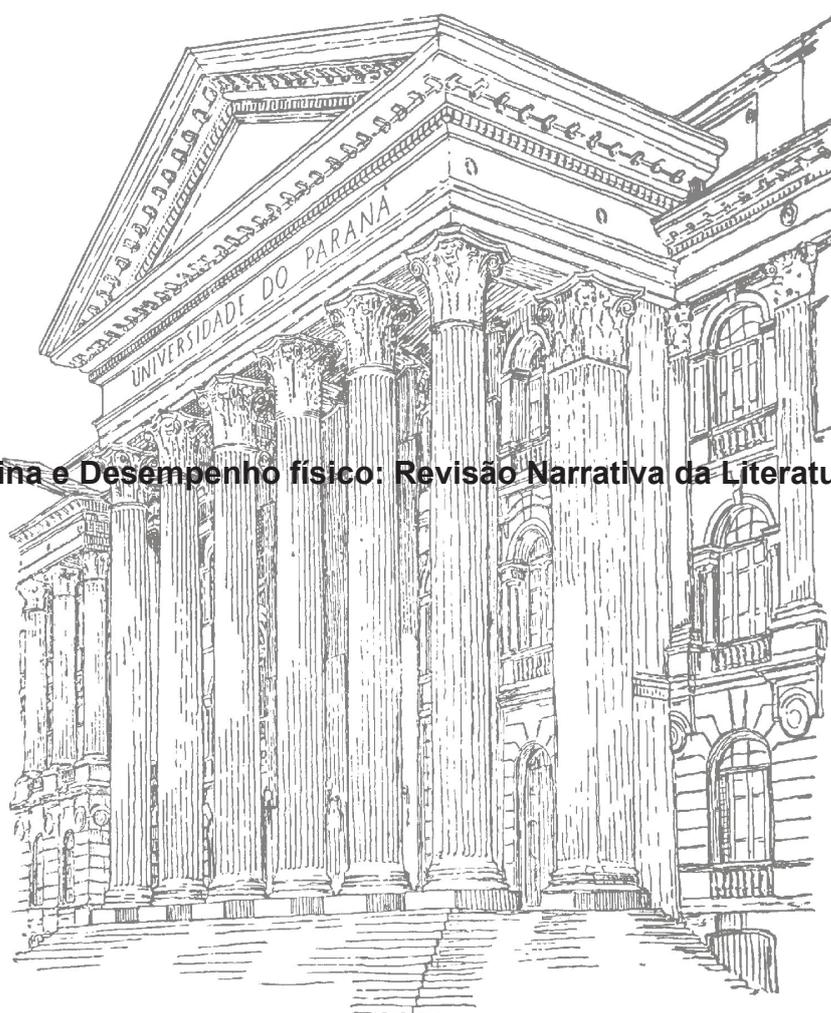


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GUSTAVO PADOVANI DO CARMO

Citrulina e Desempenho físico: Revisão Narrativa da Literatura



CURITIBA, PR

2025

GUSTAVO PADOVANI DO CARMO

Citrulina e Desempenho físico: Revisão Narrativa da Literatura.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como requisito parcial para a conclusão do Curso de Especialização em Fisiologia do Exercício, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná. Orientador: Prof. Dr Wagner de Campos.

CURITIBA, PR

2025

Dedico este trabalho ao meu irmão, futuro médico, cuja trajetória me inspira diariamente.

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho à minha namorada, que me inspirou com seu apoio, paciência e amor incondicional, sendo luz nos dias difíceis e parceira nos dias de conquista.

Com todo o meu carinho e gratidão, à minha mãe e ao meu pai, exemplos de amor, força e dedicação, que sempre acreditaram em mim mesmo quando eu duvidava.

Ao meu irmão, por estar ao meu lado em todos os momentos e por ser meu porto seguro em tantas jornadas. E à minha cunhada, pela presença e por fazer parte dessa caminhada.

A cada um de vocês, meu mais sincero obrigado. Este TCC também é de vocês.

RESUMO

A suplementação com citrulina tem ganhado destaque na nutrição esportiva por seu potencial ergogênico. Esta revisão narrativa teve como objetivo analisar os efeitos da citrulina, particularmente na forma de citrulina malato, sobre o desempenho físico em diferentes modalidades esportivas. Foi realizada busca nas bases PubMed, Scopus, Web of Science, SciELO e Embase, com artigos publicados entre 2020 e 2025, priorizando ensaios clínicos randomizados com seres humanos. Os estudos selecionados indicaram que a suplementação com 6 a 8 g de citrulina malato, administrada agudamente ou por curtos períodos, está associada a melhora no volume de repetições, redução da fadiga e otimização da recuperação muscular. Entretanto, há divergências em função de variáveis como sexo, tipo de protocolo, forma da citrulina e perfil dos participantes. Conclui-se que, apesar do potencial ergogênico, os efeitos da citrulina são contextuais e requerem mais estudos com delineamentos padronizados.

Palavras-chave: Citrulina; Suplementação Esportiva; Desempenho Físico.

ABSTRACT

Citrulline supplementation has gained prominence in sports nutrition for its potential ergogenic effects. This narrative review aimed to analyze the effects of citrulline, especially in the form of citrulline malate, on physical performance in different sports modalities. A literature search was conducted in PubMed, Scopus, Web of Science, SciELO, and Embase for articles published between 2020 and 2025, prioritizing randomized clinical trials in humans. Selected studies indicated that supplementation with 6 to 8 g of citrulline malate, administered acutely or for short periods, is associated with increased repetitions, reduced fatigue, and enhanced muscle recovery. However, findings vary depending on sex, protocol type, citrulline form, and participant profile. It is concluded that despite its ergogenic potential, the effects of citrulline are context-dependent and require further studies with standardized methodologies.

Keywords: Citrulline; Sports Supplementation; Physical Performance.

SUMÁRIO

1. Introdução.....	8
1.1 Fundamentos fisiológicos	8
1.2 Objetivos do estudo	9
2. Metodologia.....	10
2.1 Estratégia de busca e fontes de dados	10
2.2 Critérios de inclusão e exclusão.....	11
2.3 Processo de seleção dos estudos.....	12
2.4 Síntese dos dados.....	12
2.5 Limitações da metodologia.....	12
2.6 Abordagem para redação.....	13
3. Desenvolvimento.....	13
3.1 Efeitos da citrulina no desempenho muscular.....	17
3.2 Citrulina e performance em exercícios de alta intensidade.....	17
3.3 Mecanismos fisiológicos da citrulina no desempenho físico.....	17
3.4 Evidências científicas e estudos de caso.....	18
4. Conclusões.....	18
4.1 Conclusões gerais.....	19
4.2 Implicações práticas.....	19
4.3 Limitações da revisão.....	19
4.4 Sugestões para estudos futuros.....	19
Referências.....	20

1. INTRODUÇÃO

1.1 Fundamentos Fisiológicos

A L-citrulina é um aminoácido não proteico com papel central na síntese de óxido nítrico (NO), um mediador fisiológico que promove vasodilatação e melhora da função endotelial. O aumento de NO favorece a perfusão muscular, otimizando a entrega de oxigênio e nutrientes e facilitando a remoção de metabólitos associados à fadiga. No organismo, a citrulina é convertida em arginina, sobretudo nos rins, elevando indiretamente a síntese de NO (Park et al., 2023).

A suplementação com citrulina tem ganhado espaço na nutrição esportiva por seus efeitos ergogênicos, especialmente na melhora do desempenho físico, redução da fadiga e aceleração da recuperação muscular. Estudos indicam benefícios tanto em atividades de resistência quanto em esforços intensos e de curta duração, como musculação e levantamento de peso. Há evidências do aumento da capacidade aeróbica e anaeróbica, além de menor dor muscular pós-exercício (Gough et al., 2021; Sureda, 2013).

A citrulina malato (CM) combina L-citrulina com malato, intermediário do ciclo do ácido tricarboxílico (TCA) (Park et al., 2023). Originalmente usada para combater a astenia, a CM tem sido proposta como suplemento ergogênico por estimular a via L-arginina-NO, promovendo vasodilatação e melhorando o fluxo sanguíneo (Vanhoutte et al., 2016).

Outro mecanismo relevante é a remoção de amônia pelo ciclo da ureia, o que pode atenuar a fadiga induzida por exercícios de alta intensidade (Hargreaves & Spriet, 2020). Estudos em animais mostraram que a citrulina reduz a concentração de amônia e melhora a resistência (Takeda et al., 2011). O malato também pode intensificar a produção de ATP ao atuar no ciclo de Krebs, embora não haja confirmação experimental de sinergismo durante o exercício (Bendahan et al., 2002).

A dose mais comum de CM utilizada em estudos é 8 g em administração aguda (Gonzalez & Trexler, 2020), valor adotado com base em pesquisas iniciais que

mostraram melhora no desempenho (Perez-Guisado et al., 2010). No entanto, estudos de farmacocinética indicam que doses superiores a 10 g podem gerar maior concentração plasmática, o que pode aumentar o efeito ergogênico (Moinard et al., 2008).

A obtenção de 10 g de citrulina por meio de alimentos, como a melancia, é impraticável, exigindo o consumo de 3–5 kg da fruta, sem fornecer a fração malato. Assim, a suplementação é a forma mais viável de atingir concentrações eficazes (Davis et al., 2011).

A CM costuma ser administrada cerca de uma hora antes do exercício (Gonzalez & Trexler, 2020), período em que se atinge o pico plasmático de citrulina. Estudos mostram que a concentração máxima ocorre 60 minutos após a ingestão, com declínio em 15–30 minutos, indicando uma janela ergogênica limitada (Moinard et al., 2008). Cunniffe et al. (2016) observaram concentrações significativamente maiores após suplementação com 12 g de CM, reforçando a importância do tempo de ingestão.

A citrulina representa uma estratégia promissora na nutrição esportiva, tanto por seus efeitos na performance quanto por seu perfil de segurança. Além disso, os mecanismos fisiológicos associados à sua ação continuam sendo investigados, incluindo melhora da perfusão, redução da fadiga, estímulo à síntese de ATP e possível ação antioxidante. Apesar dos resultados favoráveis, ainda existem lacunas, como a definição de protocolos ideais de dose e frequência, bem como variações de resposta entre diferentes perfis de atletas.

1.2 Objetivos do Estudo

Objetivo geral: Analisar criticamente os efeitos da suplementação com citrulina no desempenho físico, destacando seus mecanismos de ação e eficácia em diferentes modalidades esportivas.

Objetivos específicos:

- Avaliar os efeitos da citrulina em modalidades de resistência, força e anaeróbicas;
- Investigar os benefícios na recuperação pós-exercício, especialmente quanto à dor muscular e remoção de metabólitos;
- Identificar lacunas metodológicas nos estudos atuais;
- Apontar estratégias ideais de suplementação: dose, frequência e momento de ingestão.

2. METODOLOGIA

A presente pesquisa consiste em uma revisão narrativa da literatura, com o objetivo de reunir e analisar criticamente as evidências científicas sobre os efeitos da suplementação com citrulina no desempenho físico.

2.1 Estratégia de Busca e Fontes de Dados

Foram consultadas as bases de dados MEDLINE PubMed, Embase, Scielo, Web of Science e Scopus. Consideramos artigos publicados entre 2020 e 2025, a fim de garantir que os estudos sejam recentes e relevantes para a área, além de adicionar o filtro de "*Clinical Trial*". Esse período foi escolhido para refletir as tendências mais atuais e as inovações no campo da suplementação com citrulina e seu impacto no desempenho físico.

As palavras-chave utilizadas para a busca foram "citrulina", "desempenho físico", "suplementação", "exercício físico", "fisiologia do exercício", "fadiga muscular", entre outras, combinadas de forma estratégica para ampliar a abrangência da pesquisa - ("Healthy adults" OR "adults" OR "young adults" OR "athletes" OR "trained individuals" OR "physically active" OR "recreational athletes" OR "elite athletes" OR "endurance athletes" OR "strength athletes" OR "resistance-trained" OR "sports participants" OR "military personnel") AND ("citrulline supplementation" OR "L-

citrulline" OR "citrulline malate" OR "citrulline intake" OR "citrulline administration" OR "arginine precursor") AND ("standard care" OR "placebo" OR "no treatment" OR "control group" OR "without supplementation") AND ("sports performance" OR "exercise performance" OR "physical performance" OR "muscle endurance" OR "muscle strength" OR "aerobic capacity" OR "anaerobic capacity" OR "fatigue resistance" OR "time to exhaustion" OR "VO2 max" OR "power output" OR "reaction time" OR "exercise recovery" OR "lactate threshold" OR "perceived exertion" OR "oxygen consumption" OR "muscle soreness" OR "blood flow" OR "nitric oxide production")

2.2 Critérios de Inclusão e Exclusão

Foram incluídos estudos que: (i) envolveram humanos; (ii) avaliaram o efeito da citrulina sobre parâmetros de desempenho físico; (iii) apresentaram desenho experimental com controle (placebo ou grupo comparador); e (iv) foram publicados em periódicos revisados por pares.

Foram excluídos: (i) estudos com modelos animais ou delineamentos observacionais; (ii) publicações fora do período de 2020 a 2025; e (iii) artigos sem dados consistentes ou com metodologia inadequada, como resumos de congresso ou relatos narrativos não avaliados por pares.

2.3 Processo de Seleção dos Estudos

A seleção foi conduzida em duas etapas: (1) triagem de títulos e resumos com auxílio do software Rayyan e (2) leitura integral dos artigos elegíveis. Foram priorizados os estudos que abordassem de forma clara a relação entre citrulina e desempenho físico. A avaliação metodológica considerou desenho experimental, tamanho amostral, tipo de intervenção, instrumentos de medida e consistência dos achados.

2.4 Síntese dos Dados

Devido à heterogeneidade entre os estudos, optou-se por uma abordagem de síntese narrativa. As informações extraídas incluíram tipo de estudo, população, dosagem, desfechos analisados e principais resultados. Os dados foram organizados em planilha no Google Sheets pelo autor (C.G.). Publicações em idiomas distintos do português ou inglês foram traduzidas com o auxílio de ferramenta automática, sendo posteriormente revisadas.

2.5 Limitações da Metodologia

Apesar da revisão narrativa ser uma abordagem valiosa para a compreensão dos efeitos da citrulina no desempenho físico, ela possui algumas limitações. Uma das principais restrições é a falta de um processo de busca exaustiva e sistemática, o que pode resultar na não inclusão de alguns estudos relevantes. Além disso, a análise dos dados é, em grande parte, qualitativa e subjetiva, uma vez que a interpretação dos achados depende da análise individual dos artigos selecionados. Isso pode levar a possíveis vieses na seleção e interpretação dos estudos. A ausência de uma meta-análise também significa que não foi possível combinar estatisticamente os resultados de diferentes estudos, o que poderia fornecer uma visão mais quantitativa dos efeitos da citrulina.

2.6 Abordagem para Redação

O processo de redação levou em consideração a necessidade de apresentar os resultados de forma acessível, mas mantendo o rigor científico necessário para que as conclusões possam ser utilizadas na prática profissional e na pesquisa acadêmica. O desenvolvimento da revisão narrativa também visou proporcionar uma análise

reflexiva, capaz de sintetizar as evidências disponíveis e sugerir caminhos para futuras investigações sobre o uso da citrulina como suplemento ergogênico.

3. DESENVOLVIMENTO

Os estudos analisados nesta revisão estão organizados na Tabela 1, a qual sintetiza as principais características metodológicas, intervenções realizadas, desfechos avaliados e respectivos resultados. Essa sistematização permite visualizar, de forma comparativa, os efeitos da suplementação com citrulina sobre o desempenho físico em diferentes contextos de aplicação, além de facilitar a identificação de padrões e divergências entre os achados.

Tabela 1 - Estudos incluídos na revisão narrativa sobre L-citrulina/Citrulina Malato

Estudo	Amostra	Suplemento	Dose / Duração	Teste	Desfechos Avaliados	Resultados Principais	Efeito
Sean et al., 2020	9 homens ciclistas (24±3a)	L-citrulina	6 g/dia por 7 dias	40 km TT + sprint	Tempo, potência, RPE	↓ tempo (p=0.08), ↑ potência e RPE	Parcial
Haugen et al., 2023	35 (18H/17M; 23±3a)	CM (isolada e com cafeína)	Dose única (12 g)	CMJ, 1RM, reps até falha	Força, endurance, dor	CM isolada sem efeito; cafeína ↑ endurance	Não
Divito et al., 2022	10 (5H/5M), 18–25 anos	L-citrulina	100 mg/kg por 5 dias	Ciclismo submáx/s upramáx	VO ₂ peak, TTE, lactato	Sem efeito	Não
Douligeris et al., 2023	30 jogadores de basquete (18–31a)	CM + outro (pré-treino)	Dose única (6 g)	RAST, agilidade, salto	Potência, agilidade, anaeróbico	↑ agilidade, RAST; sem efeito em sprint	Sim

Glenn et al., 2016	17 mulheres (51±9a)	CM	Dose única (8 g)	Preensão, salto, Wingate	Força, potência, capacidade anaeróbica	↑ força de preensão, ↑ potência, ↑ capacidade anaeróbica	Sim
Bailey et al., 2015	10 homens (~19a)	L-citrulina	6 g/dia por 7 dias	Ciclismo	VO ₂ kinetics, TTE	↓ MRT VO ₂ , ↑ tolerância e trabalho total	Sim
Faria et al., 2023	13 homens universitários (21±2a)	CM	8 g/dia por 3 dias	Shuttle Run 10x40m	Tempo de sprint, performance	↓ decréscimo de performance nos sprints (p=0.03)	Sim
Ashley et al., 2018	26 (15 jovens, 11 idosos)	L-citrulina	6 g/dia por 7 dias	Caminhada 40% HRR	VO ₂ kinetics, MRT, custo de O ₂	↓ MRT e VO ₂ deficit em homens; nenhum efeito em mulheres	Parcial (sexo-depend.)
Wax et al., 2018	12 homens treinados	CM	Dose única (8 g)	Leg press, hack squat, extensora	Repetições, lactato, FC, PA	↑ reps em todos os exercícios; ↑ lactato e FC; PA sem alteração	Sim
Gonzalez et al., 2018	12 homens recreacionalmente treinados	CM	Dose única (8 g)	Supino (5x15 reps)	Reps, potência, RPE, espessura muscular	Sem aumento de reps ou potência	Não
Glenn et al., 2015	15 mulheres treinadas (23±3a)	CM	Dose única (8 g)	Supino + leg press	Reps, RPE, FC	↑ reps no supino e leg press; ↓ RPE	Sim
Pérez-Guisado & Jakeman, 2010	41 homens treinados	CM	Dose única (8 g)	Supino (8 séries)	Reps, dor muscular (24h/48h)	↑ reps desde a 3ª série, ↑ total reps (52.9%); ↓ dor muscular em 40%	Sim

Martín-Olmedo et al., 2024	43 (21H/22M; 24±4a)	L-citrulina + CM (cross- over)	5.3 g + 2.7 g, dose única	Supino, agacham ento, salto	Neuromuscul ar, reps, percepção subjetiva	Sem efeito significativo	Não
Hwang et al., 2018	75 homens treinados (18–35a)	L-citrulina + GSH ou CM	2 g/d CIT + GSH por 8 semanas	Supino e leg press, composiç ão corporal	Massa magra, força, segurança clínica	↑ massa magra em 4 sem. apenas no grupo GSH+CIT	Parcial
Chappell et al., 2018	15 (11H/4M, 23.7±2.4a)	CM	Dose única (8 g)	German Volume Training	Reps, dor muscular, força isocinética	Sem efeito; ↑ dor muscular pós- exercício (72h)	Não
Wax et al., 2015	14 homens treinados	CM	Dose única (8 g)	Chin-up, push-up, reverse chin-up	Reps, lactato, FC, PA	↑ reps em todos os exercícios; sem efeito em lactato	Sim

Legenda – CM: Citrulina Malato, combinação de L-citrulina com ácido málico. L-citrulina: forma pura do aminoácido citrulina. TT (*Time Trial*): prova contra o relógio, como no ciclismo de 40 km. RPE (*Rating of Perceived Exertion*): escala de percepção subjetiva de esforço. 1RM (*One Repetition Maximum*): carga máxima que pode ser levantada uma única vez. RAST (*Running-based Anaerobic Sprint Test*): teste de sprints curtos para avaliar potência anaeróbica. HRR (*Heart Rate Reserve*): reserva de frequência cardíaca. MRT (*Mean Response Time*): tempo médio de resposta do consumo de oxigênio (VO₂). TTE (*Time to Exhaustion*): tempo até a exaustão completa durante o exercício. FC: frequência cardíaca. PA: pressão arterial. GSH: glutatona, antioxidante endógeno que potencializa a produção de óxido nítrico.

3.1 Efeitos da Citrulina no Desempenho Muscular

A suplementação com citrulina tem sido amplamente investigada por seu potencial ergogênico, especialmente no que diz respeito à resistência à fadiga muscular, aumento da tolerância ao exercício e redução da dor muscular de início tardio (DOMS). A L-citrulina, particularmente na forma de citrulina malato, tem mostrado propriedades bioquímicas que favorecem a manutenção da performance durante exercícios de alta repetição e curta recuperação. Wax et al. (2015), em estudo

com 14 homens treinados, observaram aumento significativo no número total de repetições em exercícios como chin-ups, push-ups e reverse chin-ups, após a ingestão aguda de 8 g de CM. Esses resultados indicam uma melhoria na resistência muscular localizada.

De forma semelhante, Glenn et al. (2015), em mulheres treinadas, também identificaram aumento no volume total de treinamento e diminuição da percepção subjetiva de esforço após administração aguda de 8 g de CM, sugerindo benefícios transversais entre diferentes populações. Pérez-Guisado e Jakeman (2010), em estudo com 41 homens treinados, destacaram um aumento significativo de até 52,9% no total de repetições durante oito séries de supino, além de redução de 40% na dor muscular percebida após 24 e 48 horas do exercício, sugerindo possíveis efeitos anti-inflamatórios ou recuperação acelerada.

No entanto, outros estudos não confirmaram esses efeitos positivos. Haugen et al. (2023), analisando CM isolada e combinada com cafeína, não encontraram benefícios significativos da CM isolada em variáveis como força, potência ou endurance. Gonzalez et al. (2018), utilizando protocolo de supino em homens recreacionalmente treinados, também não observaram ganhos significativos em volume ou potência muscular com 8 g de CM.

Essas divergências podem estar relacionadas a fatores como a forma de citrulina utilizada (L-citrulina pura versus citrulina malato), dosagem, duração da suplementação e especificidade dos protocolos de exercício empregados. Além disso, características individuais, como capacidade genética e fisiológica de síntese de óxido nítrico e a sensibilidade dos tecidos à vasodilatação induzida, podem influenciar as respostas individuais ao suplemento.

3.2 Citrulina e Performance em Exercícios de Alta Intensidade

A aplicação da citrulina em contextos de exercícios de alta intensidade tem despertado crescente interesse científico, principalmente por envolver demandas

fisiológicas elevadas tanto em vias aeróbicas quanto anaeróbicas. A suplementação visa melhorar a tolerância ao esforço intermitente, retardar a fadiga e otimizar a recuperação entre sprints ou séries intensas. Faria et al. (2023), em estudo com 13 atletas universitários, demonstraram que três dias consecutivos de suplementação com 8 g/dia de CM foram suficientes para atenuar o decréscimo de performance em sprints repetidos, indicando potencial para preservar a potência durante esforços intermitentes de alta intensidade.

Douligeris et al. (2023), avaliando 30 jogadores de basquete, observaram efeitos positivos da ingestão aguda de 6 g de CM em testes de agilidade e anaeróbicos (RAST), com melhorias na potência média, mas sem impacto significativo no desempenho em sprint. Glenn et al. (2016), em 17 mulheres treinadas, também relataram benefícios em testes anaeróbicos como o Wingate, bem como em tarefas de preensão e salto vertical após administração aguda de 8 g de CM. Esses resultados sugerem que a citrulina pode favorecer o desempenho em exercícios com predominância anaeróbica glicolítica e alática.

Contudo, os efeitos da citrulina parecem sensíveis ao tipo de protocolo utilizado e ao perfil dos participantes. Bailey et al. (2015), com 10 homens jovens, observaram melhorias significativas na cinética do VO_2 e na tolerância ao ciclismo após suplementação com 6 g/dia por 7 dias, enquanto Ashley et al. (2018) identificaram efeitos positivos apenas em homens, com ausência de benefícios significativos em mulheres. Isso sugere possíveis interações hormonais ou hemodinâmicas específicas ao sexo biológico.

Por outro lado, estudos como os de Chappell et al. (2018), com protocolo de treinamento German Volume Training, e Martín-Olmedo et al. (2024), que utilizaram dose única combinada de L-citrulina e CM em 43 indivíduos, não observaram melhorias significativas na performance neuromuscular ou resistência à fadiga. Esses achados podem refletir limitações metodológicas, como tamanho reduzido das amostras, variabilidade interindividual ou insuficiência na duração ou dosagem da suplementação.

Dessa forma, a literatura indica que os efeitos da citrulina no desempenho em exercícios de alta intensidade são contextuais, sendo mais evidentes em situações com acúmulo de metabólitos, curtas pausas entre sprints e elevado estresse glicolítico. Isso reforça a importância de maior padronização metodológica em estudos futuros para esclarecer melhor o papel da citrulina como suplemento ergogênico.

3.3 Mecanismos Fisiológicos da Citrulina no Desempenho Físico

Estudos como o de Bailey et al. (2015) destacaram uma redução significativa no tempo médio de resposta do consumo de oxigênio (VO_2), conhecido como MRT (Mean Response Time), refletindo uma maior eficiência metabólica e melhora da tolerância ao exercício de alta intensidade. Ashley et al. (2018) reforçaram esse mecanismo ao observar uma redução significativa do déficit de VO_2 em homens após suplementação com 6 g/dia de L-citrulina, indicando otimização metabólica durante exercício moderado contínuo.

Hwang et al. (2018) evidenciaram ainda um mecanismo adicional envolvendo a interação da L-citrulina com a glutatona. Essa interação potencializa a biodisponibilidade e eficácia do óxido nítrico, favorecendo processos anabólicos e antioxidantes que podem explicar ganhos de massa magra em condições específicas, como observado após oito semanas de suplementação combinada de citrulina e GSH.

Apesar desses efeitos promissores, resultados de Martín-Olmedo et al. (2024) sugerem que a combinação de L-citrulina com citrulina malato, mesmo em doses elevadas (8 g), pode não gerar melhorias significativas no desempenho neuromuscular ou resistência à fadiga. Essas divergências apontam para a necessidade de aprofundar o entendimento sobre fatores individuais e metodológicos, como tipo de exercício, duração da suplementação, dose e diferenças fisiológicas individuais, especialmente relacionadas à capacidade de síntese e resposta ao óxido nítrico.

3.4 Evidências Científicas e Estudos de Caso

A análise conjunta dos estudos revela resultados predominantemente positivos da suplementação com citrulina, especialmente na forma de citrulina malato, em exercícios repetidos com carga submáxima e alta demanda metabólica. Os efeitos ergogênicos mais consistentes foram observados com doses de 6 a 8 g, administradas entre 30 a 60 minutos antes do exercício, resultando em melhor resistência muscular localizada, redução da percepção subjetiva de esforço e potencial mitigação da fadiga muscular aguda (Wax et al., 2018; Glenn et al., 2016; Wax et al., 2015).

Contudo, a ausência de efeitos significativos em alguns estudos rigorosamente controlados indica que fatores moduladores podem influenciar a resposta ergogênica da citrulina. Variáveis como sexo, perfil de treinamento, nível de condicionamento físico e especificidade do protocolo de exercício têm sido apontadas como possíveis explicações para resultados inconsistentes. Exemplificando, Haugen et al. (2023) e Martín-Olmedo et al. (2024) não encontraram benefícios claros em termos de força, potência ou resistência neuromuscular, mesmo com protocolos metodologicamente robustos e amostras adequadamente dimensionadas.

Dessa maneira, embora os mecanismos fisiológicos associados à suplementação de citrulina sejam bem estabelecidos, a aplicação prática em contextos esportivos depende significativamente de variáveis contextuais e individuais. Investigações futuras devem aprofundar-se na compreensão desses fatores moduladores, realizando estudos randomizados de alta qualidade com delineamentos metodológicos padronizados, buscando assim otimizar a eficácia da suplementação em diferentes cenários esportivos e populacionais.

4. CONCLUSÕES

4.1 Conclusões Gerais

A presente revisão evidenciou que a suplementação com citrulina, especialmente na forma de citrulina malato, apresenta efeitos positivos sobre a

resistência à fadiga, o volume de repetições e a recuperação muscular em contextos de exercícios resistidos. Tais benefícios são mais consistentes quando a CM é administrada em doses entre 6 a 8 gramas, de forma aguda ou por curtos períodos (3 a 7 dias), em indivíduos treinados. Os efeitos também se estendem ao desempenho em exercícios de alta intensidade, sobretudo aqueles com elevada demanda glicolítica e recuperação limitada entre séries ou sprints. Contudo, os resultados não são uniformes, variando conforme o perfil do indivíduo, tipo de protocolo, forma de citrulina utilizada e parâmetros avaliados.

4.2 Implicações Práticas

Os achados desta revisão reforçam o potencial da citrulina como suplemento ergogênico adjuvante em protocolos de treinamento com alta exigência metabólica, como o treinamento de força, sprints repetidos e modalidades intermitentes. Na prática da nutrição esportiva, a CM pode ser considerada uma estratégia segura e acessível para otimizar o desempenho e acelerar a recuperação muscular. Sua ação na melhora da perfusão tecidual e na redução de marcadores subjetivos de fadiga pode ser especialmente útil em fases intensas do treinamento ou durante competições com múltiplas baterias.

4.3 Limitações da Revisão

Entre as principais limitações encontradas estão a heterogeneidade metodológica dos estudos incluídos - em relação às doses, duração da intervenção, tipo de citrulina utilizada e populações avaliadas - o que dificulta a generalização dos achados. Além disso, a natureza narrativa desta revisão, embora permita uma análise crítica e integrativa, não segue os critérios estruturados de uma revisão sistemática, podendo estar sujeita a viés de seleção e limitação na abrangência das fontes consultadas

4.4 Sugestões para Estudos Futuros

Futuras investigações devem priorizar delineamentos metodológicos robustos, como ensaios clínicos randomizados com amostras maiores e controle rigoroso das variáveis de confusão. Estudos comparando diferentes formas de citrulina (pura vs. malato), faixas de dose, duração da suplementação e resposta por sexo biológico ainda são escassos. Ademais, há necessidade de elucidar melhor os mecanismos moleculares envolvidos, incluindo marcadores bioquímicos de perfusão, estresse oxidativo e síntese proteica, a fim de consolidar a base fisiológica de sua ação ergogênica.

REFERÊNCIAS

- Ashley J, Mahoney S, Gould M.** L-citrulline supplementation improves oxygen uptake kinetics and exercise performance in older adults. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2018;43(10):1076–1082.
- Bailey SJ, Blackwell JR, Lord T, Vanhatalo A, Winyard PG, Jones AM.** L-citrulline supplementation improves O₂ uptake kinetics and high-intensity exercise performance in humans. *J Appl Physiol.* 2015;119(4):385–395.
- Barbul A.** Arginine: biochemistry, physiology, and therapeutic implications. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 1986;10(2):227–238.
- Bendahan D, Mattei JP, Ghattas B, Confort-Gouny S, Le Guern ME, Cozzone PJ.** Citrulline/malate promotes aerobic energy production in human exercising muscle. *Br J Sports Med.* 2002;36(4):282–289.
- Chappell A, Allwood D, Syed S, Ralston A, Todd L, James R.** No benefit of citrulline malate supplementation on repeated bouts of high-intensity lower body exercise in moderately trained males. *Eur J Sport Sci.* 2018;18(9):1202–1211.
- Cunniffe B, Papageorgiou M, O'Brien B, Davies NA, Grimble GK, Cardinale M.** Acute citrulline-malate supplementation and high-intensity cycling performance. *J Strength Cond Res.* 2016;30(9):2638–2647.
- Curis E, Crenn P, Cynober L.** Citrulline and the gut. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2007;10(5):620–626.
- Davis AR, Webber CL, Fish WW, Wehner TC, King S, Perkins-Veazie P.** L-citrulline levels in watermelon cultigens tested in two environments. *HortScience.* 2011;46(12):1572–1575.
- Douligeris C, Stavropoulos E, Katsimpardi E, et al.** Acute effects of a pre-workout supplement on anaerobic performance and agility in basketball players. *J Funct Morphol Kinesiol.* 2023;8(1):11.
- Farney TM, Bliss MV, Hearon CM, Salazar DA.** The effect of citrulline malate supplementation on muscle fatigue among healthy participants. *J Strength Cond Res.* 2019;33(9):2464–2470.
- Faria F, Carvalho P, Tomazoni S, et al.** Acute citrulline malate supplementation improves repeated sprint performance in recreational athletes. *Nutrients.* 2023;15(9):2124.
- Glenn JM, Smith K, Mittelstaedt A, et al.** Effects of citrulline malate on anaerobic performance and muscle oxygenation in female masters athletes. *J Diet Suppl.* 2016;13(2):130–143.

Glenn JM, Gray M, Jensen A, Stone MS, Vincenzo JL. Acute citrulline malate supplementation improves upper- and lower-body submaximal weightlifting exercise performance in resistance-trained females. *Eur J Nutr.* 2015;55(2):803–812.

Gonzalez AM, Walsh AL, Ratamess NA, et al. Effect of a citrulline malate supplement on performance in advanced weightlifters. *J Strength Cond Res.* 2018;32(2):309–314.

Gonzalez AM, Trexler ET. Effects of citrulline supplementation on exercise performance in humans: A review of the current literature. *J Strength Cond Res.* 2020;34(5):1480–1495.

Gough LA, Sparks SA, McNaughton LR, et al. A critical review of citrulline malate supplementation and exercise performance. *Eur J Appl Physiol.* 2021;121(12):3283–3295.

Hargreaves M, Spriet LL. Skeletal muscle energy metabolism during exercise. *Nat Metab.* 2020;2:817–828.

Haugen HA, Smith AE, Smith-Ryan AE, et al. The effects of citrulline malate and caffeine on exercise performance: a double-blind, crossover trial. *J Int Soc Sports Nutr.* 2023;20(1):1–10.

Hwang PS, Andre TL, McKinley-Barnard SK, et al. Resistance training-induced elevations in muscular strength in trained men are maintained after 8 weeks of L-citrulline supplementation. *Nutrients.* 2018;10(6):720.

Martín-Olmedo P, López-Miñarro PA, Rodríguez-González FG, et al. Acute effects of L-citrulline and citrulline malate supplementation on neuromuscular performance in trained adults. *Int J Environ Res Public Health.* 2024;21(1):59.

Moinard C, Nicolis I, Neveux N, et al. Dose-ranging effects of citrulline administration on plasma amino acids and hormonal patterns in healthy subjects: The citru-dose pharmacokinetic study. *Br J Nutr.* 2008;99(4):855–862.

Park HY, Kim SW, Seo YPJ, et al. Dietary arginine and citrulline supplements for cardiovascular health and athletic performance: a narrative review. *Nutrients.* 2023;15(5):1268.

Pérez-Guisado J, Jakeman PM. Citrulline malate enhances athletic anaerobic performance and relieves muscle soreness. *J Strength Cond Res.* 2010;24(5):1215–1222.

Sean M, Doberstein ST, Harshman J, et al. Effects of citrulline supplementation on endurance performance in trained cyclists. *J Strength Cond Res.* 2020;34(3):717–724.

Sureda A, Pons A. Arginine and citrulline supplementation in sports and exercise: ergogenic nutrients? *Med Sport Sci.* 2012;59:18–28.

Takeda K, Machida M, Kohara A, Omi N, Takemasa T. Effects of citrulline supplementation on fatigue and exercise performance in mice. *J Nutr Sci Vitaminol.* 2011;57(3):246–250.

Vanhoutte PM, Zhao Y, Xu A, Leung SW. Thirty years of saying NO: sources, fate, actions, and misfortunes of the endothelium-derived vasodilator mediator. *Circ Res.* 2016;119(2):375–396.

Wax B, Kavazis AN, Luckett W. Effects of supplemental citrulline malate ingestion on blood lactate, heart rate, perceived exertion and repetitions to failure during upper body exercise. *J Strength Cond Res.* 2015;29(2):330–336.

Wax B, Kavazis AN, Weldon K, Sperlak J. Effects of supplemental citrulline malate ingestion during repeated bouts of lower-body exercise in advanced weightlifters. *J Strength Cond Res.* 2015;29(3):786–792.

Wax B, Kavazis AN, Luckett W. Effects of supplemental citrulline-malate ingestion on blood lactate, cardiovascular dynamics, and resistance exercise performance in trained males. *J Diet Suppl.* 2016;13(3):269–282.