



UEPB
UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO FÍSICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM BACHARELADO EM EDUCAÇÃO FÍSICA

JOSÉ VITOR ANDRADE CABRAL

**O USO DA ELETROMIOGRAFIA PARA AVALIAÇÃO DA FADIGA MUSCULAR
EM CORREDORES: UMA REVISÃO INTEGRATIVA**

CAMPINA GRANDE - PB
2025

JOSÉ VITOR ANDRADE CABRAL

**O USO DA ELETROMIOGRAFIA PARA AVALIAÇÃO DA FADIGA MUSCULAR
EM CORREDORES: UMA REVISÃO INTEGRATIVA**

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo) apresentado à Coordenação do Curso de Educação Física da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Educação Física.

Orientador: Prof. Me. André Almeida.

**CAMPINA GRANDE - PB
2025**

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto em versão impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que, na reprodução, figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

C117u Cabral, Jose Vitor Andrade.
O uso da eletromiografia para avaliação da fadiga muscular em corredores [manuscrito] : uma revisão integrativa / Jose Vitor Andrade Cabral. - 2025.
23 f. : il.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Educação física) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, 2025.

"Orientação : Prof. Me. André Almeida, Departamento de Computação - CCT".

1. Eletromiografia. 2. Fadiga muscular. 3. Corrida. 4. Biomecânica. 5. Desempenho esportivo. I. Título

21. ed. CDD 613.71

JOSE VITOR ANDRADE CABRAL

O USO DA ELETROMIOGRAFIA PARA AVALIAÇÃO DA FADIGA MUSCULAR EM
CORREDORES: UMA REVISÃO INTEGRATIVA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso
de Educação Física da Universidade
Estadual da Paraíba, como requisito
parcial à obtenção do título de
Bacharelado em Educação Física

Aprovada em: 12/06/2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado eletronicamente por:

- **Diego Vinicius Duarte Cavalcante** (***.591.754-**), em **01/07/2025 13:57:35** com chave **7c962ab0569c11f0baf106adb0a3afce**.
- **Josenaldo Lopes Dias** (***.451.864-**), em **30/06/2025 15:06:14** com chave **e97dca9a55dc11f0b6ca2618257239a1**.
- **André Almeida** (***.742.804-**), em **30/06/2025 14:53:18** com chave **1b17891c55db11f0b1a01a7cc27eb1f9**.

Documento emitido pelo SUAP. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QrCode ao lado ou acesse https://suap.uepb.edu.br/comum/autenticar_documento/ e informe os dados a seguir.

Tipo de Documento: Folha de Aprovação do Projeto Final

Data da Emissão: 04/07/2025

Código de Autenticação: b208d7



SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 REFERENCIAL TEÓRICO	5
2.1 ELETROMIOGRAFIA	5
2.2 FADIGA MUSCULAR	7
2.3 CORRIDA E IMPLICAÇÕES MUSCULARES	8
3 METODOLOGIA.....	9
4 RESULTADOS	10
5 DISCUSSÃO.....	11
5.1 PADRÕES DE ATIVAÇÃO MUSCULAR IDENTIFICADOS POR EMG EM DIFERENTES INTENSIDADES DE CORRIDA	11
5.2 IMPACTOS DA FADIGA MUSCULAR NA BIOMÉCANICA DA CORRIDA: EVIDÊNCIAS ELETROMIOGRÁFICAS.....	12
5.3 A UTILIZAÇÃO DA EMG COMO FERRAMENTA PARA MONITORAMENTO E PREVENÇÃO DE LESÕES EM CORREDORES	13
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	14
REFERÊNCIAS.....	14
AGRADECIMENTOS.....	16

O USO DA ELETROMIOGRAFIA PARA AVALIAÇÃO DA FADIGA MUSCULAR EM CORREDORES: UMA REVISÃO INTEGRATIVA

THE USE OF ELECTROMYOGRAPHY TO EVALUATE MUSCLE FATIGUE IN RUNNERS: AN INTEGRATIVE REVIEW

José Vitor Andrade Cabral¹
André Almeida²

RESUMO

A fadiga muscular pode comprometer significativamente o desempenho de corredores e predispor lesões. A eletromiografia (EMG) é uma ferramenta eficaz para mensurar a atividade elétrica muscular e identificar alterações associadas à fadiga durante a corrida. Este estudo teve como objetivo analisar a aplicação da EMG na avaliação da fadiga muscular em corredores, observando seus efeitos na biomecânica da corrida e no desempenho esportivo. Para tanto, foi realizada uma revisão integrativa da literatura nas bases PubMed e BVS, sem recorte temporal, utilizando descritores relacionados à eletromiografia, fadiga e corrida. Após critérios de inclusão, nove estudos foram analisados. Os resultados demonstraram que os músculos biarticulares, como o reto femoral e o bíceps femoral, são mais suscetíveis à fadiga durante corridas intensas, e que alterações nos padrões de ativação muscular influenciam diretamente na biomecânica da corrida. Conclui-se que a EMG é uma ferramenta relevante para o monitoramento da fadiga muscular em corredores, contribuindo para estratégias de prevenção de lesões e otimização do desempenho.

Palavras-chave: eletromiografia; fadiga muscular; corrida; biomecânica; desempenho esportivo.

ABSTRACT

Muscle fatigue can significantly impair the performance of runners and increase the risk of injury. Electromyography (EMG) is an effective tool for measuring muscle electrical activity and detecting fatigue-related changes during running. This study aimed to analyze the application of EMG in assessing muscle fatigue in runners, focusing on its effects on running biomechanics and athletic performance. An integrative literature review was conducted in the PubMed and BVS databases, with no time restriction, using descriptors related to electromyography, fatigue, and running. After applying inclusion criteria, nine studies were analyzed. The results showed that biarticular muscles, such as the rectus femoris and biceps femoris, are more prone to fatigue during high-intensity running, and that changes in muscle activation patterns directly affect running biomechanics. It is concluded that EMG is a relevant tool for monitoring muscle fatigue in runners, contributing to injury prevention and performance optimization strategies.

Keywords: electromyography; muscle fatigue; running; biomechanics; athletic performance.

¹ Graduando em Educação Física pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). E-mail: vitorandradeprof@gmail.com.

² Mestre em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).
Graduação em Ciência da Computação pela UEPB. Professor substituto na UEPB.

1 INTRODUÇÃO

A corrida é uma das modalidades esportivas mais praticadas globalmente, tanto por atletas de alto rendimento quanto por praticantes recreacionais. Embora seus benefícios sejam amplamente reconhecidos, a prática contínua e em intensidades elevadas pode levar ao aparecimento da fadiga muscular, um fenômeno fisiológico caracterizado pela redução da capacidade de gerar força ou potência, mesmo diante de estímulo neural contínuo (Enoka; Duchateau, 2008). A presença da fadiga afeta negativamente o desempenho e pode predispor o indivíduo a lesões musculoesqueléticas (Pincivero *et al.*, 2000)

A eletromiografia (EMG) é uma ferramenta amplamente utilizada na análise da função neuromuscular e da fadiga, permitindo o registro da atividade elétrica dos músculos esqueléticos durante diferentes tarefas motoras (Basmajian; De Luca, 1985). Aplicada à corrida, a EMG possibilita a investigação de padrões de ativação muscular ao longo do tempo, permitindo identificar alterações associadas à fadiga e seus impactos sobre a biomecânica do movimento (Winter, 2009).

Diversos estudos têm demonstrado que a fadiga não acomete de forma homogênea todos os músculos envolvidos na corrida. Músculos biarticulares, como o va (RF) e o bíceps femoral (BF), tendem a apresentar sinais de fadiga mais precocemente que músculos monoarticulares como o vasto lateral (VL) e o gastrocnêmio medial (GA), o que reflete adaptações biomecânicas compensatórias, como aumento da frequência da passada e alteração no tempo de contato com o solo (Hanon; Thépaut-Mathieu; Vandewalle, 2005; Meo, 2011).

Além disso, alterações nos sinais de EMG, como a redução da frequência mediana (FM) e o aumento da amplitude do sinal, são indicativos diretos de fadiga neuromuscular (De Luca, 1984; Mastalerz *et al.*, 2012). Esses parâmetros, quando monitorados adequadamente, fornecem subsídios importantes para ajustes em estratégias de treinamento, prevenção de lesões e otimização do desempenho esportivo.

Portanto, dada a relevância da fadiga muscular na performance e segurança de corredores, e considerando a capacidade da EMG de detectar alterações fisiológicas e biomecânicas com precisão, este trabalho tem como objetivo analisar a aplicação da eletromiografia na avaliação da fadiga muscular em corredores, destacando seus efeitos sobre a biomecânica da corrida e suas implicações no rendimento esportivo.

Para tanto, desenvolveu-se uma revisão integrativa da literatura, método que permite reunir, analisar e sintetizar resultados de pesquisas sobre um tema específico, de forma sistemática e abrangente. A revisão integrativa é apropriada quando se busca consolidar evidências científicas em torno de um fenômeno de interesse, promovendo a construção de conhecimento a partir de múltiplos desenhos metodológicos (Souza; Silva; Carvalho, 2010).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ELETROMIOGRAFIA

A eletromiografia (EMG) é uma técnica que registra a atividade elétrica dos

músculos esqueléticos durante a contração, gerada pelos potenciais de ação das fibras musculares, refletindo a ativação do sistema neuromuscular em resposta aos comandos do sistema nervoso central (Basmajian; De Luca, 1985). O sinal eletromiográfico resulta da soma dos potenciais elétricos das unidades motoras recrutadas, sendo captado por eletrodos posicionados na pele ou inseridos no músculo. A amplitude e a frequência desses sinais estão relacionadas à intensidade da contração, ao número de unidades motoras ativadas e ao nível de fadiga neuromuscular (De Luca, 1984).

Os sistemas de EMG são compostos por eletrodos, amplificadores, filtros, conversores analógico-digitais e softwares de análise. Atualmente, dispositivos portáteis e sem fio permitem a aplicação durante atividades como a corrida, mantendo a qualidade do sinal (Winter, 2009).

Existem, fundamentalmente, dois tipos de eletromiografia: a eletromiografia de superfície (EMG-s) e a eletromiografia intramuscular (EMG de agulha), as quais apresentam características distintas, sendo aplicadas de acordo com os objetivos da avaliação.

A EMG de superfície consiste na captação dos sinais elétricos musculares por meio de eletrodos posicionados na pele, sobre o ventre do músculo alvo. Trata-se de um método não invasivo, que permite a obtenção de sinais provenientes da soma dos potenciais de ação das unidades motoras mais próximas da superfície cutânea. Dentre suas principais vantagens, destaca-se o fato de ser uma técnica de fácil aplicação, confortável para o avaliado e apropriada para análises durante atividades dinâmicas, como a corrida, o ciclismo ou exercícios funcionais. Além disso, é largamente utilizada na análise biomecânica, na investigação da fadiga muscular, no controle de próteses mioelétricas, na ergonomia e na reabilitação física (Merletti & Farina, 2016).

Todavia, a EMG de superfície apresenta algumas limitações relevantes. Entre elas, ressalta-se a dificuldade em captar sinais de músculos profundos e a suscetibilidade a interferências de músculos adjacentes, fenômeno conhecido como *cross-talk* *(Crosstalk, em termos técnicos, refere-se à interferência indesejada de sinais em um sistema de comunicação ou circuito, onde um sinal interfere em outro devido à proximidade física e interação eletromagnética ou condutiva.

)Adicionalmente, fatores como a impedância da pele, a presença de tecido adiposo e a qualidade do posicionamento dos eletrodos podem afetar significativamente a qualidade dos sinais obtidos (De Luca, 2002). Portanto, seu uso é mais indicado para a avaliação de músculos superficiais e em situações que exigem análise funcional e dinâmica.

Por outro lado, a EMG intramuscular, também denominada EMG de agulha, caracteriza-se pela inserção de um eletrodo do tipo agulha ou de fio fino diretamente no tecido muscular. Essa técnica possibilita a captação de sinais de altíssima fidelidade, provenientes de um número reduzido de unidades motoras, com mínima interferência de músculos vizinhos. Dessa forma, permite uma análise precisa, especialmente de músculos profundos ou de difícil acesso pela EMG de superfície (Preston & Shapiro, 2020).

A aplicação da EMG de agulha é predominante no contexto clínico, especialmente no diagnóstico de disfunções neuromusculares, como miopatias, neuropatias periféricas, radiculopatias, doenças do neurônio motor e distúrbios da junção neuromuscular, a exemplo da miastenia gravis. Sua alta acurácia diagnóstica torna essa técnica indispensável na prática médica, embora presente

desvantagens, como o desconforto decorrente da introdução da agulha, além dos riscos, ainda que baixos, de dor, sangramento, infecção e lesões locais. Ademais, a EMG de agulha não é indicada para avaliações durante movimentos dinâmicos, sendo preferencialmente aplicada em contrações isométricas ou em repouso (Preston & Shapiro, 2020; Merletti & Farina, 2016).

A escolha entre a EMG de superfície e a EMG intramuscular deve estar diretamente relacionada ao objetivo da avaliação. Quando se busca uma análise funcional, dinâmica, aplicada à biomecânica, ao treinamento físico ou à reabilitação, especialmente quando o interesse está centrado na investigação de músculos superficiais, a EMG de superfície configura-se como a técnica mais apropriada. Por outro lado, quando o foco é a investigação clínica detalhada, a detecção de alterações patológicas nas unidades motoras ou a avaliação de músculos profundos, a EMG de agulha é a opção mais indicada, devido à sua elevada precisão e especificidade.

Portanto, ambas as modalidades de eletromiografia são ferramentas essenciais e complementares, cada uma com indicações bem definidas. A EMG de superfície destaca-se nas áreas de biomecânica, reabilitação e treinamento esportivo, permitindo a análise de padrões de ativação muscular, controle motor e fadiga durante atividades dinâmicas. Por sua vez, a EMG intramuscular é indispensável no contexto clínico, fornecendo dados cruciais para o diagnóstico e acompanhamento de doenças neuromusculares. A escolha adequada da técnica é fundamental para assegurar a qualidade dos dados, a efetividade da análise e a segurança do avaliado.

Na análise da fadiga muscular, destacam-se parâmetros como a amplitude do sinal, que indica o recrutamento muscular, e as frequências mediana (FM) e média de potência (MPF), cuja diminuição reflete a fadiga. Além disso, a densidade espectral de potência e o timing de ativação ajudam a compreender a sinergia muscular, os padrões de ativação e possíveis compensações durante o exercício.

2.2 FADIGA MUSCULAR

A fadiga muscular é definida como a incapacidade temporária do sistema neuromuscular em manter a produção de força ou potência, mesmo com estímulo neural contínuo (Enoka; Duchateau, 2008). Esse fenômeno é multifatorial, podendo ocorrer tanto por limitações centrais (cérebro e medula espinhal) quanto periféricas (músculo esquelético) (Goldfuss *et al.*, 2019). Fisiologicamente, está associada a alterações no recrutamento das unidades motoras, redução da condução dos potenciais de ação, acúmulo de metabólitos e perturbações no acoplamento excitação-contração e na homeostase iônica, especialmente envolvendo cálcio (Ca^{2+}) e potássio (K^+) (Allen; Lamb; Westerblad, 2008).

Fatores como a intensidade e duração do exercício, características individuais (como nível de treinamento, composição das fibras musculares e idade) e aspectos biomecânicos (padrão de passada, técnica de corrida, tipo de terreno e calçado) influenciam o desenvolvimento da fadiga (Enoka; Duchateau, 2008; Goldfuss *et al.*, 2019; Hanon; Thépaut-Mathieu; Vandewalle, 2005).

A eletromiografia (EMG) é usada para identificar a fadiga muscular por meio de alterações nos sinais elétricos dos músculos. Os principais marcadores de fadiga incluem a redução da frequência mediana (FM) e da frequência média de

potência (MPF), o aumento da amplitude do sinal (RMS), que reflete o recrutamento compensatório de unidades motoras, e mudanças na sincronização das unidades motoras, como maior coativação muscular (De Luca, 1984; Merletti; Farina, 2016; Kamen; Gabriel, 2010; Hajiloo *et al.*, 2020). A combinação entre aumento da amplitude e redução da frequência do sinal é considerada um indicador robusto da fadiga muscular durante exercícios prolongados (Merletti; Farina, 2016).

Esse monitoramento fornece subsídios para detectar a fadiga e ajustar a técnica, volume e intensidade do treinamento, ajudando na prevenção de lesões e na otimização do desempenho de corredores.

2.3 CORRIDA E IMPLICAÇÕES MUSCULARES

A corrida é uma atividade cíclica caracterizada pela alternância de fases de apoio e voo, demandando alta eficiência neuromuscular, biomecânica e fisiológica para garantir desempenho e prevenção de lesões (Winter, 2009). Durante a corrida, ocorre uma complexa interação entre os sistemas cardiovascular, respiratório e musculoesquelético, sendo este último responsável por gerar força, absorver impacto e manter a estabilidade dinâmica (Novacheck, 1998). A locomoção na corrida é sustentada pela conversão eficiente de energia metabólica em trabalho mecânico. A produção de energia ocorre principalmente por meio dos sistemas aeróbio e anaeróbio, dependendo da intensidade e da duração do exercício. Em esforços prolongados e moderados, predomina o metabolismo oxidativo, enquanto corridas de alta intensidade demandam maior participação do metabolismo anaeróbico glicolítico (Bosco; Komi; Tihanyi, 1981). A biomecânica da corrida envolve ciclos de absorção, propulsão e voo. Durante o contato com o solo, os músculos exercem funções tanto de suporte quanto de propulsão, absorvendo energia cinética e devolvendo-a em forma de trabalho mecânico, com significativa contribuição dos componentes elásticos musculotendíneos (Fukashiro; Komi; Jarvine, 1995).

Os principais grupos musculares recrutados na corrida incluem os extensores do quadril, como o glúteo máximo e os isquiotibiais (bíceps femoral, semitendíneo e semimembranoso), responsáveis pela propulsão e controle do movimento no plano sagital; os extensores do joelho, especialmente o quadríceps femoral (reto femoral, vasto lateral (VL), vasto medial (VM) e vasto intermédio), que atuam na absorção do impacto e na estabilização do joelho durante o apoio; e os flexores dorsais e plantares do tornozelo, como o gastrocnêmio medial, sóleo e tibial anterior, essenciais na absorção de energia na aterrissagem e na geração de força propulsiva (Novacheck, 1998). Além desses, músculos estabilizadores do core e dos membros inferiores, como o glúteo médio, também são ativados para controle postural e estabilidade lateral.

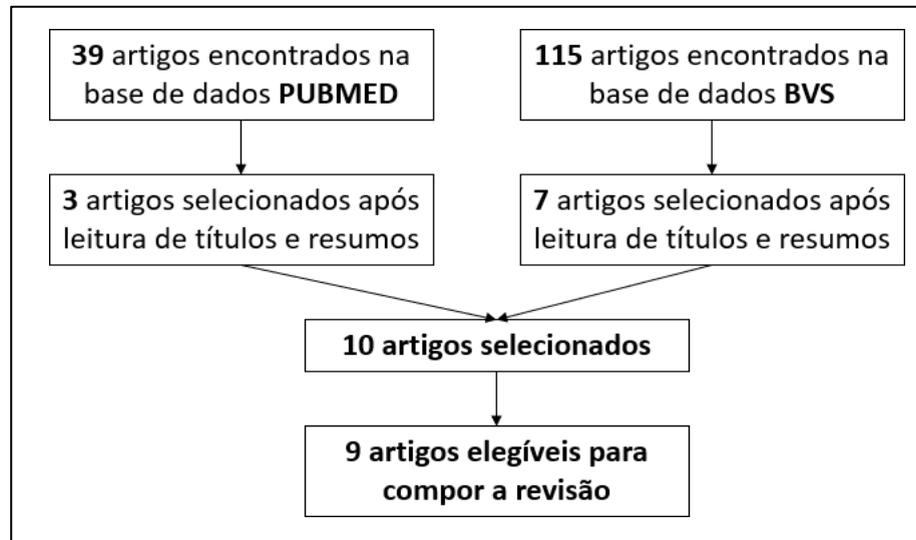
A fadiga em corredores surge da interação de múltiplos fatores fisiológicos, biomecânicos e neuromusculares. Entre as principais causas da fadiga estão a depleção de glicogênio muscular, levando à redução da capacidade contrátil; o acúmulo de metabólitos, como íons H^+ , comprometendo o pH muscular e a função enzimática; e alterações na condução neural e no acoplamento excitação-contracção, prejudicando a eficiência das unidades motoras (Allen; Lamb; Westerblad, 2008). As consequências da fadiga muscular na corrida incluem a redução na produção de força, principalmente em músculos biarticulares, como o

bíceps femoral e o reto femoral, o que compromete a propulsão e o controle do movimento (Hanon; Thépaut-Mathieu; Vandewalle, 2005). Além disso, ocorrem alterações biomecânicas, como aumento da cadência, redução da amplitude da passada e maior tempo de contato com o solo, que representam estratégias compensatórias (Fraga *et al.*, 2013). A redistribuição da carga para músculos sinergistas pode aumentar o risco de lesões por sobrecarga, como tendinopatias e lesões musculares (Hajiloo *et al.*, 2020). Portanto, compreender a fisiologia da corrida e as respostas neuromusculares associadas à fadiga é fundamental tanto para a prescrição adequada de treinos quanto para o desenvolvimento de estratégias preventivas, sendo a eletromiografia uma ferramenta essencial nesse monitoramento.

3 METODOLOGIA

Para a seleção dos estudos, foram utilizadas as bases de dados PubMed e BVS (Biblioteca Virtual em Saúde). Na base PubMed, a estratégia de busca envolveu os descritores: (“*Electromyography*” OR “EMG”) AND “*Fatigue*” AND “*Athletes*” AND “*Running*”. Essa busca resultou em 39 estudos, dos quais 3 foram selecionados para leitura completa, após triagem por título e resumo. Na base BVS, foram utilizados os descritores: “Eletromiografia” AND “Fadiga” AND “Corrida”, com um total de 115 resultados iniciais. Após a triagem, 7 artigos foram selecionados para leitura integral. Não foi aplicado recorte temporal na busca, considerando a escassez de estudos específicos sobre o uso da eletromiografia para avaliação da fadiga muscular em corredores. Assim, optou-se por incluir todas as publicações pertinentes, independentemente do ano, com o intuito de garantir uma análise mais ampla e representativa da produção científica sobre o tema.

Ao final, 10 artigos foram lidos na íntegra, sendo 9 deles selecionados por atenderem aos critérios de inclusão e responderem à pergunta de pesquisa proposta, como demonstrado na Figura 1. Estes estudos foram analisados quanto ao país de origem, metodologia utilizada, objetivos, principais resultados e conclusões. Os dados extraídos foram organizados em uma tabela para facilitar a análise comparativa dos achados.

Figura 1: Fluxograma do processo de seleção de artigos para compor a revisão

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

4 RESULTADOS

A partir da busca nas bases de dados, foram selecionados 9 artigos para compor a presente revisão integrativa da literatura, sintetizados no Quadro 1.

Quadro 1: Síntese dos artigos que compõem a presente revisão

Autor(es)/Ano	País	Metodologia	Objetivos	Principais Resultados
Hanon; Thépaut-Mathieu; Vandewalle (2005)	França	Experimental (9 corredores elite)	Avaliar fadiga via EMG e impactos na biomecânica	RF e BF fatigaram primeiro; aumento da frequência da passada como compensação
Meo (2011)	Brasil	Experimental (12 recreacionais)	Avaliar EMG na fadiga e biomecânica	BF e GA com maior fadiga; TA com ativação compensatória
Fraga; Bianco; Gonçalves (2012)	Brasil	Experimental (11 corredores)	Comparar EMG em diferentes intensidades	EMG aumentou com intensidade; fadiga afetou biomecânica
Mastalerz <i>et al.</i> (2012)	Polônia	Experimental (4 corredores 400m)	Analisar EMG em diferentes intensidades	Fadiga na perna interna da curva; maior impacto no RF e BF esquerdos
Fraga <i>et al.</i> (2013)	Brasil	Experimental (9 triatletas)	Comparar EMG entre corrida prolongada e triathlon	Maior fadiga no BF; aumento da frequência da passada
Khan <i>et al.</i> (2019)	Suécia	Experimental (12 corredores e triatletas)	Criar modelo de detecção de fadiga com EMG	Modelo com VL previu fadiga com alta acurácia; possível substituir testes invasivos
Bergstrom <i>et al.</i> (2020)	EUA/Chile	Experimental (10 corredores moderados)	Avaliar padrões EMG no quadríceps	RF e VL apresentaram maior fadiga; VM pouco afetado; alta variabilidade individual

Hajiloo <i>et al.</i> (2020)	Irã	Experimental (16 recreacionais)	Avaliar sinergia muscular na fadiga	Redistribuição na ativação do BF e TA; sinergias mantidas, mas pesos alterados
------------------------------	-----	---------------------------------	-------------------------------------	--

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

5 DISCUSSÃO

5.1 PADRÕES DE ATIVAÇÃO MUSCULAR IDENTIFICADOS POR EMG EM DIFERENTES INTENSIDADES DE CORRIDA

A eletromiografia de superfície tem se mostrado uma ferramenta eficaz na identificação dos padrões de ativação muscular durante a corrida e na análise de como esses padrões se modificam frente a diferentes intensidades e durações do exercício. Os estudos revisados demonstram que a fadiga muscular não ocorre de forma homogênea entre os grupos musculares e que a intensidade da corrida desempenha papel central na variação do sinal eletromiográfico.

Hanon, Thépaut-Mathieu e Vandewalle (2005) identificaram que, em corredores de elite submetidos a corrida progressiva até a exaustão, os músculos biarticulares — especificamente o reto femoral (RF) e o bíceps femoral (BF) — foram os primeiros a apresentar sinais de fadiga. Essa fadiga precoce resultou em alterações biomecânicas, como o aumento da frequência da passada, representando uma adaptação neuromuscular compensatória. Por outro lado, músculos monoarticulares como o vasto lateral (VL) e o gastrocnêmio medial (GA) demonstraram maior resistência à fadiga imediata, mantendo a estabilidade mecânica por mais tempo.

Corroborando esses achados, o estudo de Meo (2011), com corredores recreacionais, evidenciou que, com o aumento da intensidade do exercício, houve redução da frequência mediana (FM) dos sinais EMG, principalmente nos músculos propulsores, como o BF e o GA, indicando acúmulo de fadiga. Adicionalmente, observou-se um aumento da ativação do tibial anterior (TA), sugerindo uma ativação compensatória para manter a performance da passada.

Por outro lado, o estudo empreendido por Bergstrom *et al.* (2020) em um contexto de corrida moderada apresentou maior fadiga no RF e VL, enquanto o VM foi pouco afetado. O diferencial deste estudo está nas conclusões referentes a alta variabilidade individual existente entre os corredores ao avaliar os padrões de EMG no quadríceps, indicando que outros fatores precisam ser considerados nessas avaliações.

O trabalho de Fraga, Bianco e Gonçalves (2012) reforça a relação direta entre intensidade do exercício e elevação da atividade eletromiográfica, mostrando que quase todos os músculos analisados apresentaram aumento significativo de ativação Conforme a corrida se intensificava. O tipo de protocolo utilizado também influenciou a resposta muscular, principalmente nos músculos biarticulares, indicando que a escolha do modelo de esforço pode modificar os padrões de fadiga.

Em atletas de provas mais curtas, como no estudo de Mastalerz *et al.* (2012) com corredores de 400 metros, os efeitos da fadiga se manifestaram de forma aguda, sendo mais evidentes na perna que percorre a parte curva da pista. A queda da frequência de potência média (MPF) foi mais acentuada no RF e BF

esquerdos, sugerindo não apenas uma alta susceptibilidade desses músculos à fadiga em alta velocidade, mas também o papel da assimetria mecânica na sobrecarga muscular.

Esses achados reforçam que o padrão de ativação muscular na corrida é dinâmico e dependente de variáveis como intensidade, tempo de exposição ao esforço e características individuais do corredor. A EMG permite identificar não apenas quais músculos se fatigam, mas também como o organismo responde a essa fadiga, redistribuindo a carga neuromuscular de forma estratégica. Essa compreensão é essencial para o desenvolvimento de intervenções preventivas e para a personalização de programas de treinamento baseados em evidências eletromiográficas.

5.2 IMPACTOS DA FADIGA MUSCULAR NA BIOMECÂNICA DA CORRIDA: EVIDÊNCIAS ELETROMIOGRÁFICAS

A fadiga muscular não se limita a alterações fisiológicas locais, mas gera repercussões significativas na biomecânica da corrida. A eletromiografia (EMG) tem permitido compreender como a redução da eficiência muscular impacta diretamente variáveis cinemáticas, como a frequência e a amplitude da passada, o tempo de contato com o solo e o padrão de ativação muscular. Essas mudanças são especialmente relevantes por estarem associadas ao aumento do risco de lesões e à perda de desempenho ao longo de provas prolongadas ou de alta intensidade.

Os estudos de Fraga *et al.* (2013) e Fraga, Bianco e Gonçalves (2012) demonstraram que, à medida que a fadiga se instala, ocorre um aumento da frequência de passada e uma redução progressiva da amplitude. Essa adaptação biomecânica visa manter a velocidade de corrida diante da queda de rendimento dos músculos propulsores. A EMG revelou aumento do sinal eletromiográfico do bíceps femoral durante corridas prolongadas, especialmente em triatletas, evidenciando maior recrutamento muscular para compensar a perda de força. Contudo, essas alterações aumentam o custo energético da atividade e reduzem a eficiência mecânica do gesto motor.

Khan *et al.* (2019) mostraram, por meio de um modelo preditivo baseado na frequência de potência do sinal eletromiográfico do vasto lateral (VL), que a fadiga muscular pode ser quantificada com alta acurácia e que há correlação entre esses sinais e mudanças biomecânicas sutis. Tais evidências apontam para a possibilidade de substituir testes invasivos, como dosagens de lactato, pelo monitoramento EMG em tempo real, permitindo ajustes dinâmicos na técnica de corrida e nos níveis de esforço.

O estudo de Hajiloo *et al.* (2020) adiciona uma perspectiva importante ao relatar que, embora a fadiga não tenha alterado o número de sinergias musculares envolvidas no gesto motor, houve modificação no peso relativo de contribuição dos músculos. O aumento da ativação do bíceps femoral e do tibial anterior após o início da fadiga sugere uma redistribuição neuromuscular voltada à manutenção do padrão de movimento. Essa reorganização funcional, embora eficiente a curto prazo, pode gerar sobrecarga em determinadas estruturas e contribuir para o surgimento de compensações indesejadas.

Além disso, Mastalerz *et al.* (2012) observaram que a fadiga pode apresentar comportamento assimétrico entre os membros inferiores, especialmente

em situações específicas como corridas em pista com curvas. A perna interna à curva apresentou maior redução na frequência média de potência dos sinais EMG, refletindo maior sobrecarga mecânica unilateral. Essa assimetria, se mantida ao longo do tempo, pode favorecer desequilíbrios musculares e predispor a lesões crônicas.

Essas evidências convergem para a conclusão de que a fadiga muscular afeta profundamente a biomecânica da corrida, sendo detectável por meio da análise eletromiográfica de alterações nos padrões de ativação e intensidade do sinal muscular. A utilização da EMG nesse contexto não apenas fornece dados objetivos sobre o estado neuromuscular do atleta, mas também oferece subsídios para intervenções mais precisas, sejam elas voltadas ao treinamento, à reabilitação ou à prevenção de lesões.

5.3 A UTILIZAÇÃO DA EMG COMO FERRAMENTA PARA MONITORAMENTO E PREVENÇÃO DE LESÕES EM CORREDORES

A utilização da eletromiografia (EMG) no contexto esportivo vai além da simples análise da atividade muscular: ela tem se consolidado como uma ferramenta de grande valor para o monitoramento do estado neuromuscular do atleta, contribuindo diretamente para a prevenção de lesões e a otimização do desempenho em corredores. A capacidade de detectar sinais precoces de fadiga muscular e de identificar padrões anômalos de ativação permite a tomada de decisões mais assertivas em relação ao volume de treino, à técnica de corrida e ao planejamento da recuperação.

Estudos como o de Khan *et al.* (2019) reforçam esse potencial, ao desenvolverem um modelo preditivo baseado na frequência de potência do sinal EMG do vasto lateral. Esse modelo foi capaz de classificar com precisão o nível de fadiga dos corredores, demonstrando que a EMG pode substituir métodos invasivos, como a medição de lactato, no monitoramento da fadiga durante os treinos. Essa abordagem oferece vantagens não apenas em termos de praticidade, mas também por possibilitar avaliações em tempo real, com feedback imediato.

O estudo de Meo (2011) também destaca a importância da EMG na avaliação individualizada da fadiga. O autor observou que, durante corridas intensas, os músculos propulsores como o gastrocnêmio medial e o bíceps femoral apresentaram maior fadiga, enquanto músculos como o tibial anterior apresentaram atividade compensatória. Essas informações são cruciais para identificar desvios compensatórios que, se não corrigidos, podem evoluir para sobrecargas localizadas e lesões musculoesqueléticas.

Adicionalmente, o trabalho de Hajiloo *et al.* (2020) evidenciou alterações nas sinergias musculares provocadas pela fadiga, sugerindo uma redistribuição funcional que, embora mantenha o movimento, modifica a carga entre os músculos. Esse tipo de adaptação, identificado pela EMG, pode ser um indicativo de risco para o desenvolvimento de desequilíbrios musculares e patologias por uso excessivo, como a síndrome da banda iliotibial ou a tendinopatia patelar.

O uso da EMG também tem aplicabilidade em programas de reabilitação e retorno ao esporte, pois permite comparar a ativação muscular de um indivíduo lesionado com padrões de referência, avaliando o progresso da função muscular

durante a recuperação. Além disso, fornece subsídios para o desenvolvimento de intervenções específicas voltadas à redução da fadiga precoce em músculos com histórico de lesão, o que é particularmente relevante para atletas de alta performance. Portanto, a EMG se configura como uma tecnologia de apoio valiosa tanto para profissionais de saúde quanto para treinadores esportivos. Sua aplicação permite um acompanhamento contínuo do estado muscular dos corredores, orienta o ajuste de cargas de treinamento, e serve como base para estratégias preventivas personalizadas. Ao integrar a EMG ao planejamento esportivo, é possível minimizar o risco de lesões e maximizar o desempenho, tornando o treinamento mais eficiente e seguro.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão integrativa permitiu analisar como a eletromiografia (EMG) tem sido aplicada na avaliação da fadiga muscular em corredores, revelando seu impacto sobre a biomecânica da corrida e o desempenho esportivo. Com base nos nove estudos selecionados, foi possível observar que a EMG é uma ferramenta sensível e eficaz para detectar alterações nos padrões de ativação muscular provocadas pelo esforço prolongado ou intenso.

Os dados analisados demonstram que os músculos biarticulares, como o reto femoral e o bíceps femoral, são especialmente suscetíveis à fadiga durante a corrida, apresentando modificações eletromiográficas evidentes, como a diminuição da frequência de potência e o aumento da amplitude do sinal. Tais alterações refletem adaptações biomecânicas compensatórias, como o aumento da frequência da passada e mudanças no tempo de contato com o solo, que podem comprometer a eficiência do movimento e aumentar o risco de lesões.

Além disso, os estudos evidenciam que a EMG possibilita identificar padrões compensatórios e redistribuições musculares que ocorrem com a progressão da fadiga, mesmo quando a cinemática externa da corrida se mantém relativamente estável. Essa capacidade torna a EMG uma ferramenta estratégica para o monitoramento da carga neuromuscular durante o treinamento e para a prevenção de sobrecargas que poderiam evoluir para lesões por esforço repetitivo.

Conclui-se, portanto, que a eletromiografia desempenha um papel fundamental tanto no contexto da pesquisa quanto na prática clínica e esportiva, contribuindo para a compreensão dos mecanismos de fadiga muscular, para a elaboração de programas de treinamento mais eficazes e para o desenvolvimento de estratégias de prevenção e reabilitação. Seu uso integrado ao acompanhamento funcional de corredores representa um avanço importante na promoção de saúde, desempenho e longevidade esportiva.

REFERÊNCIAS

ALLEN, D. G.; LAMB, G. D.; WESTERBLAD, H. **Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms**. *Physiological Reviews*, v. 88, n. 1, p. 287–332, 2008.

BASMAJIAN, J. V.; DE LUCA, C. J. **Muscles alive: their functions revealed by**

electromyography. 5. ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 1985.

BOSCO, C.; KOMI, P. V.; TIHANYI, J. **Mechanical power test and fiber composition of human leg extensor muscles**. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, v. 45, p. 275–284, 1981.

DE LUCA, C. J. **Myoelectrical manifestations of localized muscular fatigue in humans**. *Critical Reviews in Biomedical Engineering*, v. 11, n. 4, p. 251–279, 1984.

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

ENOKA, R. M.; DUCHATEAU, J. **Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function**. *The Journal of Physiology*, v. 586, n. 1, p. 11–23, 2008.

FRAGA, R. B. *et al.* **Efeitos da fadiga induzida por corrida prolongada sobre a biomecânica de triatletas: uma análise eletromiográfica**. *Revista Brasileira de Ciências do Esporte*, v. 35, n. 3, p. 789–798, 2013.

FRAGA, R. B.; BIANCO, M. M.; GONÇALVES, M. **Repercussões da fadiga muscular na biomecânica da corrida: uma análise eletromiográfica**. *Revista Brasileira de Biomecânica*, v. 13, n. 2, p. 55–62, 2012.

FUKASHIRO, S.; KOMI, P. V.; JARVINE, M. **Muscle performance during stretch-shortening cycle exercise: The influence of power and efficiency**. *Acta Physiologica Scandinavica*, v. 154, p. 193–199, 1995.

GOLDFUSS, C. J.; WILSON, J. M.; MILLER, M. **Muscle fatigue: concepts, mechanisms, and potential role in injury**. *Strength & Conditioning Journal*, v. 41, n. 2, p. 80–89, 2019.

HAJILOO, M.; SHARIFNEJAD, A.; MOHAMMADI-OROJEI, M. **Muscle synergy alterations in response to fatigue during running**. *Gait & Posture*, v. 79, p. 92–98, 2020.

HANON, C.; THÉPAUT-MATHIEU, C.; VANDEWALLE, H. **Determination of muscular fatigue in elite runners**. *British Journal of Sports Medicine*, v. 39, p. 313–318, 2005.

KAMEN, G.; GABRIEL, D. A. **Essentials of electromyography**. 1. ed. Champaign: Human Kinetics, 2010.

KHAN, M. H. *et al.* **A novel method for muscle fatigue detection in runners using**

surface EMG signals. Sports Biomechanics, v. 18, n. 6, p. 637–649, 2019.

MASTALERZ, A. et al. **The influence of running velocity on muscle fatigue in sprinters.** Journal of Human Kinetics, v. 33, p. 127–134, 2012.

MEO, S. A. **EMG-based evaluation of muscle fatigue in recreational runners.** Revista Brasileira de Medicina do Esporte, v. 17, n. 4, p. 251–254, 2011.

MERLETTI, R.; FARINA, D. **Surface electromyography: physiology, engineering, and applications.** 1. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2016.

NOVACHECK, T. F. **The biomechanics of running.** Gait & Posture, v. 7, n. 1, p. 77–95, 1998.

PINCIVERO, D. M. et al. **Quadriceps femoris electromyogram during concentric and eccentric exercise.** Muscle & Nerve, v. 23, n. 2, p. 268–274, 2000.

SENIAM. **Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles: European Recommendations for Surface Electromyography.** Roessingh Research and Development, 1999. Disponível em: <http://www.seniam.org>. Acesso em: 29 maio 2025.

SOUZA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, R. **Revisão integrativa: o que é e como fazer.** Einstein, v. 8, n. 1, p. 102–106, 2010.

WINTER, D. A. **Biomechanics and motor control of human movement.** 4. ed. Hoboken: Wiley, 2009.

AGRADECIMENTOS

A Deus e à intercessão de Nossa Senhora.

A minha mãe, Valderes Ferreira de Andrade, que sustentou minha caminhada na graduação.

Ao meu amigo Demetrius Oliveira, por todo o suporte.

A minha namorada Maria Helena Araújo, pela paciência, ajuda e companheirismo!

A Marcos Henrique, a Lucas Castanha e a Anália Beatriz por terem acreditado no meu trabalho.

Ao meu professor orientador, André Almeida, pelos aprendizados compartilhados.

Aos meus professores, Regimenia e Diego, por toda a dedicação.

