O efeito da suplementação com polifenóis na recuperação do dano muscular induzido pelo exercício

The effect of polyphenol supplementation on recovery from exercise-induced muscle Damage

Alexandre Rodrigues do Nascimento

ORIENTADO POR: Doutor Nuno Pedro Garcia Fernandes Bento Borges

REVISÃO TEMÁTICA
1.º CICLO EM CIÊNCIAS DA NUTRIÇÃO | UNIDADE CURRICULAR ESTÁGIO
FACULDADE DE CIÊNCIAS DA NUTRIÇÃO E ALIMENTAÇÃO DA UNIVERSIDADE DO PORTO

TC

Porto, 2026

Resumo

O aumento da exigência e da intensidade das sessões de treino e eventos competitivos nas diversas modalidades tem conduzido a uma maior preocupação sobre a otimização da recuperação dos atletas. O dano muscular induzido pelo exercício, caracterizado pelo declínio da performance e pelo aparecimento de dor muscular tardia, exige uma procura crescente por soluções eficazes, entre as quais se incluem as estratégias alimentares e de suplementação.

O objetivo principal desta revisão é apresentar e analisar criticamente a evidência científica relativa ao efeito da suplementação com polifenóis na recuperação do dano muscular induzido pelo exercício.

Neste trabalho são exploradas as principais estratégias matrizes polifenólicas e compostos isolados utilizados sob a forma de suplementação com impacto reportado na recuperação, nomeadamente a *tart cherry*, romã, curcumina, quercetina, chá verde e o resveratrol. A análise da literatura demonstra que a eficácia destas intervenções dependem fortemente da dose, do *timing* de consumo e da duração dos protocolos, existindo ainda uma grande heterogeneidade nos resultados devido às características dos atletas e ao desenho dos estudos.

Conclui-se que a suplementação com polifenóis pode ser uma estratégia benéfica, contudo, a sua prescrição deve ser individualizada e adaptada ao contexto prático de cada pessoa.

Palavras-Chave: Polifenóis, Dano Muscular, Recuperação, Atletas, Suplementação

Abstract

The escalating demands and intensity of training sessions and competitive events across various sports have led to a growing concern regarding the optimization of athlete recovery. Exercise-induced muscle damage, characterized by performance decline and delayed-onset muscle soreness, requires increasing research for effective solutions, including dietary and supplementation strategies.

The main purpose of this review is to present and critically analyze the scientific evidence regarding the effect of polyphenol supplementation on recovery from exercise-induced muscle damage.

This work explores the main strategies involving polyphenolic matrices and isolated compounds used as supplements with a reported impact on recovery, namely tart cherry, pomegranate, curcumin, quercetin, green tea, and resveratrol. The analysis of the literature demonstrates that the efficacy of these interventions strongly depend on the dose, timing of consumption and duration of the protocols, with significant heterogeneity remaining in the results due to athlete characteristics and study designs.

In conclusion, polyphenol supplementation can be a beneficial strategy, however, its prescription must be individualized and tailored to the practical context of each person.

Keywords: Polyphenols, Exercise-Induced Muscle Damage, Recovery, Athletes, Supplementation

Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos

ACN – Antocianinas

AMPK – Proteína cínase ativada por AMP (*AMP-activated protein kinase*)

CAT – Catalase

CK – Creatina Cínase (*Creatine Kinase*)

CMJ – Salto com Contramovimento (*Countermovement Jump*)

COX-2 – Ciclooxigenase-2

DM – Dano muscular

DOMS – Dor muscular de início tardio (*Delayed onset muscle soreness*)

EIMD – Dano muscular induzido pelo exercício (*Exercise induced muscle damage*)

FM – Força muscular

GPx / GPX – Glutationa peroxidase

IGF-I – Fator de Crescimento Semelhante à Insulina tipo I (*Insulin-like Growth Factor I*)

GF-II – Fator de Crescimento Semelhante à Insulina tipo II (*Insulin-like Growth Factor II*)

IL-1 – Interleucina 1

IL-6 – Interleucina 6

IL-8 – Interleucina 8

LDH – Lactato desidrogenase

Mb – Mioglobina

MDA – Malondialdeído

MVC – Contração Voluntária Máxima (*Maximal Voluntary Contraction*)

MVIC – Contração voluntária isométrica máxima (*Maximal voluntary isometric contraction*)

NF-κB – Fator nuclear kappa B (*Nuclear factor kappa B*)

NRF2 – Fator nuclear derivado do eritroide 2 (*Nuclear factor erythroid 2*)

PCR – Proteína C-reativa

PL – Peroxidação lipídica

RM – Recuperação muscular

ROM – Amplitude de movimento (*Range of motion*)

ROS – Espécies reativas de oxigénio (*Reactive oxygen species*)

SO – Stress oxidativo

SOD – Superóxido dismutase

STAT3 – Transdutor de sinal e ativador de transcrição 3 (*Signal transducer and activator of transcription 3*)

TAC – Capacidade Antioxidante Total (*Total Antioxidant Capacity*)

TC – Cereja amarga (*Tart-cherry*)

TNF-α – Fator de Necrose Tumoral Alfa (*Tumor Necrosis Factor Alpha*)

VAS – Escala Visual Analógica para dor (*Visual Analogue Scale*)

Sumário

Resumo e Palavras-Chave i

Abstract and Keywords ii

Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos iii

Introdução 1

Objetivos 1

Metodologia 3

Marcadores e métodos de avaliação 3

Resultados e Discussão 4

Estilbenóides 5

Curcuminoides 6

Flavonoides 7

Antocianinas, frutos silvestres e ácidos fenólicos 8

Modulação da Resposta por Sexo e Nível de Treino 11

Recomendações Práticas e Protocolos de Dosagem 12

Análise Crítica e Conclusão 14

Parecer do orientador do Trabalho Complementar 20

Introdução

O dano muscular induzido pelo exercício (EIMD) é uma resposta fisiológica comum após a realização de exercício intenso ou não habitual, sendo particularmente evidente em atividades que envolvem contrações excêntricas.[1-3]Este processo leva à disrupção das fibras musculares e à ativação de uma resposta inflamatória subsequente. Numa fase inicial, ocorre dano estrutural ao nível do sarcolema, proteínas contráteis e matriz extracelular, seguido de uma fase secundária caracterizada por inflamação e aumento do stress oxidativo (SO).[1-3]

Após o EIMD, ocorre uma resposta inflamatória caracterizada pela infiltração de neutrófilos e macrófagos no tecido lesado, promovendo processos de reparação, remodelação muscular e adaptação ao exercício. No entanto, estas células também produzem espécies reativas de oxigénio (ROS) e outros agentes oxidantes que podem amplificar o dano muscular e estimular a produção de citocinas pró-inflamatórias.[4]

Durante o exercício, o músculo esquelético aumenta significativamente a produção de espécies reativas de oxigénio (ROS), provenientes sobretudo da cadeia respiratória mitocondrial e de sistemas enzimáticos como a NADPH oxidase e a xantina oxidase.[5]

Paralelamente a este dano oxidativo, o esforço intenso induz um estado de fadiga metabólica, caracterizado pela acumulação de subprodutos como o lactato e pela depleção das reservas de glicogénio. O conjunto destes eventos moleculares e metabólicos compromete a função muscular e prolonga o tempo necessário para a recuperação total do atleta [3]

Este desequilíbrio está associado ao aumento de marcadores de dano muscular, como a creatina cínase (CK) e lactato desidrogenase (LDH) bem como a alterações em marcadores inflamatórios, nomeadamente proteína c-reativa (PCR), interleucinas 1, 6 e 8 (IL-1, IL-6 e IL-8) e o fator de necrose tumoral alfa (TNF-α), contribuindo para a diminuição da função muscular e aumento da fadiga. Para além disso podem ocorrer mudanças em marcadores de SO como malondialdeído (MDA), superóxido dismutase (SOD) e glutationa peroxidase (GPx). [4, 6, 7]

Estes acontecimentos manifestam-se através de mitigação da dor muscular de início tardio (DOMS), redução da força e pior desempenho físico, atingindo geralmente o pico entre as 24 e as 72 horas após o exercício [1,2,3]

Face às exigências impostas pelo treino e pela competição, a otimização da recuperação assume um papel fundamental na nutrição desportiva, emergindo o interesse por compostos bioativos com propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias.[1]

Entre estes, destacam-se os polifenóis, uma vasta classe de compostos fitoquímicos presentes em alimentos de origem vegetal, que se dividem em diferentes grupos de acordo com a sua estrutura química.[3, 8, 9] Para o contexto da presente revisão, as classes de maior interesse biológico incluem os flavonoides, os ácidos fenólicos, os estilbenos e os curcuminoides, devido ao seu potencial para modular as vias inflamatórias e o SO pós-exercício.[9]

Contudo, a aplicação prática dos polifenóis no desporto enfrenta desafios cinéticos complexos, decorrentes da sua reduzida biodisponibilidade sistémica, e exibe resultados frequentemente heterogéneos na literatura devido à diversidade

de protocolos de dosagem, timing de ingestão e características das populações estudadas. Assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar o impacto da suplementação com diferentes classes de polifenóis na cinética de recuperação funcional, bioquímica e percetiva após o dano muscular induzido pelo exercício.

Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo analisar o impacto da suplementação com diferentes classes de polifenóis na cinética de recuperação funcional, bioquímica e percetiva após o dano muscular induzido pelo exercício.

Metodologia

A pesquisa bibliográfica foi conduzida nas bases de dados Pubmed ®, Scopus ® e Web of Science® entre abril de 2026 e junho de 2026, foram utilizados os termos de pesquisa ("polyphenol*" OR "flavonoid*" OR "curcumin" OR "resveratrol" OR "anthocyanin*" OR "tart cherry" OR "Montmorency cherry" OR "pomegranate" OR "Punica granatum") AND ("exercise" OR "physical activity" OR "training" OR "athlete*") AND ("muscle damage" OR "EIMD" OR "DOMS" OR "muscle soreness" OR "recovery") AND ("systematic review" OR "meta-analysis" OR "umbrella review" OR "scoping review"). Foi dada prioridade a revisões sistemáticas e meta-análises e foram incluídos apenas estudos em humanos a partir de 2020. O software utilizado para gestão de referências bibliográficas foi o Endnote X25®.

Marcadores e métodos de avaliação

A avaliação do impacto dos polifenóis na cinética de recuperação após o EIMD vai ser avaliado nesta revisão da seguinte forma:

Recuperação Funcional: Os estudos focam-se na Contração Voluntária Máxima (MVC), sendo este o indicador padrão-ouro da função neuromuscular. Complementarmente, utiliza-se o Salto com Contramovimento (CMJ) para avaliar a potência explosiva e a Amplitude de Movimento (ROM) para quantificar a rigidez muscular.

Domínio Bioquímico: A integridade do sarcolema é monitorizada pela CK e LDH. A cascata inflamatória é avaliada pela PCR e por citocinas pró-inflamatórias (IL-6, IL-8, TNF-α). O SO é quantificado por marcadores de dano como o MDA e pela resposta antioxidante, medida através da atividade enzimática (SOD, GPx, CAT) e da Capacidade Antioxidante Total (TAC).

Recuperação Percetiva: A Dor Muscular de Início Tardio (DOMS) é quantificada predominantemente através da Escala Visual Analógica (VAS).

Na literatura científica analisada a CK e a TAC emergiram como os marcadores mais criticados. Relativamente à CK, múltiplos autores apontam uma elevadíssima variabilidade interindividual, questionando a sua validade no rastreio do DM. No diz respeito à TAC, adverte-se que os seus valores podem ser artificialmente inflacionados pelo metabolismo da frutose.

Resultados e Discussão

A eficácia dos compostos fenólicos foi corroborada na meta-análise de Chen et al. (2025), que demonstrou que a suplementação com extratos de plantas e polifenóis apresenta uma capacidade equivalente à das vitaminas na redução significativa do lactato e da CK sérica pós-exercício. Adicionalmente, os autores evidenciaram

que estratégias agudas de curto prazo (<14 dias) são suficientes para mitigar estes marcadores de dano muscular (DM), embora o impacto varie consoante o sexo e o nível competitivo do atleta.[10]

Estilbenóides

Resveratrol

Os estilbenoides, representados predominantemente pelo resveratrol, são fitoalexinas produzidas pelas plantas como mecanismo de defesa contra stresse ambiental. Embora as uvas sejam a fonte mais comum, encontram-se também em concentrações relevantes em amendoins, mirtilos e romãs.[11] A sua inclusão na dieta do atleta é estratégica pela sua capacidade de proteção genómica e regulação da homeostase energética, demonstrando potencial para reduzir o dano ao DNA induzido pelo exercício e ativar a proteína cínase ativada por AMP (AMPK) e as sirtuínas.[11]

A revisão sistemática de Abidin et al. (2024), que sintetizou dados de 10 ensaios clínicos, fundamenta o potencial do resveratrol na mitigação do DM ao reportar reduções consistentes na CK e a LDH, sugerindo a preservação da integridade do sarcolema. Contudo, o impacto na DOMS e na performance funcional (MVC) revelou-se altamente variável.[7]

A eficácia dos polifenóis em contextos de elevada exigência física, como o das populações militares, é discutida por Harlow et al. (2024). Nesta revisão sistemática, os autores concluíram que a evidência atual não suporta o uso de resveratrol para a recuperação, sugerindo que o impacto pode ser insuficiente para contrariar o stresse fisiológico extremo desta atividade.[12]

Curcuminoides

Curcumina

A curcumina, o principal polifenol do açafrão-da-terra, atua como um potente agente antioxidante e anti-inflamatório. O seu mecanismo molecular baseia-se na inibição das enzimas pró-inflamatórias como a Ciclooxigenase-2 (COX-2), e a lipoxigenase e na modulação de vias como o fator nuclear kappa B (NF-κB) e o Transdutor de sinal e ativador de transcrição 3 (STAT3), resultando na redução de citocinas inflamatórias Adicionalmente, atenua a produção de ROS através da ativação da via Fator nuclear derivado do eritroide 2 (Nrf2), o principal estimulador das defesas antioxidantes endógenas, como a superóxido dismutase (SOD) e a glutationa peroxidase (GPx).[6, 13]

No âmbito da recuperação e dor, existe um consenso de que a curcumina atenua a DOMS num espetro temporal alargado (24h às 72h) e reduz os níveis séricos de CK, conforme demonstrado em múltiplas meta-análises e revisões.[14-18]Alargando a avaliação do dano estrutural, a meta-análise de Doma et al. (2022) reportou também reduções significativas na LDH e na mioglobina.[18] Contudo, o impacto na capacidade funcional divide a literatura. Enquanto algumas revisões reportam melhorias significativas na ROM e na MVC,[14, 16, 17] os dados de Doma et al. (2022) indicam que o polifenol falha na restauração da MVC.[18] Esta divergência estende-se à resposta inflamatória: embora vários autores verifiquem reduções globais no TNF-α, IL-1β, IL-6 e IL-8,[13, 14, 16] a análise agrupada de Beba et al. (2022) sugere uma ação seletiva, comprovando a descida do TNF-α, mas sem alterações significativas nas concentrações de IL-6 e IL-8.[17] Em modalidades intermitentes

(futebol), o impacto positivo na DOMS confirma-se, embora com certeza de evidência muito baixa para a função neuromuscular e marcadores de SO.[19]

A principal linha de fratura na literatura prende-se com a farmacocinética do composto. Em sentido oposto à tendência generalizada, a meta-análise de Oxley e Peart (2022) contestou a robustez da curcumina, não encontrando efeitos significativos na inflamação ou na CK na fase crítica da recuperação.[20] Esta inconsistência é atribuída à baixa biodisponibilidade do composto e ao uso de tecnologias de formulação distintas (como Meriva® ou Longvida®), com perfis farmacocinéticos diferentes[21]. Adicionalmente, a enorme amplitude de dosagens (0,3 g a 9,5 g/dia), identificada pela revisão guarda-chuva e a falta de padronização metodológica impedem o estabelecimento de protocolos universais, embora evidência recente de dose-resposta sugira que doses em torno de 300 mg/dia de formulações otimizadas possam ser suficientes para alcançar benefícios clínicos.[15, 18]

Flavonoides

Quercetina, extratos de folhas, raízes e catequinas

A quercetina (abundante em cebolas, chá verde e maçãs) destaca-se na nutrição desportiva pelo seu potencial antioxidante e modulação de vias pós-exercício.

No âmbito do EIMD, uma revisão guarda-chuva atribui certeza de evidência moderada à eficácia de extratos de folhas na redução da DOMS às 24h, embora a mitigação de marcadores de DM às 24h-48h apresente certeza baixa.[15]

Aprofundando o impacto destes extratos de folhas, nomeadamente as catequinas do chá verde, Sánchez Díaz et al. (2022) demonstraram que a utilização de 640

mg de polifenóis promove melhorias significativas na MVC e CMJ, além de reduzir DOMS.[2] Contudo, a evidência para estas matrizes ainda divide a literatura: a revisão sistemática de Zapata e Hewlings (2021) reportou resultados altamente heterogéneos no SO, DM e DOMS, considerando os dados insuficientes para confirmar um benefício robusto, sendo esta inconsistência atribuída à enorme variabilidade nas dosagens (159 mg a 1800 mg/dia) e à duração dos protocolos.[4, 22]Alinhado com estes dados, a meta-análise de Rojano-Ortega et al. (2023) confirmou que a quercetina reduz significativamente a DOMS e a CK às 24h-48h, atenuando o SO, mas sem efeitos consistentes na IL-6.[23] No plano funcional, o composto acelera a recuperação da força máxima (MVC) em homens sedentários a moderadamente treinados, efeito corroborado por Rickards et al. (2021) com derivados do cacau na MVC às 48h.[23, 24]

Relativamente a extratos de raízes e bolbos (ginseng, gengibre e alho), a revisão guarda-chuva reporta certeza moderada do ginseng na DOMS, mas certeza muito baixa para o DM às 48h.[15] Segundo Doma et al. (2022), estas matrizes reduzem biomarcadores inflamatórios às 24h pós-esforço, dissipando-se o efeito às 48h.[18] O impacto destes extratos no SO permanece ambíguo, com oscilações inconsistentes no MDA e na SOD, o que reforça a necessidade de maior padronização na dosagem dos ingredientes ativos destas matrizes botânicas.[18]

Antocianinas, frutos silvestres e ácidos fenólicos

As antocianinas (ACN) constituem a principal subclasse de flavonoides presente em frutos de coloração vibrante (mirtilo, arando, groselha-negra e uva), sendo investigadas no EIMD pelo seu potencial em atenuar o SO e a inflamação através

da inibição de enzimas geradoras de ROS (como a xantina oxidase e a NADPH oxidase) e do aumento da biodisponibilidade de óxido nítrico.[25, 26] Contudo, a evidência clínica em humanos permanece heterogénea. A revisão de Martínez et al. (2024) aponta para a ausência de consenso definitivo na performance ou DM com o uso de mirtilos,[25] enquanto Abreu et al. (2023) reportaram eficácia nula em jogadores de futebol de elite, justificando o desfecho pela elevada ingestão dietética basal de polifenóis nesta população ou por uma magnitude insuficiente de DM.[27] Em sentido oposto, a evidência agregada por Carey et al. (2021) quantificou uma melhoria média de 7,14% na recuperação da força e uma redução de 4,12% na DOMS ao longo de 96h, com picos de eficácia às 48h e 72h, respetivamente, sugerindo uma ação mediada pela ativação da via Nrf2.[28] Adicionalmente, Kimble et al. (2021), numa meta-análise de 39 estudos, consolidaram estes benefícios, confirmando melhorias na MVC, na CMJ e na DOMS através do consumo crónico de matrizes ricas em ACN.[26]

No que concerne à especificidade das matrizes alimentares, TC e a romã apresentam focos terapêuticos distintos. Segundo Ortega et al. (2021), a TC destaca-se na preservação da função contrátil e na redução de marcadores inflamatórios sistémicos (IL-6 e PCR), enquanto a romã exibe superioridade na gestão do equilíbrio redox e proteção da membrana celular.[28] Esta diferenciação é corroborada por Rickards et al. (2021), que demonstraram a eficácia superior da TC na restauração da MVC e da CMJ, bem como uma redução de 29% na DOMS entre as 48h e 72h, face aos benefícios funcionais limitados da romã.[24] Em sentido positivo, a revisão sistemática de Urbaniak e Skarpańska-Stejnborn (2021) evidenciou que a suplementação com sumo ou extrato de romã acelera

significativamente a restauração da força entre as 24h e 72h pós-esforço excêntrico e atenua a DOMS na fase precoce (a partir das 2h). Este benefício funcional foi sustentado por uma menor elevação de CK e LDH, e por uma robusta modulação do SO, traduzida no aumento da TAC, da atividade enzimática (SOD, GPX e CAT) e na redução do MDA. Em contrapartida, a meta-análise de Bekyani et al. (2025) não identificou efeitos significativos na DOMS, CK ou mioglobina, registando apenas a descida da LDH,[29] enquanto Vitošević et al. (2025) confirmaram a atenuação do SO e da peroxidação lipídica, mas consideraram a evidência global insuficiente.[30] Quanto à TC, Dehghani et al. (2025) reportaram incrementos de 9,13% na MVC e reduções na IL-6 e IL-8 em atletas, embora sem impacto na dor ou CK.[31] Esta cinética de recuperação prolongada na MVC (com pico às 72h) e redução precoce da PCR foi confirmada por Daab et al. (2026) em atletas treinados,[32] sendo validada por Zhu et al. (2026) na variedade *Montmorency*, onde 50% dos ensaios comprovaram a preservação da força.[33] Adicionalmente, em desportos de equipa, o consumo de TC, mirtilo e arónia (2) ou de concentrados de TC[19] demonstrou eficácia na recuperação da CMJ, sprint e DOMS. Paralelamente, o sumo de beterraba surge como estratégia sinérgica em atletas de futebol,[27] a ingestão crónica (~500 mg nitrato/dia) atenuou a perda de capacidade funcional (CMJ, MVC e sprint) após esforço intermitente, acelerando a recuperação neuromuscular e reduzindo a DOMS, sem contudo alterar os biomarcadores inflamatórios ou de DM.[34]

A principal linha de consenso na literatura sinaliza uma clivagem mecanicista: com exceção da meta-análise de Kimble et al. (2021) que reportou reduções na CK às 48h associadas ao estado de treino[26], a esmagadora maioria dos autores[2, 24, 29,

[31-34] confirma que as ACN e os compostos azotados falham na modulação da CK ou da PCR na fase crítica da recuperação. Isto sugere que o impacto destas matrizes reside na preservação da integridade funcional do sarcoplasma e na atenuação da hiperalgesia, em detrimento da mitigação do dano estrutural direto da membrana. No plano metodológico, as discrepâncias observadas decorrem de intervenções com baixa densidade de polifenóis ou falhas na caracterização fitoquímica dos suplementos (apenas 27% dos estudos a realizam)[28].

Modulação da Resposta por Sexo e Nível de Treino

O nível competitivo e o estado de treino dos indivíduos constituem fatores determinantes na magnitude dos efeitos ergogénicos dos polifenóis, gerando interpretações divergentes na literatura que refletem a própria complexidade metodológica das meta-análises. Uma linha considerável de autores defende a existência de um "efeito de teto" biológico em atletas de elite. Sob esta perspetiva, o treino de longo prazo promove adaptações endógenas que aumentam os níveis basais de antioxidantes sistémicos, conferindo uma resiliência neuromuscular superior e sistemas de defesa já otimizados que podem tornar a suplementação exógena redundante.[1, 4, 27, 32, 35] Para além disso, indivíduos recreativos ou destreinados, com defesas naturais menos desenvolvidas, exibem uma margem de benefício terapêutico substancialmente superior, sobretudo na atenuação da dor percebida (DOMS).[4, 7, 16] No entanto, demonstrando como a análise e interpretação dos dados variam consoante o foco dos investigadores, a meta-análise de Chen et al. (2025) reportou o cenário oposto: a redução do lactato e da CK foi significativamente mais pronunciada em atletas de alta competição.[10]

Esta leitura baseia-se no facto de os atletas profissionais estarem expostos a volumes e intensidades de esforço extremas, gerando um dano mecânico e SO de tal ordem elevado que acaba por expandir a janela de eficácia clínica para a ação dos antioxidantes exógenos.[10]

Paralelamente, há uma lacuna crítica na literatura devido à sub-representação de mulheres em ensaios clínicos.[1, 10, 31] Fisiologicamente, as flutuações de estrogénio no sexo feminino protegem e estabilizam o sarcolema, limitando a permeabilidade da membrana e a consequente libertação de CK.[1, 10] Abidin et al. (2024) sugerem que esta proteção endógena e as propriedades antioxidantes do estrogénio interagem diretamente com os mecanismos de ação de compostos como o resveratrol e a curcumina.[7] Esta interação pode mascarar ou alterar a magnitude dos benefícios na fase secundária do DM em mulheres, justificando por que razão algumas intervenções crónicas demonstram reduções robustas de biomarcadores de forma quase exclusiva em coortes masculinas.[1, 10] Por conseguinte, a evidência atual adverte que a prescrição destas estratégias devem ser estritamente individualizada, carecendo a população feminina de protocolos validados.[1, 10]

Recomendações Práticas e Protocolos de Dosagem

A transferência da evidência científica para a prática desportiva revela que a eficácia dos polifenóis na mitigação do EIMD é estritamente dependente da dose, do *timing* de ingestão e da duração do protocolo, sobrepondo-se frequentemente a duração à magnitude da dose absoluta. A literatura estabelece um limiar crítico de ingestão superior a 1000 mg/dia de polifenóis totais, preferencialmente estruturado num protocolo de carga crónica iniciado entre 3 a 7 dias antes do

evento indutor de dano e estendido até 3 dias após o esforço.[1, 28, 35] Esta abordagem crónica visa garantir a saturação tecidual e a ativação prévia de vias de defesa endógenas, como a via Nrf2. Do ponto de vista farmacocinético, o fracionamento da dose diária em duas tomas (manhã e noite) assume um papel biológico crucial, dado que os picos plasmáticos destes compostos ocorrem 1h a 2h após a ingestão e a sua biodisponibilidade decai significativamente após 12h a 15h, a administração dividida assegura uma proteção antioxidante e anti-inflamatória constante ao longo do ciclo circadiano.[1, 15, 35]

Considerando que os flavonoides representam cerca de 60% dos polifenóis dietéticos[36], os dados do inquérito IAN-AF (107,3mg/dia de flavonoides) sugerem que o aporte de polifenóis na população portuguesa é aquém dos limiares ergogénicos.[37]A obtenção de doses terapêuticas por via exclusivamente alimentar assume viabilidade apenas para o grupo das antocianinas através de sumos concentrados ou frutos vermelhos, não sendo viável para o resveratrol, curcumina ou quercetina, o que legitima o papel da suplementação e da intervenção nutricional no desporto.

No âmbito das matrizes fitoquímicas isoladas, os protocolos devem ser individualizados consoante o composto e o objetivo clínico. Para as antocianinas presentes na TC a eficácia na preservação da MVC e da CMJ requer doses crónicas de 260 mL/dia de sumo[31] ou estratégias de carga equivalentes a um mínimo de 1200 mg de polifenóis totais[32, 35] ou uma dose mediana de aproximadamente 80 mg de antocianinas ACN puras inserida num protocolo de carga crónica de pelo menos 6 a 10 dias prévios ao evento indutor de dano.[26, 28] No caso da romã, os protocolos flutuam entre 250 e 500 mL/dia de sumo por 7 a 15 dias (ou o

equivalente em extrato concentrado) para atletas de modalidades intermitentes,[29] podendo atingir doses agudas de até 1500mL/dia em halterofilistas fracionadas ao longo das 48 horas pós-esforço.[29, 30] Em contrapartida, a suplementação com curcumina exibe uma dinâmica inversa de dose-resposta, formulações padrão não otimizadas requerem doses massivas (5 a 6 g/dia)[13, 14] para contornar a sua baixa biodisponibilidade, ao passo que formulações otimizadas (microparticuladas ou conjugadas com 20 mg de piperina) demonstram eficácia superior em doses baixas de 300 mg a 500 mg/dia.[16, 17] Adicionalmente, o *timing* do consumo da curcumina dita o seu foco terapêutico, a toma pré-exercício atua na supressão de citocinas inflamatórias, enquanto a administração imediata pós-esforço otimiza a redução da CK e a recuperação da ROM.[3, 21, 38] Por fim, para a quercetina, preconiza-se uma dosagem de 1000 mg/dia por um período mínimo de 7 dias,[28] enquanto para os derivados da chá verde, estratégias crónicas superiores a 200 mg/dia de polifenóis revelam-se superiores a administrações agudas isoladas.[4]

Análise Crítica e Conclusão

A evidência agregada na presente revisão demonstra que a suplementação com polifenóis constitui uma estratégia nutricional promissora na mitigação do SO, da resposta inflamatória aguda e da sintomatologia associada ao EIMD. Contudo, a interpretação e a aplicabilidade prática destes achados permanecem complexas devido a uma acentuada inconsistência de resultados na literatura. Esta heterogeneidade é justificada por disparidades no desenho experimental dos ensaios clínicos, as quais incluem a aplicação de protocolos de exercício com

magnitude de dano insuficientes, *timings* inadequados de ingestão, intervenções agudas sem pré-carga e uma enorme variabilidade nas dosagens testadas, frequentemente situadas abaixo do limiar de eficácia clínica.[1, 19, 35]

Mais além das falhas no desenho dos estudos, o perfil fitoquímico das matrizes utilizadas emerge como uma variável crítica. Como advertido por Daab et al. (2026) e Bowtell & Kelly (2019), a composição molecular de suplementos e concentrados botânicos é altamente sensível a fatores extrínsecos como o *terroir*, as condições de armazenamento e os métodos de processamento industrial (concentrado, sumo ou pó).[1, 32, 35] Esta variação na integridade dos lotes experimentais dita que dosagens volumetricamente equivalentes apresentem concentrações de princípios ativos radicalmente distintas, o que pode contribuir para que estudos teoricamente idênticos reportem desfechos clínicos divergentes.[32]

Por fim, conforme evidenciado nas meta-análises de Doma et al. (2022) e Daab et al. (2026), a atenuação bem-sucedida de biomarcadores plasmáticos de lesão estrutural como a CK ou da DOMS nem sempre se traduz numa restauração proporcional da performance mecânica, nomeadamente na MVC ou no CMJ.[1, 18, 32] Este efeito sugere que a supressão da cascata inflamatória e a analgesia induzida pelos polifenóis não resolvem, de forma imediata, a fadiga neuromuscular central ou a falha na matriz de acoplamento excitação-contração do miócito. Por conseguinte, o sucesso de uma estratégia de recuperação não deve ser avaliado apenas pela normalização de marcadores sanguíneos ou escalas visuais, mas sim pela real devolução da capacidade funcional e contrátil ao atleta.

Referências

1. Carey CC, Lucey A, Doyle L. Flavonoid Containing Polyphenol Consumption and Recovery from Exercise-Induced Muscle Damage: A Systematic Review and Meta-Analysis. Sports Med. 2021; 51(6):1293–316.
2. Díaz S, Martín-Castellanos A, Fernández-Elías V, Torres OL, Calvo JL. Effects of Polyphenol Consumption on Recovery in Team Sport Athletes of Both Sexes: A Systematic Review. Nutrients. 2022; 14
3. Zhang X, Zhong Y, Rajabi S. Polyphenols and post-exercise muscle damage: a comprehensive review of literature. European Journal of Medical Research. 2025; 30
4. Hewlings S, Zapata M. Green Tea and Black Tea for Exercise Recovery: A Systematic Review. Strength & Conditioning Journal. 2021; 43(6):95 95–95–109 09.
5. Powers SK, Deminice R, Ozdemir M, Yoshihara T, Bomkamp MP, Hyatt H. Exercise-induced oxidative stress: Friend or foe? J Sport Health Sci. 2020; 9(5):415–25.
6. Bai KY, Liu GH, Fan CH, Kuo LT, Hsu WH, Yu PA, et al. 12-week curcumin supplementation may relieve postexercise muscle fatigue in adolescent athletes. Front Nutr. 2022; 9:1078108.
7. Abidin NZ, Ooi CH, Nosaka K, Rathakrishnan V, Chan SY, Karim NKA. Effects of Resveratrol Supplementation on Delayed Onset Muscle Soreness and Muscle Recovery: A Systematic Review. Malays J Med Sci. 2024; 31(6):77–102.
8. Toderescu CD, Parveen M, Trifunschi S, Oancea A, Jurj GCC, Cresneac IG, et al. Dietary Polyphenols as Modulators of Bifidobacterium in the Human Gut Microbiota. Nutrients. 2026; 18(5)
9. Bertelli A, Biagi M, Corsini M, Baini G, Cappellucci G, Miraldi E. Polyphenols: From Theory to Practice. Foods. 2021; 10(11):2595.
10. Chen J, Ding J, Han C, Liu Q, Wang L, Wenlong, et al. Effects of different antioxidants on exercise-induced oxidative stress and muscle damage in athletes: a systematic review and meta-analysis. BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation. 2025; 17
11. Koh YC, Ho CT, Pan MH. Recent Advances in Health Benefits of Stilbenoids. J Agric Food Chem. 2021; 69(35):10036–57.
12. Harlow J, Blodgett K, Stedman J, Pojednic R. Dietary Supplementation on Physical Performance and Recovery in Active-Duty Military Personnel: A Systematic Review of Randomized and Quasi-Experimental Controlled Trials. Nutrients. 2024; 16(16)
13. Fernández-Lázaro D, Mielgo-Ayuso J, Calvo S, Martínez C, García AC, Fernandez-Lázaro C. Modulation of Exercise-Induced Muscle Damage, Inflammation, and Oxidative Markers by Curcumin Supplementation in a Physically Active Population: A Systematic Review. Nutrients. 2020; 12
14. Suhett LG, de Miranda Monteiro Santos R, Silveira BKS, Leal ACG, de Brito ADM, de Novaes JF, et al. Effects of curcumin supplementation on sport and physical exercise: a systematic review. Crit Rev Food Sci Nutr. 2021; 61(6):946–58.
15. Talebi S, Mohammadi H, Zeraattalab-Motlagh S, Arab A, Mohammadian MK, Ghoreishy SM, et al. Nutritional interventions for exercise-induced muscle damage: an umbrella review of systematic reviews and meta-analyses of randomized trials. Nutrition reviews. 2023

16. Liu X, Lin L, Hu G. Meta-analysis of the effect of curcumin supplementation on skeletal muscle damage status. PLoS One. 2024; 19(7):e0299135.
17. Beba M, Mohammadi H, Clark CCT, Djafarian K. The effect of curcumin supplementation on delayed-onset muscle soreness, inflammation, muscle strength, and joint flexibility: A systematic review and dose-response meta-analysis of randomized controlled trials. Phytother Res. 2022; 36(7):2767–78.
18. Doma K, Devantier-Thomas B, Gahreman D, Connor J. Selected root plant supplementation reduces indices of exercise-induced muscle damage: A systematic review and meta-analysis. Int J Vitam Nutr Res. 2022; 92(5-6):448–68.
19. Silva Díaz V, Castillo-Paredes A, Iman Torres AJ, Alves Vargas AE, Guzmán-Muñoz E, Narrea Vargas JJ. Effect of Polyphenol Supplementation on Post-Exercise Recovery in Adult Male Soccer Players: A Systematic Review. Nutrients. 2026; 18(10)
20. Oxley RA, Peart DJ. The effect of curcumin supplementation on functional strength outcomes and markers of exercise-induced muscle damage: A systematic review and meta-analysis. Nutr Health. 2024; 30(1):77–92.
21. Daniel Vasile PR, Patricia ML, Marta MS, Laura E. Evaluation of curcumin intake in reducing exercise-induced muscle damage in athletes: a systematic review. J Int Soc Sports Nutr. 2024; 21(1):2434217.
22. Tavares CT, Lobo ACS, Almeida CCB, Lima-Silva AE, Ferreira SMR. Effectiveness of green tea extract (Camellia sinensis) capsule supplementation for post-exercise muscle recovery in healthy adults: a systematic review protocol. JBI Evid Synth. 2022; 20(4):1150–57.
23. Rojano-Ortega D, Peña-Amaro J, Berral-Aguilar AJ, Berral-de la Rosa FJ. Quercetin supplementation promotes recovery after exercise-induced muscle damage: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Biol Sport. 2023; 40(3):813–25.
24. Rickards L, Lynn A, Harrop D, Barker M, Russell M, Ranchordas M. Effect of Polyphenol-Rich Foods, Juices, and Concentrates on Recovery from Exercise Induced Muscle Damage: A Systematic Review and Meta-Analysis. Nutrients. 2021; 13
25. Martínez AP, Díaz MC, Romero LA, Redha A, Zare R, Hernandez SV, et al. Effects of Vaccinium berries (blueberries, cranberries and bilberries) on oxidative stress, inflammation, exercise performance, and recovery - a systematic review. Food & function. 2024
26. Kimble R, Jones K, Howatson G. The effect of dietary anthocyanins on biochemical, physiological, and subjective exercise recovery: a systematic review and meta-analysis. Crit Rev Food Sci Nutr. 2023; 63(9):1262–76.
27. Abreu R, Oliveira CB, Costa JA, Brito J, Teixeira VH. Effects of dietary supplements on athletic performance in elite soccer players: a systematic review. J Int Soc Sports Nutr. 2023; 20(1):2236060.
28. Ortega DR, López AM, Amaya H, De La Rosa F. Tart cherry and pomegranate supplementations enhance recovery from exercise-induced muscle damage: a systematic review. Biology of Sport. 2020; 38:97–111.
29. Belyani S, Kazeminasab F, Niazi M, Bagheri R, Hesari MM, Rosenkranz SK, et al. The Effects of Pomegranate Supplementation on Markers of Exercise-Induced Muscle Damage: A Systematic Review and Meta-Analysis. Curr Dev Nutr. 2025; 9(2):104560.

30. Vitošević B, Filipović M, Popović L, Sterkowicz-Przybycień K, Purenović-Ivanović T. Juice-Based Supplementation Strategies for Athletic Performance and Recovery: A Systematic Review. Sports (Basel). 2025; 13(8)
31. Dehghani E, Beba M, Danandeh K, Memari A, Ershadmanesh MJ, Rasoulian P, et al. The effect of tart cherry juice (TCJ) supplementation on exercise-induced muscle damage (EIMD) in an athletic population. Ann Med Surg (Lond). 2025; 87(2):880–90.
32. Daab W, Bouzid MA, Nassis GP, Arumugam A, Ammar A, Pojskić H, et al. Effects of Tart Cherry Juice Supplementation on Recovery from Exercise-Induced Muscle Damage in Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. Sports Med Open. 2026; 12(1)
33. Zhu Y, Smith J, Cohn A. The effect of Montmorency tart cherry consumption on athletic performance and post-exercise recovery in healthy adults: a scoping review. Front Nutr. 2026; 13:1794292.
34. Jones L, Bailey SJ, Rowland SN, Alsharif N, Shannon OM, Clifford T. The Effect of Nitrate-Rich Beetroot Juice on Markers of Exercise-Induced Muscle Damage: A Systematic Review and Meta-Analysis of Human Intervention Trials. J Diet Suppl. 2022; 19(6):749–71.
35. Bowtell J, Kelly V. Fruit-Derived Polyphenol Supplementation for Athlete Recovery and Performance. Sports Medicine. 2019; 49(1):3–23.
36. Arruda G, Grigol E, Ranzi M, Noronha L, Koehnlein E. Polyphenol contents in meal recommendations from the Brazilian dietary guidelines. International Journal of Gastronomy and Food Science. 2024; 36
37. Martins S, Meireles M, Caetano E, Correia D, Carvalho C, Campos Silva C, et al. Estimated dietary flavonoid intake and major food contributors in the Portuguese population: results from the national food, nutrition and physical activity survey (IAN-AF 2015–2016). British Journal of Nutrition. 2025; 133(4):497–506.
38. Tanabe Y, Kondo E, Sagayama H, Shimizu K, Yasumatsu M, Nakamura D, et al. Impact of curcumin supplementation on exercise performance and muscle damage after a soccer match: a double-blind placebo-controlled cross-over study. Eur J Appl Physiol. 2024; 124(7):2161–70.

Parecer do orientador do Trabalho Complementar

U.PORTO
FACULDADE DE CIÊNCIAS DA NUTRIÇÃO E ALIMENTAÇÃO
UNIVERSIDADE DO PORTO

PARECER

Na qualidade de orientador do trabalho complementar de estágio do estudante Alexandre Rodrigues do Nascimento, venho por este meio emitir o meu parecer acerca do referido trabalho, intitulado "**O efeito da suplementação com polifenóis na recuperação do dano muscular induzido pelo exercício**".

O estágio do estudante foi desenvolvido no Clube Fluvial Portuense, no acompanhamento de atletas de natação, e este facto levou a que o tema escolhido fosse, natural e desejavelmente, da área da nutrição desportiva. Podemos ao longo do texto verificar que se trata de uma revisão atual, que cumpre todos os critérios para um trabalho de revisão nesta fase do percurso académico do estudante. É ainda evidente o cuidado do Alexandre em não extravasar as conclusões dos resultados que obteve, optando sempre por um equilíbrio e uma prudência que apraz registar. Deste modo, o texto constitui um bom documento de atualização nesta área da suplementação desportiva para todos os que queiram atualizar os seus conhecimentos.

Ao longo do estágio o Alexandre teve sempre uma postura correta e educada, o que, juntamente com a capacidade de trabalho que demonstrou, me permite augurar que desenvolverá com sucesso as suas atividades como Nutricionista no futuro.

FCNAUP, 2 de Julho de 2026,

Assinado por: **Nuno Pedro Garcia Fernandes Bento Borges**
Data: 2026.07.02 11:43:21 +0100

Nuno Borges
Professor Associado
Faculdade de Ciências da Nutrição e Alimentação, Universidade do Porto

