SISTEMA DE MONITORAMENTO DA ANGULAÇÃO DOS DEDOS PARA AUXÍLIO À FISIOTERAPIA UTILIZANDO ESP32 E MQTT

Beatriz Landim Marcelino de Almeida, Nicole Coneglian Leite, Bruno Michel Pera.

Escola Máximu's/Instituto Ribeiro Goulart,R. Isac Newton, 37 - Jardim Oriental, São José dos Campos - SP, 12236-240, Brasil, beatrizlandim09@gmail.com, nicoleconeglian23@gmail.com, brunomichel00@gmail.com.

Resumo
Este trabalho apresenta o FlexMotion, um dispositivo vestível destinado a auxiliar o acompanhamento quantitativo dos movimentos das mãos em atividades fisioterapêuticas. O sistema utiliza um sensor flexível conectado ao microcontrolador ESP32 para captar variações da flexão do dedo, com calibração em três posições de referência: 0°, 45° e 90°. A partir das leituras, calcula o nível de flexão, a angulação, a resistência e os valores do conversor analógico-digital (ADC), além de utilizar diodos emissores de luz (LEDs) como indicadores visuais. Os dados são transmitidos por uma rede sem fio (Wi-Fi), utilizando o protocolo Message Queuing Telemetry Transport (MQTT), para uma interface web de acompanhamento em tempo real. Nos testes, o sistema apresentou integração entre sensor, microcontrolador, sinalização visual, comunicação MQTT e plataforma web, permitindo distinguir diferentes condições de flexão. Dessa forma, o FlexMotion demonstrou viabilidade funcional e potencial para auxiliar na representação objetiva e no acompanhamento dos movimentos das mãos durante atividades fisioterapêuticas.
Palavras-chave: Fisioterapia. Dispositivo vestível. Sensor flexível. ESP32. MQTT.

Área do Conhecimento: Técnico

Introdução

Recentemente, um estudo sobre uma substância denominada Polilaminina, utilizada como potencial tratamento para lesões medulares, apresentou resultados promissores, com os movimentos retornando gradualmente durante o acompanhamento de pacientes com o tratamento e a devida fisioterapia (Da Luz *et al.,* 2026). Nesse processo, a reabilitação dos membros superiores é favorecida por fatores como objetivos claros, feedback dos pacientes, repetição e métricas do avanço (Bertels *et al.,* 2023). Nesse contexto, o desenvolvimento de um dispositivo vestível capaz de monitorar a angulação e esquematizar quantitativamente os dados auxilia no acompanhamento e desenvolvimento fisioterapêutico do paciente.

Uma lesão medular acarreta grandes consequências no dia a dia, além de poder paralisar a função das mãos, podendo gerar dependência de terceiros e impossibilitando ações cotidianas. Diante disso, a fisioterapia busca reabilitar essas funções, com processos realizados de forma repetitiva e frequente. A conexão entre a fisioterapia e programas de treinamento motor direcionado às mãos, podem contribuir e potencializar os resultados para a recuperação funcional dos movimentos trabalhados (Spooren *et al.,* 2009).

Em vista dos fatores apresentados, o acompanhamento da evolução do paciente durante a fisioterapia é essencial, porém podem ocorrer erros e desvios com critérios qualitativos, como o de observação visual, evidenciando um problema: a falta de dados quantitativos ao longo do progresso. A fisioterapia evoluiu junto com a biomecânica, ela que passou de uma abordagem descritiva e observacional para quantitativa e informativa, acompanhada de tecnologia e indicadores objetivos, os quais colaboram no progresso funcional do paciente, juntamente com sensores portáteis que cooperam com o monitoramento fora do laboratório (Nora *et al.*, 2025). Esses que se enquadram no projeto desenvolvido, com dados quantitativos, como angulação e nível de flexão dos dedos.

Nesse sentido, a solução proposta para o problema é o desenvolvimento de um dispositivo vestível, com os principais componentes sendo um sensor flexível e o microcontrolador ESP32. O projeto desenvolvido, a fim de captar dados, os coleta da flexão feita na falange média do dedo e os converte nos parâmetros escolhidos, além de características como três LEDs para auxiliar, calibração individual e alimentação por bateria. Por fim, o microcontrolador integrado à internet, envia os dados via protocolo

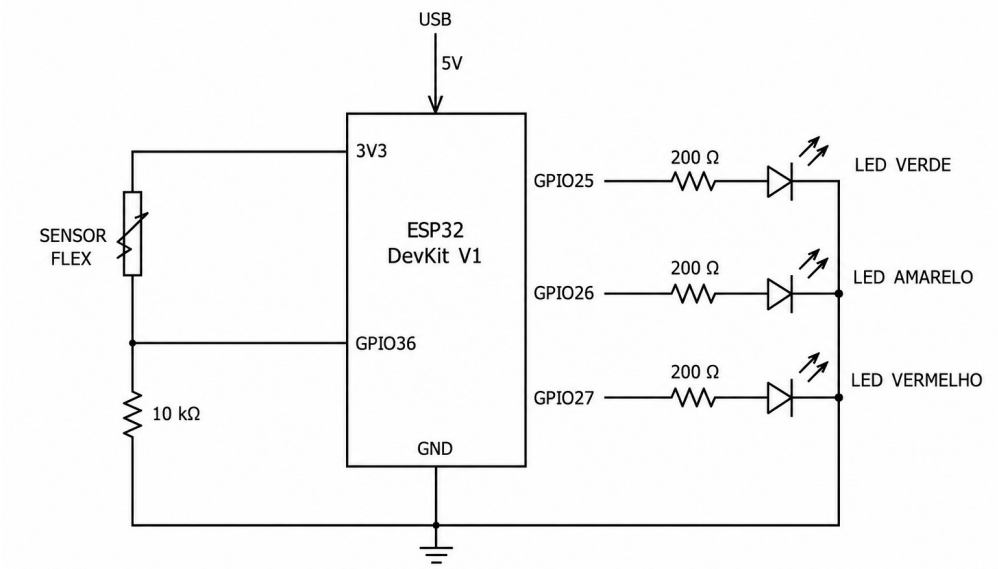
MQTT, seguido de uma interface web desenvolvida para o auxílio, permitindo visualizar e acompanhar as métricas.

Metodologia

FlexMotion é o projeto desenvolvido, com o objetivo de objetificar, facilitar e quantificar o acompanhamento de fisioterapias voltadas nos movimentos das mãos, em conjunto de um dispositivo e um site. O desenvolvimento da proposta foi de caráter aplicado e experimental, sendo desenvolvido com motivações clínicas e componentes eletrônicos. Os principais elementos que compõem o dispositivo vestível FlexMotion são: ESP32, sensor flex, placa perfurada para soldagem, LEDs e resistores. Sua posição é estratégica, com o dispositivo sendo posicionado na parte de cima da mão, seu sensor se estendendo através de fios conectados a um borne de parafuso e chegando até a falange média, local de captação de dados.

Como mencionado, a conexão do sensor flex é feita por um borne de parafuso, com uma perna formando um divisor de tensão conectado a um resistor de 10 kΩ, juntamente ao pino 36 de entrada/saída de uso geral GPIO (General-Purpose Input/Output), até a referência de terra elétrico GND (Ground); refletindo a outra perna conectada à alimentação do microcontrolador.

Figura 1 - Esquema elétrico.



Fonte: Autores (2026).

O procedimento de calibração é iniciado automaticamente logo após o envio do código ao dispositivo, calculando três posições. As angulações são divididas em três posições de referência, associadas a angulação de 0°, 45° e 90°. A coleta dos valores é feita em 5 segundos, posteriores a um aviso, e coletados 150 valores distribuídos.

A calibração é acompanhada de validação e um processo matemático, onde se é feita a média dos valores coletados em cada nível, seguindo de referência para calcular o intervalo entre eles. Os cálculos para os próximos níveis exigem especificações, de ordem crescente e afastamento mínimo de 100 unidades de conversor analógico-digital (ADC) entre os níveis, caso não atendidas, há uma repetição da calibração.

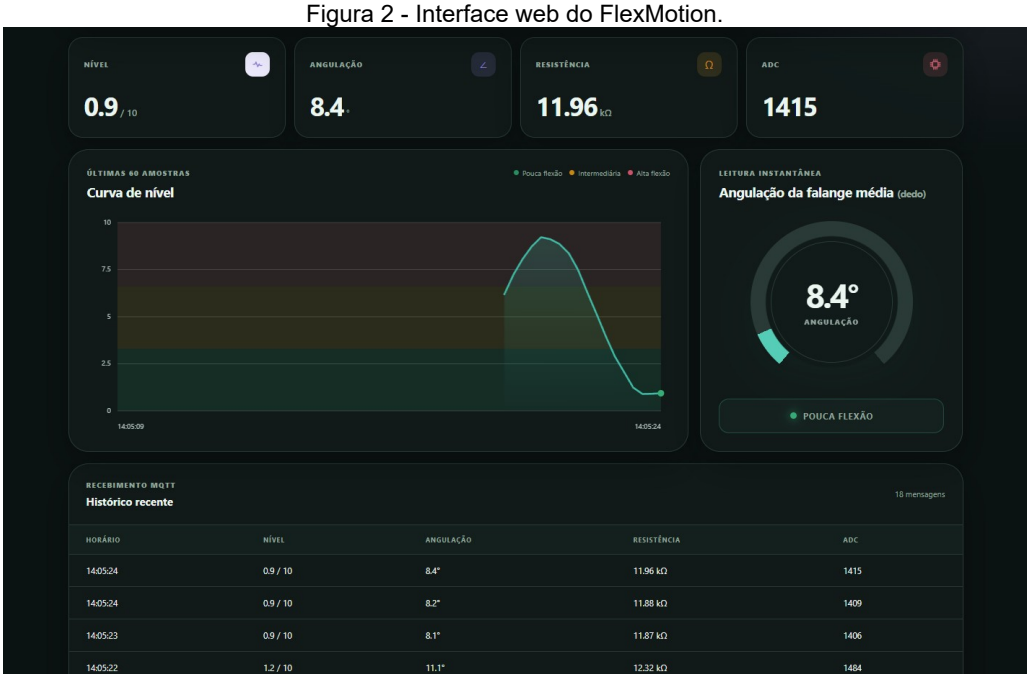
Os LEDs funcionam como assistência visual no dispositivo, eles são usados no processo de calibração e monitoramento, onde acende de acordo com o nível apresentado. São três cores, verde amarelo e vermelho; com cada LED representando os níveis estendido, intermediário e dobrado, respectivamente. A divisão dos níveis é feita com faixas de classificação dos LEDs de 3,3, entre eles, sendo 0/10 a 3,3/10, 3,3/10 a 6,6/10 e 6,6/10 a 10/10.

Em seguida da calibração válida, é estabelecida a conexão por Wifi, em seguida, a comunicação por meio do protocolo MQTT. Dentro do código enviado ao ESP32, são informados nome e senha da rede, igualmente aos dados do usuário do HiveMQ, serviço de hospedagem na nuvem. Os dados

interpretados e calculados pelo ESP32 são publicados em formato JavaScript Object Notation (JSON) em um tópico de servidor intermediário de mensagens (broker), responsável por receber e encaminhar os dados transmitidos pelo protocolo MQTT, enquanto o site se inscreve nesse tópico e recebe as mensagens.

A interface web do FlexMotion foi desenvolvida utilizando a linguagem de Marcação e Hipertexto HTML (HyperText Markup Language), CSS (Cascading Style Sheets) e JavaScript, e disponibilizada para acesso através do GitHub Pages. Para o site receber os dados, foi utilizada a biblioteca MQTT.js, que permite estabelecer a conexão entre o site e o broker do HiveMQ Cloud por WebSocket, e subscrever o tópico designado aos dados. As mensagens recebidas por JSON são interpretadas pela interface e atualizadas em tempo real os indicadores: nível, angulação resistência e ADC; além do gráfico medidor de angulação e histórico de leitura.

Figura 2 - Interface web do FlexMotion.



Fonte: Autores (2026).

Resultados

Após a montagem, desenvolvimento e integração, foi obtido o projeto FlexMotion. Ao decorrer dos testes de conexão, calibração, tensão, etc, o dispositivo e o site apresentaram os resultados esperados, com boa precisão, integração e interface; ele efetuou a leitura e o processamento dos dados desejados.

Ao longo da movimentação do sensor, observou-se alterações dos valores. O processamento do microcontrolador, usou essas leituras para calcular os parâmetros selecionados: nível, angulação, resistência e ADC.

O sistema indicativo de luzes apresentou precisão, em via dos níveis de flexão apresentados no site simultaneamente.

Após a calibração, realizada na inserção do código, foi analisada e bem-sucedida, além da conexão com Wifi e posteriormente HiveMQ na transmissão de dados. Os valores calculados pelo ESP32 foram apresentados corretamente na interface web FlexMotion.

A movimentação da falange média foi representada pela atualização dos valores e alteração gráfica no site. Os registros temporários do site foram observados e variavam conforme a angulação.

Após a calibração, também foi observada a transmissão dos dados entre o ESP32 e a plataforma web por meio do protocolo MQTT. Durante os testes, os valores processados pelo microcontrolador foram apresentados na interface nos campos de Nível, Angulação, Resistência e ADC.

A movimentação do dedo foi acompanhada pela atualização dos valores apresentados na plataforma e pela alteração da representação gráfica. Nos registros realizados foram observadas

diferentes condições de flexão, com variações nos valores apresentados conforme a posição do dedo.

Discussão

Os resultados apresentados confirmam que o dispositivo vestível FlexMotion foi capaz de medir a flexão e fazer a conexão por protocolo MQTT, possibilitando a identificação de diferentes parâmetros relacionados à flexão do dedo. A variação observada durante os testes do ADC permitiu que o sistema diferenciasse os estados de flexão. A partir dessas leituras, se ramificaram os parâmetros de flexão, angulação, nível e resistência, possibilitando uma compreensão mais ampla dos resultados do sensor. Dessa forma os resultados indicam que o projeto FlexMotion apresenta viabilidade funcional.

Os resultados obtidos apresentam relação com Bertels *et al.* (2023), pois destacam a importância de fatores de repetição, feedback e acompanhamento durante o processo de reabilitação. No projeto, os resultados são representados pelos dados escolhidos, através da coleta, cálculo e apresentação quantitativa. Nesse sentido, estudos como: Castellanos-Ruíz *et al.* (2021) e Nora *et al.* (2025), reforçam a importância de sensores e dados quantitativos. Desta forma, o projeto desenvolvido se baseia e aproxima dessas abordagens de sensores e fisioterapia, transformando dados em panoramas qualitativos, tendo resultados promissores para a colaboração dos acompanhamentos apresentados.

Outro ponto a se discutir, é a conversão de dados isolados como o ADC, que sozinhos são pouco intuitivos. Mesmo que seus valores sejam importantes e técnicamente relevantes, para o usuário leigo ele não contribui, podendo causar confusão. Por esse motivo, a transformação dos dados ADC em mais acessíveis, como a angulação e nível, facilita a interpretação, aproximando o projeto do usuário. Esses cálculos permitem a compreensão e acompanhamento, principalmente diante de diferentes situações e sessões.

Embora o FlexMotion tenha apresentado funcionamento satisfatório durante os testes realizados, algumas limitações devem ser consideradas. O protótipo utiliza apenas um sensor flex, restringindo a análise simultânea dos movimentos da mão, além de depender do correto posicionamento e da calibração do sensor para a obtenção das medidas. A angulação calculada pelo sistema também não foi comparada, nesta etapa, com um instrumento de referência, como um goniômetro, sendo necessária uma validação experimental adicional para determinar a exatidão das estimativas. Em relação à plataforma web, os dados ainda não são armazenados permanentemente, e seu funcionamento depende da comunicação com o broker MQTT. Dessa maneira, testes adicionais são necessários para avaliar a repetibilidade, confiabilidade e validade das medições realizadas pelo sistema.

Considerando os resultados, comparações e limitações, o projeto FlexMotion mostra potencial para auxiliar o acompanhamento de exercícios direcionados à reabilitação dos movimentos das mãos. O vínculo entre dispositivo e página web, com os cálculos do microcontrolador e visualização dos dados, permitem a compreensão dos usuários. Em aprimoramentos futuros, o projeto poderá ser aprimorado, com melhor conforto para vestir o dispositivo e mais sensores, sistema web com banco de dados, melhor interface e conexão por MQTT mais simples, assim permitindo um alcance maior.

Conclusão

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que o desenvolvimento do FlexMotion possibilitou a criação de um dispositivo vestível capaz de captar variações relacionadas à flexão do dedo e transformá-las em dados quantitativos para acompanhamento do movimento. O sistema permitiu a aquisição e o processamento dos valores obtidos pelo sensor, além da disponibilização de parâmetros como nível de flexão, angulação, resistência e ADC por meio da integração entre o dispositivo e a plataforma web. Dessa forma, o projeto apresentou potencial para auxiliar na representação objetiva dos movimentos realizados durante atividades fisioterapêuticas, favorecendo a visualização e o acompanhamento quantitativo dessas variações. Entretanto, por se tratar de um protótipo, ainda são necessários testes adicionais para avaliar a repetibilidade e a precisão das medições, bem como comparações com instrumentos de referência. Como continuidade do estudo, propõe-se o aprimoramento do dispositivo e sua posterior avaliação em situações de uso fisioterapêutico, buscando verificar sua aplicabilidade no acompanhamento da evolução dos movimentos das mãos.

Referências

BERNARDO, A. A. T. **Técnicas fisioterapêuticas utilizadas para tratar a espasticidade em indivíduos paraplégicos com lesão medular: uma revisão de literatura**. 2015. Dissertação (Mestrado em Fisioterapia) – Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa, Lisboa, 2015. Disponível em: http://hdl.handle.net/10400.21/6327. Acesso em: 7 set. 2026.

BERTELS, N. et al. Essential training variables of arm-hand training in people with cervical spinal cord injury: a systematic review. **Journal of Rehabilitation Medicine**, v. 55, p. jrm7147, 2023. DOI: 10.2340/jrm.v55.7147. Disponível em: https://doi.org/10.2340/jrm.v55.7147. Acesso em: 7 set. 2026.

CASTELLANOS-RUÍZ, J. A. et al. Uso de sensores inerciales en fisioterapia: una aproximación a procesos de evaluación del movimiento humano. **Universidad y Salud**, v. 23, n. 1, p. 55-63, 2021. DOI: 10.22267/rus.212301.214. Disponível em: https://doi.org/10.22267/rus.212301.214. Acesso em: 7 set. 2026.

DA LUZ, V. H. et al. Aplicações terapêuticas da polilaminina em doenças crônicas e degenerativas: evidências experimentais e perspectivas clínicas. **In**: **Saúde e Pesquisa: Reflexões e Evidências**. [S. l.]: Aurum Editora, 2026. cap. 2, p. 8-14. DOI: 10.63330/aurumpub.036-002. Disponível em: https://doi.org/10.63330/aurumpub.036-002. Acesso em: 7 set. 2026.

GALVÃO, A. A. C. B. et al. O potencial da inteligência artificial no diagnóstico precoce e tratamento personalizado: avanços e desafios na medicina moderna. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 13, n. 4, p. e0813445367, 2024. DOI: 10.33448/rsd-v13i4.45367. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/45367. Acesso em: 7 set. 2026.

MACEDO, F. S. et al. Novas perspectivas de fisioterapia respiratória em lesão medular: uma revisão sistemática. **Acta Paulista de Enfermagem**, v. 30, n. 5, p. 554-564, 2017. DOI: 10.1590/1982-0194201700077. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1982-0194201700077. Acesso em: 7 set. 2026.

MELO, A. M.; GUEDES, W. L. R.; SILVA, L. G. N. R. Criação, aplicação e avaliação de jogo educativo sobre código de ética profissional em fisioterapia para discentes de uma instituição de ensino superior. **Revista de Educação à Distância**, [S. l.], v. 1, n. 4, p. 75-90, 2026. DOI: 10.5281/zenodo.18648909. Disponível em: https://wyden.periodicoscientificos.com.br/index.php/READ/article/view/1281. Acesso em: 7 set. 2026.

NORA, F. G. S. A. et al. A evolução histórica da biomecânica e suas aplicações na formação em Educação Física e Fisioterapia: uma revisão sistemática da literatura. **Caderno Pedagógico**, v. 22, n. 8, p. e17440, 2025. DOI: 10.54033/cadpedv22n8-217. Disponível em: https://doi.org/10.54033/cadpedv22n8-217. Acesso em: 7 set. 2026.

SPOOREN, A. I. F. et al. Outcome of motor training programmes on arm and hand functioning in patients with cervical spinal cord injury according to different levels of the ICF: a systematic review. **Journal of Rehabilitation Medicine**, v. 41, n. 7, p. 497-505, 2009. DOI: 10.2340/16501977-0387. Disponível em: https://doi.org/10.2340/16501977-0387. Acesso em: 9 out. 2026.

ZACCHARIAS, E. G. **Sistema de eletromiografia adaptado – SEMA**. 2025. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Biomédica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2025.