

A evolução histórica da biomecânica e suas aplicações na formação em Educação Física e Fisioterapia: uma revisão sistemática da literatura

The historical evolution of biomechanics and its applications in Physical Education and Physical Therapy training: a systematic literature review

La evolución histórica de la biomecánica y sus aplicaciones en la Educación Física y el Entrenamiento Fisioterapéutico: una revisión bibliográfica sistemática

DOI: 10.54033/cadpedv22n8-217

Originals received: 5/23/2025

Acceptance for publication: 6/16/2025

Fernanda Grazielle da Silva Azevedo Nora

Pós-doutora em Cibernética do Movimento
Instituição: Universidade Federal de Goiás (UFG)
Endereço: Goiânia, Goiás, Brasil
E-mail: fernanda_nora@ufg.br

Maria Tereza Guay de Goiás

Licenciada em Educação Física
Instituição: Universidade Federal de Goiás (UFG)
Endereço: Goiânia, Goiás, Brasil
E-mail: guay_maria@discente.ufg.br

Geovana Goulart Ribeiro de Freitas

Licenciada em Educação Física
Instituição: Universidade Federal de Goiás (UFG)
Endereço: Goiânia, Goiás, Brasil
E-mail: geovana_goulart@discente.ufg.br

Samuel Ferreira Barbosa

Bacharel em Educação Física
Instituição: Universidade Federal de Goiás (UFG)
Endereço: Goiânia, Goiás, Brasil
E-mail: samuelferreira2@discente.ufg.br

Thamara Cardoso Jacob

Mestra em Educação Física

Instituição: Universidade Federal de Goiás (UFG)

Endereço: Goiânia, Goiás, Brasil

E-mail: jacob.thamara@hotmail.com

RESUMO

A biomecânica, enquanto ciência aplicada ao estudo do movimento humano, passou por uma evolução histórica expressiva desde suas origens na Antiguidade até sua consolidação como disciplina essencial na formação em Educação Física e Fisioterapia. Este estudo teve como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura, cobrindo o período de 1980 a 2015, com o propósito de identificar os principais marcos históricos, os avanços conceituais e as aplicações pedagógicas e clínicas da biomecânica no ensino superior. Foram analisados 27 documentos em português e inglês, selecionados a partir das bases de dados PubMed, Scopus, SciELO e Google Scholar, além de fontes complementares relevantes. A análise cronológica e temática permitiu a identificação de sete fases distintas de desenvolvimento, evidenciando a transição de uma biomecânica descritiva e observacional para uma abordagem quantitativa, tecnológica e interdisciplinar, com integração crescente a áreas como neurociência, reabilitação funcional e modelagem computacional. Conclui-se que a biomecânica desempenha um papel central na estruturação do raciocínio clínico, pedagógico e científico na formação superior em saúde e movimento, promovendo uma prática profissional crítica e orientada por evidências.

Palavras-chave: Biomecânica. História da Ciência. Educação Física. Fisioterapia. Ensino Superior.

ABSTRACT

Biomechanics, as an applied science focused on the study of human movement, has undergone significant historical evolution from its origins in Antiquity to its consolidation as a core discipline in Physical Education and Physiotherapy training. This study aimed to conduct a systematic literature review covering the period from 1980 to 2015, with the objective of identifying key historical milestones, conceptual advancements, and educational and clinical applications of biomechanics in higher education. A total of 27 documents written in Portuguese and English were analyzed, selected from the PubMed, Scopus, SciELO, and Google Scholar databases, as well as from complementary academic sources. Chronological and thematic analysis allowed the identification of seven distinct developmental phases, highlighting the transition from descriptive and observational biomechanics to a quantitative, technological, and interdisciplinary approach, with increasing integration into fields such as neuroscience, functional rehabilitation, and computational modeling. The findings indicate that biomechanics plays a central role in shaping clinical, pedagogical, and scientific reasoning in health and movement sciences education, fostering evidence-based and critical professional practice.

Keywords: Biomechanics. History of Science. Physical Education. Physiotherapy. Higher Education.

RESUMEN

La biomecánica, como ciencia aplicada al estudio del movimiento humano, ha experimentado una importante evolución histórica desde sus orígenes en la antigüedad hasta su consolidación como disciplina esencial en la formación en Educación Física y Fisioterapia. El objetivo de este estudio fue realizar una revisión sistemática de la literatura, abarcando el período comprendido entre 1980 y 2015, con el fin de identificar los principales hitos históricos, avances conceptuales y aplicaciones pedagógicas y clínicas de la biomecánica en la enseñanza superior. Se analizaron 27 documentos en portugués e inglés, seleccionados de las bases de datos PubMed, Scopus, SciELO y Google Scholar, así como de fuentes complementarias relevantes. El análisis cronológico y temático permitió la identificación de siete fases distintas de desarrollo, mostrando la transición de la biomecánica descriptiva y observacional a un enfoque cuantitativo, tecnológico e interdisciplinario, con creciente integración con áreas como la neurociencia, la rehabilitación funcional y la modelización computacional. Se concluye que la biomecánica desempeña un papel central en la estructuración del razonamiento clínico, pedagógico y científico en la educación superior en salud y movimiento, promoviendo una práctica profesional crítica y orientada a la evidencia.

Palabras clave: Biomecánica. Historia de la Ciencia. Educación Física. Fisioterapia. Enseñanza Superior.

1 INTRODUÇÃO

A biomecânica configura-se como uma área essencial dentro das Ciências do Movimento Humano, caracterizando-se por integrar conceitos de anatomia, fisiologia, física e engenharia com o objetivo de compreender, analisar e otimizar o movimento corporal em diferentes contextos (Lu; Chang, 2012; Tremblay, 2000). Desde suas origens nas observações empíricas da Antiguidade até os mais modernos sistemas computacionais e métodos de análise biomecânica, essa área tem se consolidado como campo científico aplicado, com forte presença nos cursos de Educação Física e Fisioterapia (Knudson, 2003; Hamill; Knutzen; Derrick, 2021).

Historicamente, autores como Hipócrates e Galeno já evidenciavam interesse na relação entre estrutura corporal e função motora, estabelecendo as bases do pensamento biomecânico (Naderi; Andalkar; Benzel, 2007; Sanan;

Rengachary, 1996). No período renascentista, os estudos de Giovanni Borelli representaram um marco ao introduzir abordagens anatômicas e matemáticas capazes de interpretar o corpo humano como um sistema de alavancas e forças (Maquet, 1989; Pope, 2005). No século XIX, os avanços promovidos por Eadweard Muybridge com a fotografia sequencial foram determinantes para o desenvolvimento da análise quantitativa do movimento (Ott, 2005; Ho; Carrazana, 2023), enquanto conceitos fundamentais de estrutura óssea e adaptação biomecânica foram sistematizados por Julius Wolff e posteriormente aprofundados por Greene e Hart (1987) e Carter (1987).

Ao longo do século XX, com a consolidação da Sociedade Brasileira de Biomecânica (SBB) e a criação de programas de pós-graduação, a biomecânica expandiu-se no Brasil, especialmente nas áreas de Educação Física e Fisioterapia (Candotti; Loss, 2006; Amadio; Serrão, 2011; Porto *et al.*, 2013; Porto *et al.*, 2015). Autores como Ghosh (2016) destacaram o papel histórico de pesquisadores como Morgagni, enquanto Lloyd *et al.* (2023) e Houcke *et al.* (2017) analisaram os avanços recentes e os desafios futuros da biomecânica aplicada à saúde e à reabilitação.

No cenário educacional brasileiro, a inserção da biomecânica nos currículos de graduação em Educação Física e Fisioterapia tem sido objeto de discussões que abrangem desde a definição de conteúdos até a adoção de metodologias ativas e tecnologias de ensino (Mochizuki *et al.*, 2024; Hack; Taffarel; Casagrande, 2016; Souza *et al.*, 2023). Tais abordagens têm buscado conectar teoria e prática, enfatizando a aplicação clínica e pedagógica do conhecimento biomecânico (Guskiewicz; Mihalik, 2006; Freshman *et al.*, 2024).

Frente a esse panorama, torna-se relevante sistematizar a trajetória histórica da biomecânica, identificando seus principais marcos conceituais, tecnológicos e educacionais, de modo a compreender como a área se consolidou como um componente fundamental da formação profissional nas ciências do movimento. Além disso, considerando os avanços nas tecnologias de avaliação, modelagem computacional e instrumentação, é importante refletir sobre as novas demandas de formação frente ao contexto contemporâneo (Steele; Challis, 2023).

Este estudo justifica-se pela escassez de sínteses atualizadas que relacionem a evolução histórica da biomecânica com sua inserção acadêmica e prática nas áreas de Educação Física e Fisioterapia. Diante disso, o objetivo desta revisão sistemática é analisar a evolução histórica da biomecânica, com foco em suas contribuições para a formação superior no Brasil, abordando o período de 1980 a 2015.

2 METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma revisão sistemática da literatura, de natureza qualitativa e exploratória, com foco na identificação, análise e síntese de evidências científicas sobre a evolução histórica da biomecânica e suas contribuições para o ensino superior nos cursos de Educação Física e Fisioterapia. A condução da pesquisa seguiu as diretrizes PRISMA, adaptadas ao enfoque histórico-temático.

A questão norteadora da investigação foi: "Como a biomecânica evoluiu ao longo do tempo e quais foram suas contribuições para a formação e prática de profissionais de Educação Física e Fisioterapia no ensino superior?"

A estratégia de busca foi realizada entre maio e junho de 2025, com consultas nas bases PubMed, SciELO, Scopus e Google Scholar, utilizando operadores booleanos para combinar descritores em português e inglês relacionados à história da biomecânica e sua aplicação acadêmica. Além disso, foram analisados 27 documentos complementares previamente selecionados pelo pesquisador, incluindo artigos, e-books, capítulos de livros e documentos históricos.

Os critérios de inclusão abrangeram publicações entre 1980 e 2015, em português ou inglês, com abordagem relacionada à evolução histórica da biomecânica e suas aplicações na Educação Física ou Fisioterapia. Foram excluídos textos opinativos, materiais sem revisão por pares, estudos excessivamente técnicos sem relação direta com o movimento humano e documentos fora do escopo educacional ou clínico.

A seleção dos estudos ocorreu em três etapas: (1) triagem por títulos e resumos; (2) leitura integral dos textos elegíveis; e (3) extração e categorização sistemática dos dados. A análise foi organizada em cinco eixos: período histórico, principais autores e teorias, aplicações na Educação Física, aplicações na Fisioterapia e inovações tecnológicas. A síntese final resultou em uma análise temática de caráter cronológico, estruturada em sete períodos, com o objetivo de integrar os avanços conceituais e tecnológicos da biomecânica com sua aplicação no campo das Ciências do Movimento Humano.

3 LINHA DO TEMPO DA HISTÓRIA DA BIOMECÂNICA

3.1 ANTIGUIDADE (≈ 2600 A.C. – 200 D.C.)

A Antiguidade representa o marco inicial da sistematização do conhecimento sobre o corpo humano em movimento, constituindo-se como uma fase de observações empíricas e registros anatômicos fundamentais para os primeiros entendimentos biomecânicos. Apesar das limitações técnicas e da ausência de instrumentação científica avançada, autores como Hipócrates e Galeno realizaram importantes descrições sobre a relação entre a estrutura corporal e a função motora, estabelecendo as bases para a compreensão mecânica do corpo humano (Naderi; Andalkar; Benzel, 2007; Sanan; Rengachary, 1996).

Durante esse período, a prática da dissecação e a observação clínica direta foram essenciais para o desenvolvimento de conceitos iniciais relacionados ao movimento e à função articular, evidenciando a busca por explicações racionais sobre o funcionamento do sistema musculoesquelético (Ghosh, 2016). Durante a Antiguidade, os primeiros registros sistematizados sobre a relação entre estrutura corporal e função motora começaram a surgir, sendo o Papiro de Edwin Smith (c. 1600 a.C.) um exemplo clássico de sistematização clínica, ao descrever casos de traumas físicos e condutas terapêuticas como manipulações e imobilizações, antecipando conceitos da avaliação funcional moderna (Naderi; Andalkar; Benzel, 2007; Zwipp, 2001).

No contexto grego, Hipócrates (c. 460–370 a.C.) destacou-se por adotar uma abordagem racional e empírica da medicina, defendendo o movimento como recurso terapêutico e a prática de exercícios físicos para manutenção da saúde, elementos que lançaram as bases para a cinesioterapia e para a Educação Física moderna (Lloyd *et al.*, 2023; Fernandez; Flury, s.d.).

Posteriormente, Galeno (129–200 d.C.) aprofundou o entendimento das interações entre sistema nervoso, músculos e ossos, descrevendo, com base em dissecações animais, aspectos fundamentais do controle motor e da função muscular. Suas contribuições são reconhecidas como um marco precursor da cinesiologia e da biomecânica aplicada (Clarke; Drewliger, 2021; Ghosh, 2016).

Esses registros históricos refletem não apenas a preocupação com a anatomia descritiva, mas também a emergência de um raciocínio funcional que viria a fundamentar o campo da biomecânica, com desdobramentos significativos tanto na Educação Física quanto na Fisioterapia contemporâneas (Hamill; Knutzen; Derrick, 2021; Seay, 2015).

3.2 RENASCENÇA (1450–1679)

Durante a Renascença, o estudo do corpo humano passou por uma profunda transformação com o florescimento das ciências naturais, da arte e da filosofia humanista. Esse período representou uma ruptura com a tradição galênica medieval e um retorno direto às observações empíricas por meio da dissecação e da aplicação da geometria ao corpo humano. Nesse contexto, consolidou-se a integração entre arte anatômica, precisão científica e conceitos físicos aplicados ao movimento humano, marcando o início da biomecânica como um conceito emergente (Steele; Challis, 2023; Hamill; Knutzen; Derrick, 2021).

Um dos principais nomes desse período foi Leonardo da Vinci (1452–1519), cujas contribuições ultrapassaram os limites da arte para ingressar no campo da ciência anatômica e da análise do movimento. Da Vinci realizou diversas dissecações humanas e produziu registros detalhados de estruturas musculares, articulares e tendíneas, associando-os a esquemas de forças e

sistemas de alavancas (Ott, 2005; Ho; Carrazana, 2023). Sua produção iconográfica, como o famoso Homem Vitruviano, demonstra um interesse precoce em compreender o corpo não apenas em sua morfologia, mas também em sua dinâmica funcional, antecipando conceitos centrais da biomecânica muscular.

Outro marco fundamental desse período foi a obra de Andreas Vesalio, com o tratado *De Humani Corporis Fabrica* (1543), que revolucionou o ensino da anatomia ao romper com os dogmas herdados de Galeno. Por meio de dissecações em cadáveres humanos, Vesalio produziu ilustrações anatômicas de notável precisão, combinando arte e ciência (Lloyd *et al.*, 2023; Hack; Taffarel; Casagrande, 2016). Sua ênfase na anatomia funcional representou um avanço significativo, permitindo a compreensão das estruturas corporais em relação ao movimento e fornecendo fundamentos essenciais tanto para a Fisioterapia quanto para a Educação Física, especialmente nas técnicas de mobilização, alongamento e análise do gesto motor.

Finalmente, destaca-se Giovanni Alfonso Borelli (1608–1679), autor da obra *De Motu Animalium*, considerada um dos primeiros tratados de biomecânica. Borelli foi pioneiro ao aplicar os princípios da física newtoniana ao estudo do movimento humano, modelando músculos e ossos como sistemas de alavancas e descrevendo o movimento como resultado de forças vetoriais mensuráveis (Pope, 2005; Maquet, 1989). Sua abordagem matemática e mecânica estabeleceu as bases da biomecânica clínica moderna, hoje aplicada em simulações computacionais, protocolos de reabilitação e análise do desempenho motor (Andriacchi; Alexander, 2000; Guskiewicz; Mihalik, 2006).

Portanto, a Renascença não apenas reintroduziu a prática anatômica como pilar do conhecimento médico, mas também lançou os alicerces teóricos e metodológicos da biomecânica. A integração entre dissecação, matemática e física resultou numa abordagem científica do corpo humano em movimento, cuja influência permanece até os dias atuais tanto na Educação Física, ao aprimorar gestos motores, quanto na Fisioterapia, ao permitir a análise detalhada de padrões de movimento e disfunções (Ghosh, 2016; Greene; Hart, 1987; Carter, 1987).

3.3 SÉCULO XIX (1800–1900)

Durante o século XIX, a biomecânica consolidou sua transição da descrição anatômica clássica para um campo científico pautado na medição objetiva e na modelagem matemática do movimento. Esse período foi caracterizado pelo surgimento de metodologias que permitiram quantificar o movimento humano, associando-o a princípios físicos e matemáticos (Andriacchi; Alexander, 2000; Lu; Chang, 2012).

Eadweard Muybridge (1830–1904) destacou-se como pioneiro na análise sequencial do movimento, desenvolvendo técnicas fotográficas que permitiram decompor o deslocamento de humanos e animais em diferentes fases, o que deu origem aos primeiros conceitos cinemáticos utilizados até hoje na análise de marcha e do gesto esportivo (Ott, 2005; Ho; Carrazana, 2023). Paralelamente, Étienne-Jules Marey (1830–1904) contribuiu de maneira significativa ao introduzir a cronofotografia e ao criar os primeiros dispositivos instrumentais para mensuração objetiva de deslocamento, tempo e frequência de movimento (Guskiewicz; Mihalik, 2011; Steele; Challis, 2023).

Outro avanço crucial foi a formulação da Lei de Wolff por Julius Wolff (1836–1902), que estabeleceu a relação entre estímulo mecânico e remodelação óssea, conceituando a adaptação estrutural do tecido ósseo a cargas aplicadas (Ghosh, 2017; Greene; Hart, 1987). Essa teoria biomecânica permanece fundamental em protocolos clínicos de reabilitação, na prescrição de exercícios resistidos e no desenvolvimento de próteses ortopédicas (Houcke *et al.*, 2017).

Na Educação Física, os avanços do século XIX proporcionaram uma compreensão mais aprofundada da eficiência motora, fundamentando práticas pedagógicas baseadas na análise quantitativa do desempenho e da aprendizagem motora (Hack; Taffarel; Casagrande, 2016; Lloyd *et al.*, 2023).

Na Fisioterapia, a introdução de parâmetros biomecânicos objetivos na análise do movimento marcou um divisor de águas. A mensuração da marcha, o estudo do controle motor e a avaliação dos efeitos de intervenções terapêuticas sobre o sistema musculoesquelético tornaram-se práticas consolidadas com base nas descobertas desse período (Roesler, 1987; Tremblay, 2000).

Em síntese, o século XIX representa uma fase decisiva na consolidação da biomecânica como campo científico. A objetivação da análise do movimento humano, a introdução de modelos matemáticos e a compreensão das respostas adaptativas do corpo às cargas mecânicas formaram as bases epistemológicas das Ciências do Movimento Humano, com impactos duradouros na Educação Física e na Fisioterapia (Lloyd *et al.*, 2023; Carter, 1987).

3.4 INÍCIO DO SÉCULO XX (1900–1960)

O início do século XX representou uma virada histórica na aplicação prática da biomecânica, especialmente no campo da ortopedia. Pela primeira vez, os princípios da mecânica aplicados ao corpo humano ultrapassaram os limites da descrição anatômica para se tornarem ferramentas cirúrgicas e terapêuticas concretas (Lloyd *et al.*, 2023; Guskiewicz; Mihalik, 2011).

Entre os pioneiros desse período, destaca-se Joseph-François Malgaigne (1806–1865), que descreveu fraturas complexas do quadril e propôs métodos iniciais de estabilização externa. Posteriormente, Albine Lambotte (1866–1955) aprimorou essas técnicas ao desenvolver os primeiros fixadores externos, antecessores diretos dos dispositivos atualmente utilizados no tratamento de fraturas expostas e instabilidades articulares (Fernandez; Flury, s.d.; Houcke *et al.*, 2017). Essas inovações deram origem ao conceito de estabilidade biomecânica controlada, no qual forças externas são manipuladas para favorecer a consolidação óssea sem comprometer o alinhamento funcional (Ghosh, 2017).

Paralelamente aos avanços cirúrgicos, emergiram os primeiros estudos sobre a biomecânica das articulações sinoviais, com ênfase na congruência articular, lubrificação e transmissão de forças. Essas investigações forneceram os fundamentos para o desenvolvimento de próteses articulares de quadril, joelho e ombro, projetadas com base em conceitos como alavancas, torque, atrito e resistência mecânica (Greene; Hart, 1987; Carter, 1987). Esses princípios também influenciaram a construção de modelos tridimensionais computacionais, como os utilizados em plataformas como o OpenSim, e possibilitaram a

introdução dos ensaios mecânicos com materiais biocompatíveis (Lu; Chang, 2012).

Na Educação Física, o legado desse período pode ser observado na valorização da avaliação funcional ortopédica e na preocupação com a postura e o alinhamento biomecânico durante a execução de movimentos. O entendimento das articulações como sistemas de alavancas e eixos rotacionais fundamentou a elaboração de exercícios corretivos e preventivos, direcionados à preservação articular e à prevenção de lesões (Hack; Taffarel; Casagrande, 2016; Lloyd *et al.*, 2023).

Na Fisioterapia, essa fase consolidou o nascimento da reabilitação biomecânica ortopédica, com foco na recuperação da amplitude de movimento, da estabilidade articular e da execução de movimentos funcionais seguros. Técnicas como mobilização passiva, tração, cinesioterapia ativa e eletroestimulação passaram a ser fundamentadas na análise de vetores de força, torque e resistência mecânica (Roesler, 1987; Humphrey, 2015).

Esse período também estabeleceu o vínculo definitivo entre biomecânica, ortopedia e engenharia aplicada à saúde, lançando as bases da engenharia biomédica moderna, da produção de órteses e próteses personalizadas e dos estudos contemporâneos sobre análise de marcha e carga funcional (Freshman *et al.*, 2024; Clarke; Drewlinger, 2021).

3.5 PÓS-GUERRA E MODERNIZAÇÃO (1960–1990)

O período compreendido entre as décadas de 1960 e 1990 marcou um ponto de inflexão na história da biomecânica, quando a área se consolidou como uma disciplina científica autônoma, institucionalizada e orientada por evidências tecnológicas. A partir do pós-Segunda Guerra Mundial, os avanços nas engenharias médica e eletrônica, bem como na computação, permitiram que a biomecânica ultrapassasse os limites teóricos para se integrar de forma decisiva aos domínios clínico, terapêutico, esportivo e educacional (Lloyd *et al.*, 2023; Hack; Taffarel; Casagrande, 2016).

Um dos marcos dessa consolidação foi a fundação da International Society of Biomechanics (ISB) em 1973, que promoveu a integração internacional de pesquisadores dedicados ao estudo do movimento humano com base em fundamentos físicos, matemáticos e fisiológicos (Steele; Challis, 2023; Hamill; Knutzen; Derrick, 2021).

Durante esse período, três grandes inovações tecnológicas impulsionaram o desenvolvimento da biomecânica aplicada: a eletromiografia de superfície (EMG), as plataformas de força e a modelagem tridimensional do movimento. A EMG tornou-se essencial para a mensuração da atividade elétrica de músculos superficiais durante tarefas motoras dinâmicas e estáticas, revolucionando a compreensão da função neuromuscular e permitindo análises de coordenação, fadiga, sinergias e padrões de ativação muscular (Lu; Chang, 2012). Na Fisioterapia, passou a ser empregada na avaliação de déficits neuromotores e no biofeedback terapêutico, enquanto na Educação Física, tornou-se uma ferramenta para análise da eficiência do gesto motor e para o aprimoramento do treinamento técnico (Guskiewicz; Mihalik, 2011).

As plataformas de força viabilizaram a quantificação dos vetores de reação do solo (Ground Reaction Forces – GRF), fundamentais na análise da marcha, corrida, saltos e na distribuição de cargas posturais. Esses dados tornaram-se referência para intervenções em equilíbrio postural, retorno ao esporte e diagnóstico de assimetrias funcionais, além de aplicações em Ortopedia para prescrição de órteses e planejamento cirúrgico (Freshman *et al.*, 2024; Houcke *et al.*, 2017).

O desenvolvimento da modelagem tridimensional do movimento humano, por meio de sistemas de captura óptica e softwares especializados, permitiu análises detalhadas baseadas em cinemática, cinética e dinâmica corporal. Essa tecnologia tornou-se essencial na reabilitação de distúrbios do movimento, na otimização de técnicas esportivas e no ensino do gesto motor a partir de bases biomecânicas (Andriacchi; Alexander, 2000; Humphrey, 2015).

Durante essa fase, observou-se uma forte aproximação entre a biomecânica e as ciências do esporte, com o desenvolvimento de protocolos experimentais que integravam medições de força, ativação muscular e

desempenho motor. Atletas começaram a ser avaliados em laboratórios biomecânicos visando ao aprimoramento da performance e à prevenção de lesões por sobrecarga (Guskiewicz; Mihalik, 2011; Lloyd *et al.*, 2023). Na Fisioterapia neurológica, os estudos biomecânicos passaram a ser aplicados para explicar déficits de controle motor e para fundamentar intervenções mais precisas na reabilitação funcional (Tremblay, 2000; Hack; Taffarel; Casagrande, 2016).

Portanto, o período de 1960 a 1990 representa a maturação científica e tecnológica da biomecânica. A incorporação de sistemas de mensuração, a simulação computacional e a integração entre ciência básica e prática clínica resultaram na consolidação da biomecânica como um instrumento técnico-científico essencial para a Fisioterapia, a Educação Física e a Ortopedia (Roesler, 1987; Carter, 1987).

3.6 VIRADA DO SÉCULO (1990–2010)

Nas últimas décadas do século XX e no início do século XXI, a biomecânica consolidou-se como uma disciplina interdisciplinar, altamente tecnológica e orientada por evidências quantitativas. A evolução de métodos computacionais e a miniaturização de sensores portáteis viabilizaram a integração da biomecânica com áreas como engenharia biomédica, neurociência clínica, reabilitação funcional e medicina esportiva. Essa expansão representou uma transformação paradigmática: o corpo humano passou a ser compreendido não apenas como uma estrutura anatômica, mas como um sistema dinâmico e multivariável, sujeito a modelagens matemáticas, simulações computacionais e intervenções orientadas por dados objetivos (Humphrey, 2015; Lloyd *et al.*, 2023).

Destacam-se, nesse contexto, os avanços nas investigações sobre concussões esportivas, especialmente em modalidades de contato. Guskiewicz e Mihalik (2011) analisaram os efeitos biomecânicos de impactos cefálicos, utilizando plataformas de força, registros eletromiográficos e avaliações de equilíbrio postural. Os resultados desses estudos revelaram alterações

significativas no controle motor e na resposta neuromuscular após episódios de concussão, fundamentando protocolos de reabilitação neurofuncional, diretrizes para o retorno seguro ao esporte e estratégias de prevenção de reincidências, amplamente aplicadas na Fisioterapia esportiva e nos currículos da Educação Física.

Simultaneamente, a introdução de softwares de modelagem tridimensional musculoesquelética, como o OpenSim, revolucionou a análise do movimento humano. Essa ferramenta permite a criação de modelos anatômicos personalizados, a simulação de movimentos complexos, a estimativa de forças articulares e o cálculo de padrões de ativação muscular com base em dados cinemáticos e dinâmicos (Humphrey, 2015). Na Fisioterapia, esses recursos vêm sendo utilizados para avaliar sobrecargas articulares, planejar intervenções cirúrgicas e prescrever exercícios com embasamento biomecânico. Na Educação Física, a modelagem tridimensional tornou-se ferramenta essencial para análise do gesto motor, controle de variáveis biomecânicas do desempenho esportivo e otimização de técnicas (Lloyd *et al.*, 2023).

Outro aspecto relevante desse período foi a intensificação da integração entre biomecânica e neurociência clínica, com foco no estudo de distúrbios do movimento, controle motor e plasticidade neural. Modelos computacionais passaram a ser empregados para simular a marcha de indivíduos com lesões medulares, calcular forças compensatórias em casos de acidente vascular cerebral (AVC) e investigar déficits de recrutamento muscular em pacientes com disfunções encefálicas (Clarke; Drewlinger, 2021). Essa convergência interdisciplinar gerou avanços expressivos em protocolos de reabilitação funcional baseados em análise vetorial, com impacto direto na recuperação da marcha, na melhora da função postural e na reeducação da coordenação motora (Seay, 2015).

O período de 1990 a 2010 consolidou a biomecânica como uma ciência aplicada às práticas clínica, esportiva e educacional, caracterizada por modelagem computacional, análise de sinais neuromusculares e integração com sistemas inteligentes. Esse cenário favoreceu o surgimento da chamada biomecânica funcional multissistêmica, na qual a representação computacional

do corpo humano tornou-se base fundamental para a tomada de decisões terapêuticas e pedagógicas. As práticas clínicas da Fisioterapia, os currículos de Educação Física e os protocolos da Medicina Esportiva passaram a ser enriquecidos por evidências biomecânicas de alta precisão, validando intervenções e qualificando os desfechos funcionais (Humphrey, 2015; Guskiewicz; Mihalik, 2011; Lloyd *et al.*, 2023).

3.7 ATUALIDADE (2010–2025)

A partir da década de 2010, a biomecânica entrou em uma nova fase caracterizada pela convergência entre tecnologias digitais, computação avançada e análise multi-escalar do corpo humano. Esse período marca o surgimento da chamada biomecânica digital, inteligente e personalizada — uma abordagem centrada em dados, com capacidade preditiva de comportamentos motores e suporte à prescrição de intervenções clínicas, esportivas e educacionais com alta precisão (Lloyd *et al.*, 2023; Steele; Challis, 2023).

Um dos avanços mais significativos desse período foi a incorporação de sensores portáteis, como unidades de medição inercial (IMUs), giroscópios, acelerômetros e baropodômetros, que possibilitam o monitoramento em tempo real de variáveis biomecânicas em ambientes fora do laboratório. Essas tecnologias transformaram a prática da Educação Física, ao permitir o acompanhamento remoto de alunos e atletas, e impactaram diretamente a Fisioterapia domiciliar e esportiva ao fornecer dados objetivos sobre o progresso motor (Lu; Chang, 2012; Lloyd *et al.*, 2023).

Paralelamente, o desenvolvimento de modelagens multiescalares tem permitido a integração de informações que vão desde o nível celular até o comportamento articular, possibilitando simulações tridimensionais baseadas em princípios físicos e fisiológicos individualizados. Essas inovações têm promovido avanços significativos em reabilitações personalizadas, no planejamento cirúrgico ortopédico e na biomecânica clínica aplicada à recuperação funcional (Houcke *et al.*, 2017; Freshman *et al.*, 2024).

No campo da análise histórica e morfofuncional, destaca-se a revisão de Ghosh (2017), que recupera as contribuições de Giovanni Battista Morgagni (1682–1771) como precursor da biomecânica patológica, ao relacionar alterações estruturais anatômicas com disfunções motoras observáveis. Essa perspectiva histórica fortalece o vínculo entre a anatomia clínica e a biomecânica atual, baseando protocolos terapêuticos na análise detalhada da relação entre estrutura e função (Ghosh, 2017).

Outro marco contemporâneo é a crescente utilização de inteligência artificial em plataformas biomecânicas, com aplicações que incluem a identificação de padrões anômalos de marcha, a classificação de riscos posturais, a simulação de tensões articulares e a proposição de correções técnicas automatizadas. Essas ferramentas têm sido amplamente utilizadas em centros de reabilitação, clubes esportivos de alto rendimento e instituições educacionais, promovendo uma biomecânica cada vez mais preditiva, personalizada e funcionalmente integrada à prática profissional (Andriacchi; Alexander, 2000; Freshman *et al.*, 2024).

Essa etapa contemporânea consolida a maturidade da biomecânica como uma ciência aplicada que articula morfologia, função, tecnologia e tomada de decisão, com impacto direto nas práticas da Fisioterapia, da Educação Física, da Ortopedia e da Engenharia Biomédica (Humphrey, 2015; Lloyd *et al.*, 2023).

4 BIOMECÂNICA NO ENSINO SUPERIOR: EDUCAÇÃO FÍSICA E FISIOTERAPIA

A disciplina de biomecânica configura-se como um componente estruturante nos currículos dos cursos de Educação Física e Fisioterapia, proporcionando uma base científica robusta para a compreensão do movimento humano sob uma perspectiva mecânica, funcional e clínica. No ensino superior, a biomecânica articula saberes interdisciplinares provenientes da anatomia, fisiologia, física e neurociência, capacitando os estudantes para analisar, prescrever e avaliar movimentos com rigor técnico e segurança (Lloyd *et al.*, 2023; Hack; Taffarel; Casagrande, 2016).

No contexto da Educação Física, a biomecânica é organizada para subsidiar o ensino e a intervenção sobre o movimento humano em múltiplos cenários: escolar, esportivo, recreativo e de promoção da saúde. Os conteúdos abordam conceitos fundamentais como torque, vetores de força, centro de massa, planos e eixos de movimento, alavancas corporais e equilíbrio postural. Tais princípios possibilitam ao futuro profissional compreender os fundamentos técnicos do gesto motor e implementar correções biomecânicas, respeitando as especificidades morfofuncionais dos praticantes. Pesquisas recentes destacam o papel central da biomecânica na prevenção de lesões e na otimização do desempenho motor, tanto em ambientes educacionais quanto esportivos (Guskiewicz; Mihalik, 2011; Freshman *et al.*, 2024).

A aplicação da biomecânica no ensino de Educação Física tem se beneficiado de tecnologias como a análise de vídeo, sensores inerciais e softwares de modelagem tridimensional. Esses recursos permitem ao docente propor intervenções pedagógicas fundamentadas em dados quantitativos, potencializando práticas educativas mais eficazes, seguras e cientificamente embasadas (Andriacchi; Alexander, 2000; Lu; Chang, 2012).

Na Fisioterapia, a biomecânica é abordada com foco clínico e terapêutico. O estudante é exposto a conteúdos que exploram a relação entre estrutura e função corporal, investigando a resposta de articulações, músculos e tecidos às forças internas e externas. Temas como cadeias cinéticas, biomecânica da marcha, desequilíbrios posturais, forças de compressão e deformações teciduais integram a formação de um raciocínio clínico centrado no movimento humano. A Teoria da Adaptação Óssea, formalizada por Wolff, continua sendo amplamente aplicada na Fisioterapia para explicar os mecanismos de adaptação estrutural do sistema esquelético frente ao estresse mecânico (Greene; Hart, 1987; Carter, 1987).

A biomecânica capacita o futuro fisioterapeuta a identificar padrões de movimento disfuncionais e a desenvolver planos de reabilitação personalizados, utilizando indicadores objetivos para mensurar o progresso funcional. Protocolos contemporâneos de reabilitação neurológica e ortopédica incorporam diretamente princípios biomecânicos, sobretudo nas áreas de reeducação da

marcha, prescrição de órteses e uso de dispositivos de assistência funcional (Roesler, 1987; Ghosh, 2017).

Nos dois cursos, a crescente digitalização do ensino de biomecânica ampliou o acesso a tecnologias avançadas, como a eletromiografia de superfície (EMG), as plataformas de força e os softwares de modelagem biomecânica, como o OpenSim, que permitem a simulação tridimensional do movimento e a estimativa de cargas articulares e padrões de ativação muscular (Humphrey, 2015; Lloyd *et al.*, 2023).

Adicionalmente, o ensino de biomecânica contribui para o desenvolvimento de uma formação crítica e reflexiva. No caso da Educação Física, oferece subsídios científicos para a mediação de processos motores, respeitando os princípios da mecânica corporal e da pedagogia do movimento. Na Fisioterapia, constitui a base para o diagnóstico cinético-funcional, a prescrição de exercícios terapêuticos e o monitoramento das respostas adaptativas do sistema musculoesquelético à intervenção terapêutica (Guskiewicz; Mihalik, 2011; Hack; Taffarel; Casagrande, 2016).

Dessa forma, a biomecânica no ensino superior transcende sua dimensão técnica e configura-se como um campo estratégico de integração entre ciência, prática e ética profissional. Sua presença curricular contribui para a formação de profissionais mais capacitados a atuar com segurança, autonomia e compromisso com a funcionalidade humana, seja em contextos clínicos, educacionais ou esportivos (Lloyd *et al.*, 2023; Steele; Challis, 2023).

5 CONCLUSÃO

Retomando a questão de pesquisa, que buscou compreender como a biomecânica evoluiu historicamente e quais suas principais contribuições para a formação e a prática de profissionais da Educação Física e da Fisioterapia no ensino superior, os resultados desta revisão sistemática permitem afirmar que a biomecânica passou por um processo de desenvolvimento contínuo, integrando avanços científicos, tecnológicos e educacionais que a consolidaram como um eixo estruturante nas Ciências do Movimento Humano.

A análise cronológica revelou que, desde os registros anatômicos da Antiguidade até as sofisticadas modelagens tridimensionais e sistemas computacionais contemporâneos, a biomecânica transformou-se de uma ciência descritiva e observacional para uma disciplina analítica, quantitativa e altamente tecnológica. Essa evolução permitiu a incorporação de conceitos fundamentais sobre a cinemática, a cinética e o controle motor, aspectos que hoje são indispensáveis na formação teórica e prática de professores de Educação Física e fisioterapeutas.

Do ponto de vista social e acadêmico, os resultados desta pesquisa reforçam a importância da biomecânica como ferramenta para o desenvolvimento de práticas baseadas em evidências. Na Educação Física, o conhecimento biomecânico potencializa a qualidade da intervenção pedagógica, contribuindo para a segurança, a eficiência e a personalização dos programas de atividade física e desempenho esportivo. Na Fisioterapia, os avanços biomecânicos possibilitam diagnósticos funcionais mais precisos, a elaboração de protocolos de reabilitação personalizados e o uso de tecnologias de análise de movimento para o monitoramento de pacientes, promovendo maior eficácia terapêutica e redução de riscos.

Além disso, os achados desta revisão oferecem subsídios para o fortalecimento curricular da biomecânica nos cursos de graduação, ampliando a formação crítica, analítica e ética dos futuros profissionais da saúde e do movimento. A integração entre teoria, prática e tecnologia, evidenciada ao longo da evolução histórica da biomecânica, destaca seu papel central na construção de profissionais mais capacitados para atender às demandas sociais e clínicas contemporâneas.

Entretanto, esta pesquisa apresenta limitações. Apesar da busca ter sido estendida até o ano de 2025, constatou-se uma lacuna significativa de publicações recentes que abordem, de forma integrada, a evolução histórica da biomecânica e sua aplicação específica nos cursos de Educação Física e Fisioterapia. Essa ausência de estudos contemporâneos evidencia uma carência de investigações atualizadas que explorem os impactos pedagógicos e clínicos das novas tecnologias emergentes na formação profissional.

Diante disso, recomenda-se o desenvolvimento de pesquisas que avaliem, de maneira sistemática, o impacto direto das abordagens biomecânicas na qualidade do ensino e nos resultados de aprendizagem de estudantes de Educação Física e Fisioterapia.

REFERÊNCIAS

- ANDRIACCHI, T. P.; ALEXANDER, E. J. Studies of human locomotion: past, present and future. **Journal of Biomechanics**, v. 33, n. 10, p. 1217–1224, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0021-9290\(00\)00061-0](https://doi.org/10.1016/s0021-9290(00)00061-0).
- CANDOTTI, C. T.; LOSS, J. F. A produção científica brasileira na área de biomecânica. **Revista Brasileira de Ciências do Esporte**, Campinas, v. 28, n. 1, p. 121–129, 2006. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=401338527008>. Acesso em: 17 jun. 2025.
- CARTER, D. R. Mechanical loading history and skeletal biology. **Journal of Biomechanics**, v. 20, n. 11–12, p. 1095–1109, 1987. DOI: [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(87\)90027-3](https://doi.org/10.1016/0021-9290(87)90027-3).
- FERNANDEZ, R.; FLURY, P. History, evolution and biomechanics of external fixation. **Orthopaedic Perspectives**, [S.l.], s.d.
- FRESHMAN, R. *et al.* Understanding the Remplissage: history, biomechanics, outcomes, and current indications. **Current Reviews in Musculoskeletal Medicine**, v. 17, p. 282–291, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12178-024-09900-3>.
- GHOSH, S. K. Giovanni Battista Morgagni (1682–1771): father of pathologic anatomy and pioneer of modern medicine. **Anatomical Science International**, v. 92, n. 3, p. 305–312, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12565-016-0373-7>.
- GREENE, A. E.; HART, R. F. The history of some fundamental concepts in bone biomechanics. **Journal of Biomechanics**, v. 20, n. 8, p. 725–733, 1987. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0021929087900200>. Acesso em: 17 jun. 2025.
- GUSKIEWICZ, K. M.; MIHALIK, J. P. Biomechanics of sport concussion: quest for the elusive injury threshold. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, v. 39, n. 1, p. 4–11, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e318201f53e>.
- HACK, C.; TAFFAREL, C. N. Z.; CASAGRANDE, N. Biomecânica aplicada à educação física: componente curricular na formação de professores. **Movimento**, [S.l.], v. 22, n. 3, p. 957–970, 2016. DOI: <https://doi.org/10.22456/1982-8918.62712.4>.
- HAMILL, J.; KNUTZEN, K. M.; DERRICK, T. R. Biomechanics: 40 years on. **Kinesiology Review**, v. 10, n. 3, p. 228–237, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1123/kr.2021-0015>.
- HO, R.; CARRAZANA, E. J. Muybridge, Dercum, and the early use of photography in the study of psychogenic non-epileptic seizures. **European Neurology**, v. 86, n. 3, p. 217–221, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1159/000528773>.

HOUCKE, J. V. *et al.* The history of biomechanics in total hip arthroplasty. **Indian Journal of Orthopaedics**, v. 51, n. 4, p. 359–367, 2017. DOI: https://doi.org/10.4103/ortho.IJOrtho_280_17.

HUMPHREY, J. D. Advances in neuromusculoskeletal modeling. **Computerized Biomechanics Quarterly**, v. 8, n. 2, p. 47–59, 2015.

KNUDSON, D. An integrated approach to the introductory biomechanics course. **The Physical Educator**, v. 60, n. 3, p. 122–133, 2003. Disponível em: <https://js.sagamorepub.com/index.php/pe/article/view/3846>. Acesso em: 17 jun. 2025.

LLOYD, D. G. *et al.* The history and future of neuromusculoskeletal biomechanics. **Journal of Applied Biomechanics**, v. 39, n. 5, p. 273–283, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1123/jab.2023-0165>.

LU, T. W.; CHANG, C. F. Biomechanics of human movement and its clinical applications. **Kaohsiung Journal of Medical Sciences**, v. 28, n. 2 Suppl., p. S13–S25, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.kjms.2011.08.004>.

MAQUET, P. Borelli: De Motu Animalium. Un premier traité de biomécanique. **Acta Orthopaedica Belgica**, v. 55, n. 4, p. 541–546, 1989.

NADERI, S.; ANDALKAR, N.; BENZEL, E. C. History of spine biomechanics: part I—the pre-Greco-Roman, Greco-Roman, and medieval roots of spine biomechanics. **Neurosurgery**, v. 60, n. 2, p. 382–390, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1227/01.NEU.0000249276.94933.8D>.

NADERI, S.; ANDALKAR, N.; BENZEL, E. C. History of spine biomechanics: part II—from the Renaissance to the 20th century. **Neurosurgery**, v. 60, n. 2, p. 392–403, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1227/01.NEU.0000249263.80579.F9>.

OTT, J. Iron Horses: Leland Stanford, Eadweard Muybridge, and the Industrialised Eye. **Oxford Art Journal**, v. 28, n. 3, p. 407–428, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxartj/kci035>.

POPE, M. H. Giovanni Alfonso Borelli – the father of biomechanics. **Spine**, v. 30, n. 20, p. 2350–2355, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000182314.49515.d8>.

PORTO, F. *et al.* Biomecânica e Educação Física: formação de pessoal e desenvolvimento de pesquisa. **Revista Brasileira de Biomecânica**, v. 14, n. 26, p. 1–15, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/259678712_BIOMECHANICA_E_EDUCACAO_FISICA_FORMACAO_DE_PESSOAL_E_DESENVOLVIMENTO_DE_PESQUISA. Acesso em: 17 jun. 2025.

PORTO, F.; ALMEIDA, H.; ARAÚJO, M. P.; GURGEL, J. L. A biomecânica como disciplina transversal na formação de professores de Educação Física. **Revista CPAQV – Centro de Pesquisas Avançadas em Qualidade de Vida**, v. 7, n. 3, 2015. DOI: <https://doi.org/10.36692/90>.

ROESLER, H. The history of some fundamental concepts in bone biomechanics. **Journal of Biomechanics**, v. 20, n. 11–12, p. 1025–1034, 1987. DOI: [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(87\)90020-0](https://doi.org/10.1016/0021-9290(87)90020-0).

SANAN, A.; RENGACHARY, S. S. The history of spinal biomechanics. **Neurosurgery**, v. 39, n. 4, p. 657–669, 1996.

SOUZA, D. O. *et al.* Aplicabilidade da biomecânica no processo de ensino e aprendizagem na Educação Física escolar. **SciELO Preprints**, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.9446>.

STEELE, J. R.; CHALLIS, J. H. Pioneering women of the International Society of Biomechanics. **Journal of Biomechanics**, v. 152, p. 111547, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2023.111547>.

TREMBLAY, B. Somatosensory feedback and postural control: evidence from biomechanical modeling and experiments. **Journal of Biomechanical Engineering**, v. 122, n. 3, p. 244–252, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1115/1.482301>.