



ENSINO MEDIADO POR TECNOLOGIAS DE RASTREAMENTO CORPORAL PARA O ESTUDO DE CINESIOLOGIA NA ENGENHARIA BIOMÉDICA

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2025.6314

Autores: VITÓRIA MARQUES PIRES, LUANA VARELA VACARI, EDUARDA BARBOSA KAUFFMANN, CAMILE DE SANTIS MARQUES, RAUL STRINGUETTI, ELLEN DE ASSIS MARCILI, TELMA DAGMAR OBERG, TAYNARA ARAUJO DE ASSIS, MARIA CECÍLIA FERREIRA, FABÍOLA CRISTINA RIBEIRO DE OLIVEIRA, LORENZO CAMPOS COIADO, LIA TOLEDO MOREIRA MOTA, SERGIO ROBERTO PEREIRA, SERGIO LUIZ NOVI JUNIOR, ALEXANDRE FONSECA BRANDAO

Resumo: Este trabalho propõe uma abordagem de ensino inovadora, com o uso de ambientes imersivos, que integram tecnologias de rastreamento corporal ao ensino de cinesiologia e biomecânica, contribuindo para a formação de engenheiros biomédicos. A cinesiologia, que investiga o movimento humano e a influência de forças mecânicas sobre o corpo, desempenha um papel essencial na prevenção de lesões e na reabilitação. Sua sinergia com a biomecânica sustenta a criação de soluções inovadoras, como próteses, órteses e exoesqueletos, e aprofunda a compreensão das respostas fisiológicas ao movimento. Durante os experimentos, os alunos puderam visualizar dados cinemáticos e fisiológicos em tempo real, o que favoreceu a aprendizagem ativa, a análise crítica dos resultados e o desenvolvimento de habilidades fundamentais para o trabalho em contextos clínicos e de pesquisa.

Palavras-chave: Reconhecimento de gestos, Cinesiologia, Ensino em Engenharia Biomédica

ENSINO MEDIADO POR TECNOLOGIAS DE RASTREAMENTO CORPORAL PARA O ESTUDO DE CINESIOLOGIA NA ENGENHARIA BIOMÉDICA

1 INTRODUÇÃO

A cinesiologia é a ciência dedicada ao estudo do movimento humano e da influência das forças mecânicas sobre o corpo, desempenhando um papel crucial na prevenção de lesões, na reabilitação e na melhoria do desempenho físico. Em sinergia com a biomecânica, ela constitui a base para a compreensão da dinâmica corporal e é essencial na formação de engenheiros biomédicos, já que abrange desde os fundamentos anatômicos e fisiológicos até a análise mecânica dos movimentos.

Segundo Hall (2016), a integração dos fundamentos anatômicos e fisiológicos com análises mecânicas é fundamental para o desenvolvimento de soluções inovadoras, que vão desde próteses e órteses até exoesqueletos e aplicações em ergonomia ou medicina do trabalho. Não só viabiliza a compreensão dos movimentos corporais, mas também orienta a criação de tecnologias voltadas à promoção da saúde, prevenção, reabilitação e otimização do desempenho funcional. A correlação com a fisiologia enriquece o aprendizado, proporcionando uma visão interdisciplinar do corpo humano e de suas respostas frente ao movimento e à consequente demanda metabólica.

Com o avanço das tecnologias da informação e dos sistemas de informática aplicados à saúde, surgiram soluções capazes de mensurar digitalmente a amplitude de movimento, possibilitando o monitoramento da evolução funcional de pacientes, pessoas idosas e pessoas com deficiência. No âmbito da Engenharia Biomédica, essa convergência entre cinesiologia, biomecânica e tecnologias de rastreamento corporal tem permitido o desenvolvimento de sistemas computacionais inovadores, como as soluções *KinesiOS* (SCUDELETTI et al., 2021) e *BRAINN_XR* (RODRIGUES et al., 2022), as quais capturam e analisam em tempo real os dados cinemáticos de um indivíduo, unindo custo reduzido a uma ampla aplicabilidade tanto na área clínica quanto na educacional (BRANDÃO et al., 2022; BRANDÃO et al., 2016).

O uso de metodologias colaborativas demonstra que a incorporação de sistemas de rastreamento corporal, por meio de ferramentas interativas que oferecem visualização em tempo real e feedback imediato sobre os movimentos, enriquece o processo de ensino-aprendizagem. Essa abordagem digital permite que os acadêmicos assimilem, de forma prática, os conceitos teóricos e abstratos, estimulando o desenvolvimento do raciocínio científico, o domínio dos sistemas fisiológicos e a capacitação para a aplicação das tecnologias na prática clínica e de pesquisa (SILVA et al., 2022).

Diante desse cenário, o presente trabalho propõe uma abordagem inovadora que integra o sistema *KinesiOS*, destinado à quantificação da amplitude de movimento, com o software *BRAINN_XR*, que associa tarefas motoras ao controle de interfaces virtuais. Essa estratégia visa quantificar, analisar e interpretar os movimentos articulares de indivíduos durante atividades específicas, promovendo uma integração entre o estudo do movimento humano (cinesiologia) e as respostas fisiológicas associadas à atividade física realizada. Assim, evidencia-se que a incorporação do ensino mediado por tecnologias digitais não apenas representa uma alternativa moderna aos métodos tradicionais, mas também configura uma estratégia promissora para transformar o ambiente de ensino-aprendizagem (HAMILL & KNUTZEN, 2015) em um processo mais dinâmico (ALMEIDA & LOPES, 2021), prático e alinhado às demandas interdisciplinares e tecnológicas da formação do Engenheiro Biomédico.

2 METODOLOGIA

Esta dinâmica educacional imersiva e interativa foi conduzida em dois ambientes complementares, o Laboratório de Informática em Saúde e Inovação – LISI, parte do Programa AioT Lab Brasil – MESCLA, e a sala imersiva CAVE 360°, parte do Programa de Experiências Educacionais Inovadoras – Manacás, ambos programas institucionais da PUC-Campinas.

Voltado para o desenvolvimento e inovação de soluções de informática em saúde, o LISI (figura 1) dispõe de computadores de alto desempenho, dispositivos e sensores de captura de movimento, monitores, televisores, projetores, dispositivos móveis e equipamentos de monitoramento fisiológico (frequencímetro cardíaco e bioimpedância). Esses recursos são fundamentais para atividades práticas que integram cinesiologia e fisiologia, permitindo uma melhor análise e integração entre os movimentos corporais e as respostas fisiológicas do nosso organismo.

Figura 1: Infraestrutura do LISI



Fonte: Figura elaborada pelos autores

A sala imersiva CAVE 360° (figura 2), oferece um ambiente multi-projeção para a exploração de objetos digitais e a visualização de dados científicos. Equipada com um sistema de projeção em 360 graus, este ambiente imersivo proporciona uma experiência visual envolvente, permitindo que os discentes possam reconstruir o comportamento motor e identificar assinaturas motoras de determinados movimentos corporais. No ensino de cinesiologia e biomecânica, este ambiente imersivo favorece uma compreensão mais aprofundada dos conceitos teóricos, pois possibilita a observação dos movimentos de forma integral em um ambiente controlado (BARBOSA & SILVA, 2020).

Figura 2: Ambiente imersivo – CAVE 360°

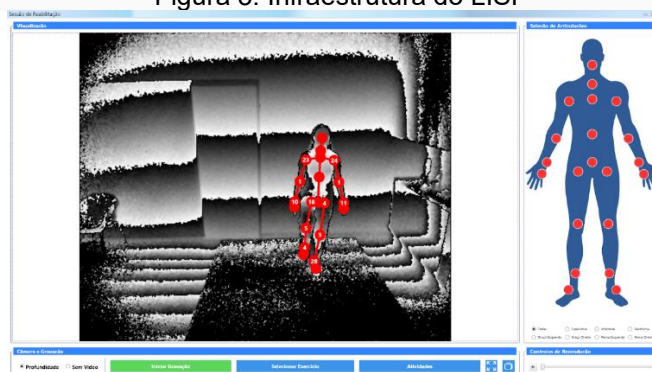


Fonte: Figura elaborada pelos autores

Além disso, os ambientes tecnológicos adotados têm estimulado práticas interativas e colaborativas, permitindo uma articulação eficaz entre teoria e prática nas disciplinas

relacionadas. A infraestrutura disponível no LISI possibilita a captação simultânea de dados cinemáticos e fisiológicos, ampliando as oportunidades de investigação prática e promovendo a interdisciplinaridade com as áreas de fisiologia e cinesiologia. A integração de tecnologias digitais, como o sistema KinesiOS (figura 3), permite uma análise precisa e em tempo real dos movimentos, fornecendo feedback imediato aos discentes, fundamental para a correção de gestos e o aprimoramento da consciência corporal (BRANDÃO, et al 2016).

Figura 3: Infraestrutura do LISI



Fonte: Figura elaborada pelos autores

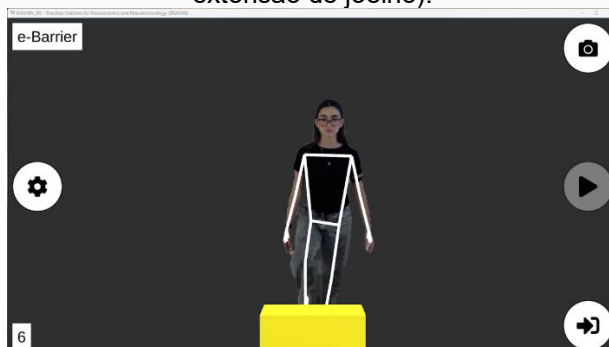
Dessa forma, o uso dessas tecnologias no ensino não só facilita a compreensão dos conteúdos, mas também desenvolve competências técnicas e científicas essenciais para a formação de engenheiros biomédicos. Os discentes aprendem a operar sistemas de captura de movimento, analisar dados biomecânicos e fisiológicos, além de gerar e interpretar gráficos, habilidades indispensáveis para a atuação em contextos clínicos e de pesquisa, onde a precisão e a reprodutibilidade dos procedimentos são cruciais (SILVA et al., 2022).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizou-se o software BRAINN_XR (aplicativo *e-Barrier*, figura 4), para analisar os movimentos dos membros inferiores durante uma simulação de marcha estacionária. Na atividade, os participantes alternaram a elevação dos joelhos para transpor 20 obstáculos virtuais, totalizando 10 elevações por perna. O rastreamento dos movimentos foi realizado por meio de câmeras RGB e infravermelho (KinesiOS), com foco específico nas articulações dos joelhos, o que permitiu acompanhar a regularidade e a alternância dos gestos. Embora originalmente desenvolvidas para aplicações recreativas, as técnicas de rastreamento corporal demonstraram-se um recurso valioso para fins educacionais na área da saúde, permitindo a captação precisa de mais de vinte articulações (SALLES et al., 2024). Sua configuração portátil (dispositivos com câmeras), de baixo custo e não invasiva, facilita sua utilização em atividades de ensino-aprendizagem, estando em sinergia com os princípios da Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL – do inglês, *Problem-Based Learning*) e da Teoria da Aprendizagem Significativa (MOREIRA, 2011).

Além da mensuração da amplitude articular, a frequência cardíaca foi monitorada com um sensor da marca Polar (modelo H10), visando correlacionar a execução motora com as respostas fisiológicas.

Figura 3: Interface do e-Barrier, com ultrapassagem de obstáculo controlado por interação gestual (flexão e extensão de joelho).



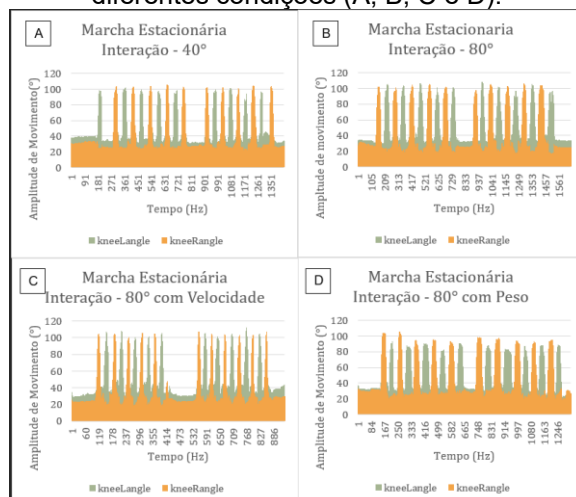
Fonte: Figura elaborada pelos autores

A tarefa foi estruturada em quatro fases consecutivas, cada uma com diferentes níveis de exigência (figura 5):

- A) Fase 1 – Interação com 40° de flexão de joelho: Configuração inicial com menor demanda articular, destinada à familiarização com a interface.
- B) Fase 2 – Interação com 80° de flexão de joelho: Redução da amplitude exigida para validar o engajamento motor e observar o impacto na frequência cardíaca.
- C) Fase 3 – Interação com 80° de flexão de joelho e aumento de velocidade voluntária: A frequência dos estímulos foi acelerada, exigindo respostas motoras mais rápidas.
- D) Fase 4 – Interação com 80° de flexão de joelho e carga adicional de um quilograma em cada tornozelo: Foi adicionada uma sobrecarga de 1 kg em cada perna, mantendo a amplitude da fase anterior, para avaliar o impacto fisiológico do esforço.

O experimento conduzido possibilitou uma análise detalhada da amplitude de movimento dos joelhos e da resposta cardiovascular em diferentes condições de marcha estacionária com obstáculos. Verificou-se que, a amplitude dos movimentos permaneceu consistente entre os voluntários, embora tenha variado conforme a dificuldade imposta. A tarefa com barreira de 40° (gráfico A) apresentou o menor tempo de duração, quando comparada à barreira de 80° (gráfico B). Adicionalmente, a imposição de maior velocidade (gráfico C) e a aplicação de carga (gráfico D) provocaram variações nos padrões de movimento, evidenciadas pela diferença na taxa de dados coletados (quadros por segundo) e na menor amplitude de movimento relacionada à sobrecarga.

Figura 5: Amplitude de flexão da articulação do joelho, durante a realização da marcha estacionária em diferentes condições (A, B, C e D).

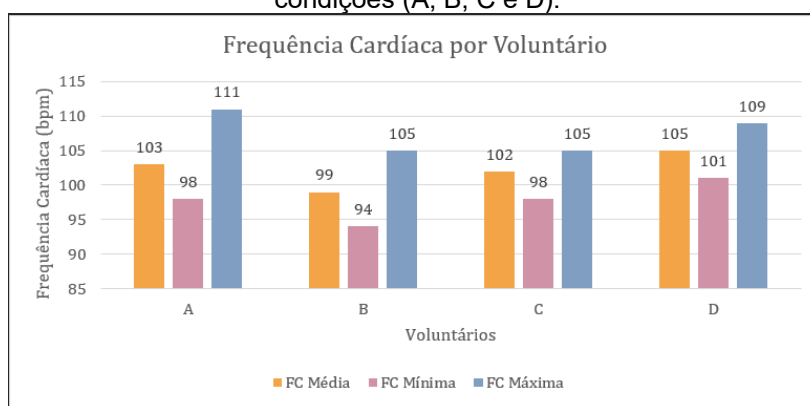


Fonte: Figura elaborada pelos autores

A coleta contínua da frequência cardíaca em todas as fases possibilitou uma análise comparativa da resposta cardiovascular frente ao aumento da demanda motora, evidenciada nas “A”, “B”, “C” e “D”. Essa abordagem permitiu, assim, avaliar não apenas o desempenho biomecânico, mas também a capacidade de adaptação fisiológica (de um dos voluntários, figura 6) diante dos diferentes níveis de esforço.

No que tange à resposta cardiovascular, observou-se um leve aumento nos valores médios, mínimos e máximos da frequência cardíaca nas tarefas de maior exigência, especialmente na condição de adição de peso (voluntário D) e de velocidade (voluntário C). Apesar dessas incrementos discretos, as variações entre os participantes foram pequenas, indicando que os voluntários mantiveram uma sobrecarga cardiovascular relativamente baixa (com variação de até 10%), mesmo diante das alterações nas condições de execução. Em síntese, os dados sugerem que o sistema de quantificação de movimento empregado demonstrou sensibilidade para detectar variações na amplitude dos joelhos em diferentes níveis de dificuldade, ao mesmo tempo em que o monitoramento da frequência cardíaca se mostrou uma ferramenta eficaz para avaliar a demanda fisiológica associada às distintas condições experimentais.

Figura 6: Mensuração da frequência cardíaca durante a realização da marcha estacionária em diferentes condições (A, B, C e D).



Fonte: Figura elaborada pelos autores

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os experimentos demonstraram que a utilização de sistemas de quantificação de movimento (como o KinesiOS) e de interação gestual com interfaces virtuais (como o BRAINN_XR) revela-se eficaz na detecção de variáveis cinemáticas, como amplitude de movimento, em diferentes condições de exigência motora. Combinando tecnologias de baixo custo, essa abordagem se mostra eficiente no suporte ao ensino dos conceitos fundamentais de cinesiologia e biomecânica na Engenharia Biomédica, permitindo que os acadêmicos visualizem, em tempo real, o comportamento motor e as adaptações de compensação de movimento durante as atividades experimentais.

A análise dos dados coletados possibilitou a identificação de padrões de movimento compatíveis com os descritos na literatura para indivíduos saudáveis, bem como permitiu a quantificação do movimento durante variações na tarefa motora, relacionadas a fatores como velocidade, coordenação e adaptação ao ambiente virtual. A aplicação prática dos conceitos teóricos, mediada por atividades tecnológicas, promoveu uma aprendizagem ativa e estimulou a análise crítica dos resultados, contribuindo para o desenvolvimento de competências essenciais, como a reflexão sobre o método científico, a compreensão dos sistemas

fisiológicos associados ao movimento e a capacitação profissional no uso de tecnologias de rastreamento corporal aplicadas à saúde.

Além do elevado potencial didático dessas ferramentas interativas, sua implementação em ambientes educacionais imersivos e multiusuários vem fortalecendo o engajamento dos acadêmicos, estimulando a participação ativa, despertando o interesse pela experimentação e promovendo a familiarização com metodologias de visão computacional, rastreamento corporal e quantificação do movimento. Essa abordagem digital para o estudo do movimento humano favorece a construção colaborativa do conhecimento entre os discentes, evidencia que a incorporação de tecnologias de quantificação de movimento não só representa uma alternativa moderna aos métodos tradicionais, mas também se configura como uma estratégia promissora para tornar o ambiente de ensino-aprendizagem mais dinâmico, prático e alinhado às demandas interdisciplinares e tecnológicas que orientam a formação do Engenheiro Biomédico.

Em síntese, reforçamos a importância da incorporação de metodologias inovadoras para a compreensão e análise fundamentada de maneira crítica do movimento humano e integração com os conceitos da fisiologia do esforço. Como perspectiva futura, sugere-se a ampliação do uso destas tecnologias digitais para a mensuração e geração de dados cinemáticos, a inclusão de diferentes perfis populacionais e a comparação entre dispositivos de captura de movimento, visando aprofundar a validação e a aplicabilidade pedagógica desses recursos tecnológicos.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi elaborado no âmbito das atividades desenvolvidas no Laboratório de Informática em Saúde e Inovação (LISI), o qual está vinculado ao Programa AioT Lab Brasil (MESCLA, PUC-Campinas), integra o Sistema Nacional de Laboratórios de Tecnologia Assistiva (SisAssistiva-MCTI, Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação) e o Instituto Brasileiro de Neurociências e de Neurotecnologias (BRAINN, CEPID FAPESP, Processo: 13/07559-3). Fomento: FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), Processo 15/03695-5 (<https://bv.fapesp.br/pt/bolsas/174853/aplicacao-e-desenvolvimento-de-ferramentas-de-realidade-virtual-para-complementar-a-terapia-convenci/>) e FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), Chamada Pública MCTI/FINEP/Ação Transversal – Tecnologia Assistiva: Ref. 2140/22 (<http://www.finep.gov.br/chamadas-publicas/chamadapublica/689>), contribuíram com o estruturação do parque de equipamentos do LISI.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, T. F.; LOPES, J. M. Uso de tecnologias digitais no ensino de cinesiologia: perspectivas para o aprendizado ativo. *Revista Brasileira de Ensino em Ciência e Tecnologia*, v. 14, n. 2, p. 89-103, 2021.

BARBOSA, F. T.; SILVA, A. L. Ensino de cinesiologia e biomecânica com recursos tecnológicos: uma abordagem prática. *Revista Educação Física e Saúde*, v. 8, n. 1, p. 45-58, 2020.

BRANDÃO AF, DIAS DR, CASTELLANO G, PARIZOTTO NA, TREVELIN LC. RehabGesture: An Alternative Tool for Measuring Human Movement. *Telemed J E Health*. 2016 Jul;22(7):584-9. doi: 10.1089/tmj.2015.0139. Epub 2016 May 12. PMID: 27172389.

BRANDÃO, ALEXANDRE F.; GUIMARÃES, MARCELO P.; DIAS, DIEGO R. C.; BREGA, JOSÉ R. F. Virtual and Augmented Reality for Neurofunctional Recovery and Human Movement Analysis. In: PAINÉIS - SIMPÓSIO DE REALIDADE VIRTUAL E AUMENTADA (SVR), 24. , 2022, Natal/RN. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2022 . p. 38-40. DOI: https://doi.org/10.5753/svr_estendido.2022.226937.

HALL, S. J. *Biomecânica básica*. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

HAMILL, J.; KNUTZEN, K. M. *Bases biomecânicas do movimento humano*. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2015.

MOREIRA, M. A. *Teoria da aprendizagem significativa: um referencial para a construção do conhecimento em saúde*. São Paulo: Cortez, 2011.

RODRIGUES, L. G. S.; DIAS, D. R. C.; DE PAIVA GUIMARÃES, M.; BRANDÃO, A. F.; ROCHA, L. C.; IOPE, R. L.; BREGA, J. R. F. Supervised Classification of Motor-Rehabilitation Body Movements with RGB Cameras and Pose Tracking Data. *Journal on Interactive Systems*, Porto Alegre, RS, v. 13, n. 1, p. 221–231, 2022. DOI: 10.5753/jis.2022.2409. Disponível em: <https://journals-sol.sbc.org.br/index.php/jis/article/view/2409>. Acesso em: 3 jun. 2025.

SALLES, R. F. et al. Avaliação do uso do sensor Kinect na análise do movimento humano para aplicações em saúde. *Revista de Pesquisa em Saúde*, v. 25, n. 1, p. 22-30, 2024.

SCUDELETTI, L.R., BRANDÃO, A.F., DIAS, D., BREGA, J.R.F. (2021). KinesiOS: A Telerehabilitation and Functional Analysis System for Post-Stroke Physical Rehabilitation Therapies. In: Gervasi, O., et al. *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2021*. ICCSA 2021. *Lecture Notes in Computer Science()*, vol 12950. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86960-1_13

SILVA, M. C. et al. Desenvolvimento de competências técnicas em engenharia biomédica através de metodologias ativas e tecnologias digitais. *Revista Brasileira de Educação Médica*, v. 46, n. 3, p. 1-10, 2022.

TEACHING MEDIATED BY BODY TRACKING TECHNOLOGIES FOR THE STUDY OF KINESIOLOGY IN BIOMEDICAL ENGINEERING

Abstract: *This work proposes an innovative teaching approach that integrates body tracking technologies into teaching kinesiology and biomechanics, contributing to the training of biomedical engineers. Kinesiology, which investigates human movement and the influence of mechanical forces on the body, plays an essential role in injury prevention and rehabilitation. Its synergy with biomechanics underpins the creation of innovative solutions, such as prosthetics, orthoses, and exoskeletons, and deepens the understanding of physiological responses to movement. With the advancement of information technologies, computer systems such as KinesiOS and BRAINN_XR enable the digital and real-time measurement of the range of motion, combining low cost and broad applicability in clinical and educational areas. Methodologically, the educational dynamic was implemented in two complementary environments: the Laboratory of Informatics in Health and Innovation and the immersive CAVE 360° room, both included in institutional programs. These facilities, equipped with motion capture sensors, physiological monitoring devices, and projection systems, enabled practical and interactive activities that combine theory and practice. During the experiments, students could view kinematic and physiological data in real time, which favored active learning, critical analysis of results, and the development of fundamental skills for working in clinical and research contexts. In short, incorporating these digital technologies modernizes traditional teaching methods. It represents a promising strategy for streamlining the educational environment, promoting more practical, collaborative training aligned with the interdisciplinary demands of Biomedical Engineering.*

Keywords: *Gestural Recognition, Kinesiology, Teaching in Biomedical Engineering.*

