: 978-0-12-800774-7, Academic Press 2015.

KANDEL *et al.* **Principles of Neural Science**, McGraw Hill / Medical; sexta edição, ISBN-10: 1259642232, ISBN-13: 978-12596422342021, 2021.

LU, Z.; ZHOU, P. Hands-free human–computer interface based on facial myoelectric pattern recognition. **Frontiers in Neurology**, [S.l.], v. 10, p. 444, 2019. DOI: 10.3389/fneur.2019.00444. Acesso em: 24 abr. 2025.

NETTER, Frank H., **Atlas de Anatomia Humana**, GEN Guanabara Kroogan, 8ed, ISBN-10:8595159882, ISBN-13:978-8595159884, 2024.

ODONTOUP. **Resumo de anatomia de cabeça e pescoço**. Disponível em: <<https://www.odontoup.com.br/resumo-anatomia-de-cabeca-e-pescoco/>>. Acesso em: 26 nov 2024

OPENBCI, OpenBrain Computer Interface. Disponível em: <https://openbci.com/>, Acesso em 12 jan 2025.

WEIS, Lyn, et al, **Easy EMG: A Guide to Performing Nerve Conduction Studies and Electromyography**, 3ed, Elsevier, ISBN-10: 0323796869, ISBN-13: 978-0323796866, 2022

Abstract: *The electrical signals generated during muscle contraction and their conversion into information that can be interpreted by computer systems can make electromyography a suitable solution for physical rehabilitation programs, facilitating accessibility and even customizable control and automation of devices. This work reports on the development of a proof of concept aimed at demonstrating the feasibility of using facial muscle activity as input for simple electronic systems, simulating the recognition of emotional states such as happiness, surprise and anger. The development was successfully carried out on an OpenBCI platform, using a Cyton board, a CPU and an integrator circuit. The different facial expressions controlled the switching LEDs on and off. The activity was carried out as part of the validation of the use of university extension curricularization activities in the Integrator*

REALIZAÇÃO



COBENGE
2025

15 a 18 DE SETEMBRO DE 2025
CAMPINAS - SP

ORGANIZAÇÃO



Project 2 classes of the Biomedical Engineering course at the Pontifical Catholic University of Campinas.

Keywords: *control of electronic systems, EMG, extension curricularization, facial expressions*

REALIZAÇÃO



ORGANIZAÇÃO



