

METABOLISMO DE CARNOSINA, SUPLEMENTAÇÃO DE β -ALANINA E DESEMPENHO FÍSICO: ATUALIZAÇÃO - PARTE II

Paola Freitas¹, Vitor de Salles Painelli¹
Bryan Saunders¹, Bruno Gualano¹,
Guilherme Giannini Artioli^{1*}

RESUMO

Diversos são os fatores que podem levar à fadiga muscular durante os exercícios de alta intensidade e curta duração. Dentre eles, o acúmulo de íons H⁺, levando a uma queda do pH intramuscular, é apontado como uma das principais causas da fadiga durante este tipo de exercício. Sendo assim, as defesas tamponantes intramusculares representam a primeira linha de defesa contra o acúmulo destes íons. Estratégias nutricionais visando otimizar a ação de tais defesas tem recebido especial atenção no campo da nutrição esportiva. Nesse sentido, a suplementação de beta-alanina é a que mais tem se destacado em anos recentes. A suplementação com este aminoácido não essencial e não proteogênico induz um aumento das concentrações musculares de carnosina. A carnosina, por sua vez, é um dipeptídeo citoplasmático cuja função mais bem atribuída é a de tamponante. Com isso, diversos estudos têm se dedicado a investigar o potencial ergogênico da suplementação de beta-alanina sobre o desempenho em exercícios de alta intensidade. De fato, a eficácia ergogênica da beta-alanina tem sido investigada em diferentes populações (indivíduos sedentários, fisicamente ativos, idosos, atletas) e em diferentes protocolos de exercício (incrementais, anaeróbios contínuos, anaeróbios intermitentes, esporte-específico). Além disso, sua combinação com o treinamento físico e com outras estratégias consideradas ergogênicas também tem recebido especial foco de investigação. Em virtude do intenso e crescente interesse na suplementação de beta-alanina, esta revisão tem por objetivo descrever narrativamente tais estudos, ressaltando a implicação dos resultados encontrados para o campo da nutrição esportiva e fisiologia do exercício.

Palavras-chave: Carnosina. Beta-Alanina. Suplementos Dietéticos. Desempenho Atlético.

ABSTRACT

Carnosine metabolism, β -alanine supplementation and performance: an update - Part II

There are several factors that can lead to muscle fatigue during high-intensity exercise. Among them, the accumulation of H⁺ ions, leading to a decrease in intramuscular pH, is considered a major cause of fatigue during this type of exercise. Thus, intramuscular buffering represents the first line of defense against the accumulation of these ions. Nutritional strategies aiming to optimize the action of such defenses have received considerable attention in the field of sports nutrition in recent times, with beta-alanine a particular focus in the last years. Supplementation with this non-essential, non-proteogenic amino acid induces an increase in muscle carnosine concentration. Carnosine is a cytoplasmic dipeptide whose most attributable function is acting as a buffer. Therefore, many studies have been devoted to investigate the effects of beta-alanine supplementation on high-intensity exercise performance and capacity; the ergogenic efficacy of beta-alanine has been investigated in different populations (sedentary, physically active, athletes and elderly) and in different exercise protocols (incremental, continuous anaerobic, intermittent anaerobic, sport-specific). Furthermore it is combination with physical training and other nutritional strategies to improve exercise has also received special focus of research. In light of the intense and growing interest in beta-alanine supplementation, this review aims to narratively describe such studies, emphasizing the implication of the findings for the areas of sports nutrition and exercise physiology.

Key words: Carnosine. Beta-Alanine. Dietary Supplements. Athletic Performance.

1-Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo, Brasil.

INTRODUÇÃO

Em exercícios de alta intensidade e curta duração, a fadiga muscular desenvolve-se rapidamente, sendo um dos mais importantes fatores que limitam o desempenho.

Durante exercícios com essas características, observa-se acúmulo de diversos metabólitos dentro das células musculares, destacando-se o ADP, Pi, lactato e H⁺ (Spriet e colaboradores, 1989; Fitts, 1994).

Embora o exato mecanismo de fadiga não seja ainda completamente compreendido, diversas evidências indicam que os íons H⁺ contribuem para o surgimento da fadiga, uma vez que seu acúmulo inibe enzimas da via glicolítica e prejudica diversas etapas do processo contrátil (Donaldson e colaboradores, 1994; Fabiato e Fabiato, 1978; Sutton, Jones e Toews, 1981).

Diante da importância da regulação do pH durante o exercício de alta intensidade, estratégias nutricionais que aumentem a capacidade de tamponamento dos ácidos e, por conseguinte, que contribuam para a manutenção do equilíbrio ácido-base, tornam-se potencialmente ergogênicas.

Dentre essas estratégias, a suplementação de β-alanina, capaz de aumentar o conteúdo de carnosina intramuscular, tem ganhado a atenção de atletas, entusiastas e da comunidade científica especializada.

A carnosina (β-alanil-L-histidina) é um dipeptídeo encontrado em altas concentrações no músculo esquelético de inúmeras espécies de mamíferos, incluindo humanos (Abe, 2000).

Embora diversas funções fisiológicas tenham sido atribuídas à carnosina, tais como proteção contra o estresse oxidativo, proteção contra a glicação de proteínas e aumento da sensibilidade do aparato contrátil ao cálcio (Boldyrev, Aldini e Derave, 2013), o mais bem aceito papel exercido pela carnosina no músculo esquelético é a regulação do equilíbrio ácido-base (Artioli e colaboradores, 2010).

Isso porque a carnosina apresenta pKa (constante de dissociação de ácidos) de 6,83, portanto ideal para atuar como tampão fisiológico dentro da faixa de trânsito de pH que ocorre no músculo esquelético do repouso para a fadiga em exercício intenso.

Uma vez que músculo esquelético não sintetiza nenhum dos precursores da carnosina (Mathews e Traut, 1987), sua síntese dependente da captação de L-histidina e β-alanina pelas células musculares.

No entanto, dois fatores limitam a síntese de carnosina no músculo esquelético, a saber: 1) a enzima responsável pela síntese de carnosina no músculo, a carnosina sintase, possui maior afinidade para a histidina do que para a β-alanina (Horinishi, Grillo e Margolis, 1978; Ng e Marshall, 1978) e 2) a concentração plasmática e intramuscular de histidina é cerca de 40 vezes maior do que a de β-alanina (Harris, Dunnett e Greenhaff, 1998).

Consequentemente, o ponto limitante da síntese de carnosina no músculo esquelético, em humanos, é a disponibilidade de β-alanina (Harris, 2013). Logo, estratégias que aumentem a disponibilidade deste aminoácido são capazes de elevar o conteúdo de carnosina intramuscular, aumentando a capacidade tamponante intracelular (Sale e colaboradores, 2013).

De fato, um crescente número de estudos vem confirmando que a suplementação de β-alanina é uma estratégia bastante eficiente para aumentar a capacidade tamponante e promover o desempenho em exercícios de alta intensidade e curta duração.

Nesta revisão narrativa, apresentaremos uma atualização da literatura referente à suplementação de β-alanina e seus efeitos sobre o desempenho físico e esportivo. Uma vez que os papéis fisiológicos e detalhes do metabolismo de carnosina e β-alanina foram discutidos de forma abrangente na parte I deste artigo, nesta parte abordaremos os efeitos da suplementação de β-alanina sobre o desempenho físico e esportivo, considerando-se as particularidades de cada tipo de exercício, modalidade esportiva e como as características dos indivíduos interferem nas respostas à suplementação.

Suplementação de beta-alanina e desempenho

Testes incrementais

Alguns estudos utilizaram testes progressivos máximos (isto é, intensidade incremental até a exaustão) para avaliar os

efeitos da suplementação de β -alanina sobre o desempenho (Tabela 1).

Nesse tipo de teste, a intensidade inicial é baixa e, assim, não existe acúmulo significativo de H^+ nos estágios iniciais; entretanto, nos estágios finais, a alta intensidade dos esforços resultam em grande acúmulo de H^+ , o que pode contribuir para a fadiga que se manifesta como a incapacidade de continuar o exercício.

Uma vantagem deste tipo de exercício é a possibilidade de aplicação precisa da carga, além da monitoração das alterações metabólicas que ocorrem ao longo de todas as intensidades do exercício. Por outro lado, é preciso ponderar que testes progressivos máximos não representam bem o desempenho em nenhuma modalidade esportiva (Currell e Jeukendrup, 2008).

Portanto, embora muito úteis para avaliar o impacto da suplementação sobre a dinâmica do metabolismo energético durante o exercício, os protocolos incrementais têm recebido críticas quanto à sua validade na avaliação do desempenho ou capacidade física (Currell e Jeukendrup, 2008).

Os estudos que utilizaram testes incrementais confirmaram, em diferentes populações incluindo homens (Stout e colaboradores 2006), mulheres (Stout e colaboradores 2007) e idosos (Stout e colaboradores 2008), que a suplementação de beta-alanina é benéfica para o desempenho.

Nesses três estudos, os pesquisadores utilizaram o teste de capacidade de trabalho no limiar de fadiga (PWC_{FT}), e demonstraram atraso no surgimento dos marcadores de fadiga neuromuscular.

Além disso, Ghiasvand e colaboradores (2012) mostraram aumento de VO_{2max} e do tempo até a exaustão em homens que fizeram uso de beta-alanina, corroborando investigações anteriores que demonstraram aumento de VO_{2max} e de tempo até exaustão quando a suplementação de beta-alanina acompanha treino intervalado de alta intensidade (Smith, 2009).

No entanto, o aumento de VO_{2max} não é um resultado consistentemente encontrado, uma vez outros estudos não verificaram qualquer efeito da beta-alanina sobre essa variável (Stout, 2007; Zoeller e colaboradores, 2007).

De fato, os estudos sugerem que, embora a suplementação de beta-alanina seja eficiente em prolongar o tempo até a exaustão e deslocar à direita os limiares ventilatórios, o seu efeito sobre a maioria dos parâmetros de um teste progressivo máximo é insignificante (Zoeller e colaboradores, 2007).

No entanto, a maioria desses parâmetros está associado ao desempenho de endurance e, portanto, ao metabolismo oxidativo. Logo, é esperado que o aumento da capacidade tamponante intracelular induzido pela suplementação de beta-alanina tenha pouco ou nenhum impacto sobre tais parâmetros.

Com base nesses estudos, pode-se concluir que a suplementação de beta-alanina pode potencializar o desempenho em testes incrementais, especialmente pela melhora na tolerância aos esforços intensos dos estágios finais, além de um discreto deslocamento dos limiares.

É interessante notar que quase todos os estudos com testes incrementais foram conduzidos em cicloergômetros. Apenas o estudo de Jordan e colaboradores (2010) investigou o efeito da suplementação de beta-alanina utilizando protocolos incrementais de corrida em esteira. Nesse estudo, indivíduos fisicamente ativos receberam beta-alanina (6,0 g/dia por 4 semanas) e realizaram um teste em esteira com velocidade fixa e incremento de inclinação.

Ao contrário dos estudos anteriores, essa investigação demonstrou uma redução do consumo máximo de oxigênio no grupo beta-alanina em comparação ao grupo placebo. Apesar da diminuição do VO_{2max} , foi verificado um deslocamento à direita no ponto de início de acúmulo de lactato sanguíneo (OBLA, do inglês *Onset of Blood Lactate Accumulation*), o que poderia indicar que a beta-alanina permitiu aos participantes correr em intensidades maiores sob condições menos ácidas.

Entretanto, deve-se ponderar que a mudança do OBLA ocorreu apenas em relação ao VO_{2max} e, uma vez que o VO_{2max} foi menor após a suplementação, essa melhora pode ter sido um mero artefato do estudo, não refletindo uma mudança efetiva na cinética de acúmulo de lactato.

Embora não exista uma explicação plausível para essa redução de VO_{2max} após a suplementação de beta-alanina, é provável

que limitações metodológicas tenham levado a esses resultados. Por exemplo, pode-se mencionar a ausência de sessões de familiarização com o teste utilizado, o que pode ter afetado a reprodutibilidade dos dados de desempenho. Além disso, o estudo de

Jordan e colaboradores, (2010) não forneceu beta-alanina pura aos participantes de seu estudo, mas um suplemento comercialmente disponível contendo beta-alanina e outras substâncias com alegada ação antioxidante.

Tabela 1 - Efeitos da suplementação de beta-alanina sobre o desempenho e metabolismo em testes incrementais.

Autores (ano)	Amostra	dose de BA	Ergômetro / Protocolo de exercício	efeitos sobre o desempenho	efeitos sobre o metabolismo
Stout e colaboradores (2006)	25 homens jovens e fisicamente ativos grupo BA (n=12) grupo PL (n=13)	6,4 g.d ⁻¹ por 6 dias, então 3,2 g.d ⁻¹ por 3 semanas	Cicloergômetro; Carga inicial = 60W Incrementos = 30W a cada 2 min até a exaustão	↑ Potência máxima no grupo BA em comparação ao grupo PL;	
Stout e colaboradores (2007)	22 mulheres jovens e fisicamente ativas grupo BA (n=11) grupo PL (n=11)	3,2 g.d ⁻¹ por 7 dias, então 6,4 g.d ⁻¹ por 3 semanas	Cicloergômetro; Carga inicial = 40W Incrementos = 20W a cada 3 min até a exaustão	↑ TE e potência máxima no grupo BA em comparação ao grupo PL;	↑ Limiar ventilatório no grupo BA em comparação ao grupo PL;
Zoeller e colaboradores (2007)	27 homens jovens e fisicamente ativos grupo BA (n=14) grupo PL (n=13)	6,4 g.d ⁻¹ por 6 dias, então 3,2 g.d ⁻¹ por 3 semanas	Cicloergômetro; Carga inicial = 30W Incrementos = 30W a cada 2 min até a exaustão	↔ TE e potência máxima entre os grupos;	↔ VO _{2máx} e limiar ventilatório entre os grupos;
Stout e colaboradores (2008)	26 homens e mulheres idosos (55-92 anos) grupo BA (n=12) grupo PL (n=14)	2,4 g.d ⁻¹ por 12 semanas	Cicloergômetro; Carga inicial = 30W Incrementos = 20W a cada 2 min até a exaustão	↑ Potência máxima no grupo BA em comparação ao grupo PL;	
Jordan e colaboradores (2010)	17 homens jovens e fisicamente ativos grupo BA (n=8) grupo PL (n=9)	6.0 g.d ⁻¹ por 4 semanas.	Esteira; Carga inicial = 9.6 km.h ⁻¹ Incrementos = 2% de inclinação a cada 2 minutos até a exaustão.	Não foi avaliado neste estudo.	↓ VO _{2máx} no grupo BA em comparação ao grupo PL; Retardo no acúmulo de lactato sanguíneo (OBLa);
Ghiasvand e colaboradores (2012)	39 homens jovens e fisicamente ativos grupo BA (n=20) grupo PL (n=19)	2.0 g.d ⁻¹ por 6 semanas	Cicloergômetro; Carga inicial = 30W Incrementos = 30W a cada 2 minutos até a exaustão.	↑ TE no grupo BA em comparação ao grupo PL;	↑ VO _{2máx} no grupo BA em comparação ao grupo PL;

Legenda: BA = beta-alanina; PL = placebo; g.d⁻¹ = gramas por dia; km.h⁻¹ = quilômetros por hora; W = watts; TE = tempo até a exaustão; VO_{2máx} = capacidade aeróbia máxima.

Além da ausência de testes de pureza nos suplementos utilizados, o que é altamente recomendável quando se usa suplementos sem grau de pureza atestado em estudos científicos, é possível que as demais substâncias ali presentes, e não a beta-alanina, tenham prejudicado o desempenho.

Por fim, pode-se também especular que o tipo de teste utilizado pode ter

contribuído para a ausência de efeitos ergogênicos, já que a maior massa muscular envolvida na corrida pode levar à uma menor acidose muscular localizada em comparação ao exercício em cicloergômetro, gerando uma menor probabilidade de se observar os efeitos ergogênicos de um conteúdo aumentado de carnosina muscular proveniente da suplementação de beta-alanina.

Testes anaeróbios contínuos

Os efeitos da suplementação de beta-alanina sobre o desempenho físico em testes anaeróbios contínuos de alta intensidade também têm recebido atenção na literatura (Tabela 2).

De modo geral, são fortes as evidências em favor do uso da beta-alanina como meio de retardar a fadiga e melhorar o desempenho em atividades contínuas de alta intensidade, com duração aproximada de 1 a 4 minutos, nas quais a acidose muscular é um fator limitante para o desempenho.

De quatro estudos (Hill e colaboradores, 2007; Sale e colaboradores, 2011; Danaher e colaboradores, 2014 e Jagim e colaboradores, 2013) que avaliaram os efeitos da beta-alanina sobre desempenho em testes contínuos supramáximos (pedalar a 110% da potência máxima, ou correr a 110% e 140% do $VO_{2máx}$), três deles mostraram a efetividade da suplementação (Hill e colaboradores, 2007; Sale e colaboradores, 2011; Danaher e colaboradores, 2014).

Curiosamente, esses três estudos utilizaram testes até a exaustão em cicloergômetro a 110% da potência máxima (CCT_{110%}), ao passo que o único estudo que utilizou teste com corrida em esteira motorizada (a 110% e 140% do $VO_{2máx}$) não mostrou nenhuma alteração do desempenho com a suplementação (Jagim, 2013). Esses dados sugerem que não apenas a intensidade e a duração do exercício podem afetar as respostas à suplementação, mas também outras características, como o tipo de movimento e os grupos musculares envolvidos também são relevantes.

Nesse caso, semelhantemente ao discutido no tópico anterior, pode-se especular que o ciclismo envolve grupos musculares menores do que a corrida e, dessa forma, a acidose local é mais intensa no primeiro, explicando porque nesse tipo de atividade os efeitos ergogênicos da beta-alanina são mais claros.

Uma outra abordagem experimental bastante útil para verificar o efeito da beta-alanina no aumento da tolerância ao esforço em acidose é a medida do tempo até a exaustão durante uma contração isométrica que induza acidose pela restrição do fluxo sanguíneo, conforme modelo originalmente descrito por Rohmert (1960).

Utilizando esse modelo, Derave e colaboradores (2007) estudaram corredores especialistas em 400 metros e, após a suplementação de beta-alanina, não foram observadas diferenças significantes no tempo até a exaustão em relação ao grupo placebo, indicando ausência de efeito ergogênico.

No entanto, acredita-se que Derave e colaboradores (2007) tenham cometido algum erro na execução do protocolo, uma vez que o tempo até a exaustão observado (~180-200 s) foi bastante superior ao esperado (~75-80 s, conforme equação de Rohmert (1960)).

Esse elevado tempo até a exaustão sugere que a carga ideal para oclusão do fluxo sanguíneo (isto é, 45% da contração voluntária máxima) não foi atingida, tendo sido aplicada carga inferior à carga ótima (estima-se, pela equação de Rohmert (1960), que a carga real do estudo de Derave e colaboradores (2007) tenha sido de ~25% da contração voluntária máxima (Sale e colaboradores, 2012).

Isso, obviamente, teria resultado em uma acidose de menor magnitude e, como consequência, os efeitos da beta-alanina seriam menos observáveis.

Apoiando essa hipótese, o estudo de Sale e colaboradores, (2012), propôs-se a reinvestigar os efeitos da beta-alanina sobre a resistência à fadiga no mesmo modelo de acidose por restrição fluxo, porém com ajuste mais rigoroso da carga aplicada.

Confirmando a hipótese de que o protocolo de Derave e colaboradores (2007) não resultou em acidose local, o tempo de exaustão no estudo de Sale foi bastante próximo ao estimado pela equação de Rohmert (1960), com média de 77 ± 19 s (grupo beta-alanina).

Condizente com um estado de acidose intramuscular, a suplementação de beta-alanina foi capaz de aumentar em ~13% o tempo até a exaustão (Sale e colaboradores, 2012).

Com base no que foi discutido neste tópico, pode-se verificar que a suplementação de beta-alanina é eficaz em melhorar o desempenho físico em testes anaeróbios contínuos. Esta conclusão está de acordo com a única meta-análise disponível na literatura sobre o tema (Robson e colaboradores, 2012) a qual mostrou que a beta-alanina beneficia o desempenho em atividades contínuas com duração entre 60-240 s ($p=0.001$).

Tabela 2 - Efeitos da suplementação de beta-alanina sobre testes anaeróbios contínuos.

Autores (ano)	Amostra	dose de BA	Ergômetro / Protocolo de exercício	efeitos sobre o desempenho
Derave e colaboradores (2007)	15 homens jovens e treinados em corrida de curta distância (400 metros) grupo BA (n=8) grupo PL (n=7)	4,8 g.d ⁻¹ por 5 semanas	Dinamômetro Isocinético; Isometria até a exaustão durante extensão de joelho sob uma intensidade de 45% CVM.	↑ TE nos grupos BA e PL, mas sem diferença entre os grupos;
Hill e colaboradores (2007)	25 homens jovens e fisicamente ativos grupo BA (n=13) grupo PL (n=12)	4,0 g.d ⁻¹ por 7 dias, 4,8 g.d ⁻¹ nos 7 dias subsequentes, 5,6 g.d ⁻¹ por mais 7 dias, e 6,4 g.d ⁻¹ por 7 semanas.	Cicloergômetro; Tempo até a exaustão sob uma intensidade de 110% W _{máx} .	↑ TE no grupo BA em comparação ao período basal;
Hoffman e colaboradores (2008 b)	26 homens jovens e treinados em força grupo BA (n=13) grupo PL (n=13)	4,5 g.d ⁻¹ por 3 semanas	Cicloergômetro; 1 x 60 s, carga de 1,2 Nm / kg de peso corporal.	Tendência de melhora no índice de fadiga no grupo BA em comparação ao PL;
Del Favero e colaboradores (2011)	18 homens e mulheres idosos grupo BA (n=12) grupo PL (n=6)	3,2 g.d ⁻¹ por 12 semanas	Esteira; Tempo até a exaustão sob uma intensidade aproximada de 90% VO _{2máx} .	↑ TE no grupo BA em comparação ao grupo PL;
Sale e colaboradores (2011)	20 homens jovens e fisicamente ativos grupo BA (n=10) grupo PL (n=10)	6,4 g.d ⁻¹ por 4 semanas	Cicloergômetro; Tempo até a exaustão sob uma intensidade de 110% W _{máx} .	↑ TE no grupo BA em comparação ao período basal;
Sale e colaboradores (2012)	13 homens jovens e fisicamente ativos. grupo BA (n=7) grupo PL (n=6)	6,4 g.d ⁻¹ por 4 semanas	Dinamômetro Isocinético; Isometria até a exaustão durante extensão de joelho sob uma intensidade de 45% CVM.	↑ TE no grupo BA em comparação ao grupo PL;
Jagim e colaboradores (2013)	21 homens jovens e treinados anaerobiamente. grupo BA (n=10) grupo PL (n=11)	4,0 g.d ⁻¹ por 7 dias, e 6,0 g.d ⁻¹ por 4 semanas	Esteira; Corrida até a exaustão a 115 e 140% VO _{2máx} .	↔ TE entre os grupos BA e PL para ambas as intensidades;
Howe e colaboradores (2013)	16 homens jovens e treinados ciclismo grupo BA (n=8) grupo PL (n=8)	65 mg.kg ⁻¹ .d ⁻¹ , durante 4 semanas	Dinamômetro Isocinético; 30 movimentos máximos de extensão de joelho sob velocidade de 180°.s ⁻¹	↑ Potência Média no grupo BA em comparação ao grupo PL.
Danaher e colaboradores (2014)	8 homens jovens e fisicamente ativos (desenho <i>cross-over</i>)	4,8 g.d ⁻¹ por 14 dias, e 6,4 g.d ⁻¹ por 4 semanas	Cicloergômetro; Tempo até a exaustão sob uma intensidade de 110% W _{máx} .	↑ TE no grupo BA em comparação ao grupo PL;

Legenda: BA = beta-alanina; PL = placebo; g.d⁻¹ = gramas por dia; CVM = contração voluntária máxima; W_{máx} = potência máxima; VO_{2máx} = capacidade aeróbia máxima; TE = tempo até a exaustão.

Esse fato ainda é condizente com o papel da carnosina como reguladora do equilíbrio ácido-base no músculo esquelético,

uma vez que esta faixa de duração se refere às atividades com intensa demanda glicolítica e que induzem elevada acidose intramuscular.

Testes anaeróbios intermitentes

Embora os estudos investigando os efeitos ergogênicos da suplementação de beta-alanina tenham utilizado tarefas contínuas até a exaustão, alguns estudos avaliaram se essa estratégia nutricional também poderia ser ergogênica em tarefas intermitentes (Tabela 3).

A justificativa teórica para tais investigações se baseiam no fato de que 1) exercícios intermitentes constituem melhor ferramenta para simular as demandas

metabólicas de muitas modalidades esportivas, e que 2) exercícios intermitentes resultam em acidose muscular consideravelmente maior do que exercícios contínuos (Belfry e colaboradores, 2012; Hermansen e Osnes, 1972).

Mediante este último ponto, é razoável assumir que o desempenho intermitente seja mais limitado pela acidose muscular e, portanto, um melhor modelo para investigar os potenciais efeitos ergogênicos de estratégias que aumentam a capacidade tamponante muscular.

Tabela 3 - Efeitos da suplementação de beta-alanina sobre o desempenho intermitente.

Autores (ano)	Amostra	dose de BA	Ergômetro / Protocolo de exercício	efeitos sobre o desempenho
Derave e colaboradores (2007)	15 homens jovens e treinados em corrida de curta distância (400 metros) grupo BA (n=8) grupo PL (n=7)	4,8 g.d ⁻¹ por 5 semanas	Dinamômetro Isocinético; 5 x 30 extensões de joelho, com velocidade de 180°/s e 1 min entre as séries.	↑ Torque pico nas séries 4 e 5 no grupo BA em comparação ao PL;
Sweeney e colaboradores (2010)	19 homens jovens e fisicamente ativos grupo BA (n=9) grupo PL (n=10)	6,0 g.d ⁻¹ por 5 semanas	Esteira não-motorizada; 5 x 5 tiros de 5 s, carga de 15% do peso corporal; 45 s entre os tiros e 2 min entre as séries.	↔ Potência Pico e Potência Média horizontais entre os grupos BA e PL;
Smith e colaboradores (2012)	50 homens e mulheres jovens e fisicamente ativos grupo BA (n=26) grupo PL (n=24)	4,8 g.d ⁻¹ por 4 semanas	Esteira; 3 tiros até a exaustão a 110%, 100% e 90% da velocidade pico, com 15 min de intervalo entre os tiros	↔ TE entre os grupos BA e PL para todas as velocidades;
Tobias e colaboradores (2013)	19 homens jovens treinados em judô e jiu-jitsu grupo BA (n=10) grupo PL (n=9)	6,4 g.d ⁻¹ por 4 semanas	Cicloergômetro de membros superiores; 4 x 30 s, carga de 5% do peso corporal, com 3 min de intervalo entre as séries	↑ Potência Média, Potência Pico e Trabalho Total no grupo BA em comparação ao grupo PL.
Saunders e colaboradores (2014)	16 homens jovens e fisicamente ativos grupo BA (n=8) grupo PL (n=8)	6,4 g.d ⁻¹ por 5 semanas	Esteira não motorizada; 3 séries, consistindo de 5 tiros máximos de 6 segundos, executados em hipóxia (15.5% O ₂)	↔ Potência Média durante as 3 séries nos grupos PL e BA;
De Salles Painelli e colaboradores (2014)	39 homens jovens, dos quais 20 eram fisicamente ativos e 19 eram ciclistas treinados grupo NTBA (n=10) grupo NTPL (n=10) grupo TBA (n=10) grupo TPL (n=9)	6,4 g.d ⁻¹ por 4 semanas	Cicloergômetro; 4 x 30 s a 5% do peso corporal, com 3 minutos de intervalo entre os testes.	↑ Trabalho Total nos grupos BA em comparação aos grupos Placebo; ↑ Potência Média nos grupos BA em comparação ao período basal.

Legenda: BA = beta-alanina; PL = placebo; TBA = treinado + beta-alanina; TPL = treinado + placebo; NTBA = não treinado + beta-alanina; NTPL = não treinado + placebo; g.d⁻¹ = gramas por dia; TE = tempo até a exaustão.

A literatura apresenta 6 estudos investigando os efeitos da suplementação de beta-alanina sobre o desempenho em exercícios intermitentes.

Apesar da similaridade nos protocolos de suplementação, metade deles apresenta resultados positivos (Derave, 2007; Tobias e colaboradores, 2013; De Salles Paineli e colaboradores, 2014), enquanto a outra metade mostra nenhum efeito (Sweeney, 2010; Smith-Ryan, 2012 e Saunders e colaboradores, 2012).

Acredita-se que a ausência de resultados positivos em alguns dos estudos possa ter ocorrido pelas características do protocolo de exercício empregado; isto é, mesmo utilizando exercícios intermitentes, alguns desses estudos podem não ter utilizado protocolos com intensidade e/ou duração suficientes para serem limitados pela queda do pH intramuscular (Sweeney, 2010; Smith-Ryan, 2012 e Saunders e colaboradores, 2012), mascarando qualquer efeito ergogênico de uma capacidade de tamponamento muscular aumentada.

Além disso, conforme já destacado nos tópicos anteriores, por envolverem o recrutamento de vários grupamentos musculares, a utilização dos protocolos em

esteira por estes estudos pode ter sido outro fator a mascarar os efeitos positivos da suplementação de beta-alanina sobre o desempenho.

Com base nisso, nosso grupo conduziu dois estudos nos quais indivíduos treinados em membros superiores (lutadores de judô e jiu-jitsu) e inferiores (ciclistas) foram submetidos a um protocolo intermitente limitado pela acidose muscular e sabidamente sensível ao uso de substâncias tamponantes (Artioli e colaboradores, 2007).

O referido protocolo consiste em 4 testes de Wingate para membros superiores (Tobias e colaboradores, 2013) ou inferiores (De Salles Paineli e colaboradores, 2014), e foi aplicado antes e após 4 semanas de suplementação de beta-alanina (6,4 g.d⁻¹).

Em ambos os estudos, demonstramos que a suplementação de beta-alanina melhorou significativamente o trabalho total e potência média, confirmando: 1) a importância de se escolher protocolos de exercício adequados quanto a intensidade, duração e massa muscular envolvida para se avaliar a eficácia ergogênica da suplementação de beta-alanina; e 2) a efetividade desta estratégia nutricional em melhorar o desempenho intermitente.

Tabela 4 - Estudos avaliando os efeitos da suplementação de beta-alanina sobre o desempenho esporte-específico.

Autores (ano)	Amostra	dose de BA	Protocolo de exercício	efeitos sobre o desempenho
Derave e colaboradores (2007)	15 homens jovens e treinados em corrida de curta distância (400 metros) grupo BA (n=8) grupo PL (n=7)	4,8 g.d ⁻¹ por 5 semanas	Corrida de 400 m.	↔ Tempo de prova entre os grupos BA e PL;
Van Thienen e colaboradores (2009)	17 homens jovens e moderadamente treinados em ciclismo. grupo BA (n=9) grupo PL (n=8)	2,0 g.d ⁻¹ por 14 dias, 3,0 g.d ⁻¹ nos próximos 14 dias, e 4,0 g.d ⁻¹ por 4 semanas.	Tiro de 30 s em cicloergômetro após simulação de prova de ciclismo de 2 h.	↑ Potência Pico e Média no grupo BA em comparação ao grupo PL;
Baguet e colaboradores (2010)	17 homens jovens e treinados em remo. grupo BA (n=8) grupo PL (n=9)	5,0 g.d ⁻¹ por 7 semanas.	Prova de 2000 m no remo.	↔ Tempo de prova, com tendência de aumento no grupo BA (p=0,07);
Kern e Robinson (2011)	37 homens jovens e treinados anaerobicamente grupo BA (n=17) grupo PL (n=20)	4,0 g.d ⁻¹ por 8 semanas.	Tiro de 300 jardas;	↔ Tempo para completar o tiro entre os grupos BA e PL;
Bellinger e colaboradores (2012)	14 homens jovens e treinados em ciclismo grupo BA (n=7) grupo PL (n=7)	65 mg.kg ⁻¹ .d ⁻¹ , durante 4 semanas.	Potência produzida em série de 4 min de ciclismo em cicloergômetro;	↔ Potência Média entre os grupos BA e PL;

Chung e colaboradores (2012)	30 homens jovens e treinados em natação. grupo BA (n=18) grupo PL (n=12)	4,8 g.d ⁻¹ por 4 semanas, seguido de 3,2 g.d ⁻¹ por 6 semanas.	Índices de competição nas provas de 50, 100, 200 e 400 m livres na natação;	↔ Índices de competição nas provas de 50, 100, 200 e 400 metros entre os grupos BA e PL;
Donovan e colaboradores (2012)	16 homens jovens e treinados em boxe. grupo BA (n=8) grupo PL (n=8)	6,0 g.d ⁻¹ por 4 semanas	Força e frequência de soco durante 3 rounds de 3 min, com 1 min entre cada round;	↑ Força e frequência de soco no grupo BA em comparação ao grupo PL;
Saunders e colaboradores (2012 a)	36 homens jovens e treinados em modalidades esportivas grupo BA (n=18) grupo PL (n=18)	6,4 g.d ⁻¹ por 4 semanas	Teste LIST (6 x 11 tiros de 15 m, com 3 min de intervalo entre as séries)	↔ Tempo médio dos tiros em cada uma das séries entre os grupos BA e PL;
Saunders e colaboradores (2012 b)	17 homens jovens e treinados em futebol grupo BA (n=9) grupo PL (n=8)	3,2 g.d ⁻¹ por 12 semanas	Teste Intermitente Yo-Yo Nível 2	↑ Distância total percorrida no grupo BA em comparação ao período basal;
Ducker e colaboradores (2013a)	12 homens jovens e treinados em modalidades esportivas grupo BA (n=6) grupo PL (n=6)	80 mg.kg ⁻¹ .d ⁻¹ por 4 semanas	3 x 6 tiros de corrida de 20 m, com 25 s entre os tiros e 4 min entre as séries.	↔ Tempo total para completar as 3 séries nos grupos PL e BA;
Ducker e colaboradores (2013b)	16 homens jovens e treinados em remo. grupo BA (n=7) grupo PL (n=9)	80 mg.kg ⁻¹ .d ⁻¹ , durante 4 semanas	Prova de 2000 m no remo;	↔ Tempo de prova entre os grupos BA e PL;
Ducker e colaboradores (2013c)	18 homens jovens e recreacionalmente treinados em corrida. grupo BA (n=9) grupo PL (n=9)	80 mg.kg ⁻¹ .d ⁻¹ , durante 4 semanas.	Corrida de 800 m rasos;	↓ Tempo de prova (melhora) no grupo BA em comparação ao grupo PL;
Hobson et al. e colaboradores (2013)	20 homens jovens e recreacionalmente treinados em remo. grupo BA (n=10) grupo PL (n=10)	6,4 g.d ⁻¹ por 4 semanas	Prova de 2000 m no remo;	↓ Tempo de prova (melhora) no grupo BA em comparação ao grupo PL;
Howe e colaboradores (2013)	16 homens jovens e treinados em ciclismo grupo BA (n=8) grupo PL (n=8)	65 mg.kg ⁻¹ .d ⁻¹ , durante 4 semanas.	Prova de 4 min em cicloergômetro;	↔ Potência Média entre os grupos BA e PL;
De Salles Painelli e colaboradores (2013)	16 homens e mulheres jovens e treinados em natação grupo BA (n=9) grupo PL (n=7)	3,2 g.d ⁻¹ durante 7 dias, seguidos de 6,4 g.d ⁻¹ por 4 semanas	Simulação de prova de 100 e 200 m livres na natação;	↓ Tempo de prova (melhora) em ambas as distâncias no grupo BA vs. PL;
Chung e colaboradores (2014)	27 homens jovens e treinados em ciclismo e triathlon grupo BA (n=14) grupo PL (n=13)	3,2 g.d ⁻¹ durante 6 semanas	Prova de ciclismo de ~1 h.	↔ Tempo de prova entre os grupos BA e PL;

Legenda: BA = beta-alanina; PL = placebo; g.d⁻¹ = gramas por dia; mg.kg⁻¹.d⁻¹ = miligramas por quilograma de peso corporal por dia. LIST = Loughborough Intermittent Shuttle Test (Teste Loughborough de Deslocamento Intermitente).

Testes específicos ao esporte

A possibilidade da suplementação de beta-alanina se mostrar ergogênica em

modalidades esportivas certamente é um dos pontos mais atraentes para atletas, treinadores e fisiologistas do exercício. Com isso, diversas pesquisas investigaram a suplementação de

beta-alanina como estratégia nutricional ergogênica durante protocolos de exercício simulando o desempenho específico em campo ou específicos ao esporte (Tabela 4).

Quatro estudos investigaram os efeitos da suplementação de beta-alanina no ciclismo (Van Thienen e colaboradores, 2009; Bellinger e colaboradores, 2012; Howe e colaboradores, 2013 e Chung e colaboradores, 2014), sendo que três deles não observaram quaisquer efeitos desta estratégia nutricional (Bellinger e colaboradores, 2012; Howe e colaboradores, 2013 e Chung e colaboradores, 2014).

No entanto, é possível que a duração dos protocolos utilizados nesses estudos possa ter influenciado as respostas à suplementação, já que nos estudos de Bellinger e colaboradores, (2012) (protocolo de 4 min), Howe e colaboradores, (2013) (protocolo de 4 min) e Chung e colaboradores (2014) (protocolo de 1 h), a duração do exercício contínuo foi superior à faixa na qual a beta-alanina se mostra ergogênica (isto é, entre 60 e 240 segundos (Robson e colaboradores, 2012)).

Já Van Thienen e colaboradores, (2009) observaram um aumento da potência pico e média com a suplementação de beta-alanina durante um tiro de 30 segundos realizado após um teste contrarrelógio de 2 horas.

Com isso, é possível concluir que, embora a suplementação de beta-alanina não beneficie o tempo total durante uma tarefa longa como uma prova de ciclismo, é possível que a mesma seja benéfica em momentos específicos da prova, especialmente quando há aumento da intensidade e consequente predominância do metabolismo anaeróbio, como nas disputas de posições que ocorrem durante e ao final da prova.

Em relação ao potencial ergogênico da beta-alanina em provas rápidas de ciclismo (ex.: provas *indoor*, ou de pista), ainda são necessários mais estudos em situações mais específicas de prova.

O interesse no potencial ergogênico da suplementação de beta-alanina também se estendeu para outras modalidades, como o remo e a natação. Nosso grupo de pesquisa, por exemplo, investigou se 5 semanas de suplementação de beta-alanina (3,2 g/dia durante a 1ª semana, seguidos de 6,4 g/dia durante 4 semanas) poderiam melhorar o desempenho de nadadores em provas

simuladas de 100 e 200 m estilo livre (De Salles Paineli, 2013).

Nós observamos que o desempenho em ambas as tarefas foi significativamente melhorado após a suplementação, indicando que os nadadores de curtas distâncias também podem se beneficiar da suplementação.

Os estudos investigando os efeitos da suplementação de beta-alanina sobre o desempenho no remo, por outro lado, são menos conclusivos.

Enquanto Hobson e colaboradores (2013) observaram que a suplementação de beta-alanina proporcionou uma redução significativa do tempo total para se completar uma prova de 2000 m, Baguet e colaboradores (2010) e Ducker, Dawson e Wallman (2013) observaram apenas efeitos marginais, ou uma tendência de melhora no desempenho ($p = 0,07$ no estudo de Baguet; $p = 0,055$ no estudo de Ducker).

A despeito da falta de significância estatística, vale lembrar que o baixo número amostral inerente a estudos com atletas, combinado com a magnitude discreta de efeitos sobre o desempenho, o que é natural para qualquer suplemento alimentar, resultam em baixo poder estatístico na grande maioria dos estudos.

Isso é especialmente verdadeiro quando ferramentas de maior validade externa e menor validade interna são usadas para avaliar o desempenho, como é o caso dos testes que simulam provas esportivas.

Portanto, ainda que tal redução no tempo de prova de remo não tenha sido estatisticamente significativa nesses dois estudos, a relevância dessa melhora em uma situação competitiva não deve ser desprezada.

Considerando que, dos três estudos com remo, um mostrou efeito estatisticamente positivo da suplementação e os outros dois mostraram tendências de melhora, é possível que a combinação dos 3 estudos mostre de forma mais conclusiva o potencial ergogênico da beta-alanina em provas de remo de 2000 m.

No entanto, ainda não existe uma meta-análise envolvendo esses três estudos. Cabe ainda salientar que o tempo de duração de uma prova de remo, que é de aproximadamente 390-400 s, é superior à faixa de duração de exercícios contínuos na

qual a beta-alanina é preferencialmente ergogênica (60-240 s).

O provável efeito ergogênico em provas de remo, a despeito disso, pode ser explicado pela grande participação de grupos musculares relativamente pequenos dos membros superiores, os quais podem estar submetidos a elevada acidose durante uma prova.

Alguns estudos ainda se propuseram a investigar a eficácia ergogênica da beta-alanina sobre provas de corrida de velocidade.

Estudos como o de Derave e colaboradores (2007) e o de Kern e Robinson (2010) não observaram efeitos positivos da suplementação sobre o tempo para se completar as distâncias de 400 metros e 300 jardas, respectivamente.

Contudo, a duração dessas tarefas foi menor do que 60 segundos, de tal forma que a acidose muscular provavelmente não é limitante para o desempenho. Já Ducker, Dawson B, Wallman (2013) observaram que 4 semanas de suplementação de beta-alanina proporcionaram uma redução significativa do tempo para se completar a distância de 800 metros, uma tarefa com duração entre 100 e 115 segundos.

Conforme discutido ao longo deste tópico, parece existir uma faixa específica de duração do exercício (60 a 240 segundos) na qual os efeitos ergogênicos da suplementação de beta-alanina são mais claros.

Modalidades esportivas com tal duração, em que o metabolismo anaeróbio glicolítico é predominante, e, portanto, a acidose muscular passa a ser o principal fator limitante para o desempenho físico, certamente poderão se beneficiar da ação ergogênica desta estratégia nutricional.

Outras modalidades cujo tempo de duração está fora dessa faixa, mas que de alguma forma tem o desempenho limitado pela acidose muscular, também podem se beneficiar da beta-alanina, como é o caso dos momentos de *sprint* do ciclismo e do remo.

Além disso, conforme já destacado em tópicos anteriores, é possível que o número de grupamentos musculares requisitados pela modalidade esportiva em questão também possa influenciar a resposta à suplementação, já que um número restrito de grupamentos certamente induzirá uma acidose muscular mais localizada, aumentando a probabilidade

de se observar os efeitos ergogênicos da beta-alanina.

A suplementação de beta-alanina como auxílio ergogênico ao treinamento físico

De acordo com os pontos revisados até o momento, um conteúdo aumentado de carnosina muscular via suplementação de beta-alanina parece ter implicações importantes para o desempenho físico durante exercícios de alta intensidade.

Mediante tal afirmação, é correto especular que atletas engajados em modalidades de alta intensidade poderiam se beneficiar desta estratégia nutricional não apenas na competição, mas também durante as sessões de treino.

Assim, um conteúdo aumentado de carnosina possibilitaria melhoras na qualidade do treino, por meio de um maior volume e/ou intensidade de treino, induzindo uma otimização das adaptações ao treinamento. A tabela 5 resume os estudos que avaliaram o potencial da beta-alanina como meio de melhorar a qualidade do treino.

Num desenho duplo-cego e *crossover*, oito jovens treinados em força suplementação com beta-alanina (4,8 g.d⁻¹) por 4 semanas seguidas por 4 semanas de *washout* e, por fim, 4 semanas de suplementação com placebo, tendo a ordem das substâncias administrada de forma aleatória e contrabalanceada (Hoffman e colaboradores, 2008).

Foi observado um aumento significativo de 22% no volume de treino após a suplementação de beta-alanina em comparação à suplementação de placebo, indicando que a suplementação de beta-alanina é uma interessante estratégia nutricional a ser aliada ao treinamento físico para fins de otimização do desempenho.

Por outro lado, é necessário ter cautela ao examinar estes resultados, pois, levando-se em consideração que estudos anteriores sugerem que o *washout* da carnosina no músculo esquelético demora 8 semanas ou mais (Stellingwerff e colaboradores, 2012), existe a dúvida se o desenho adotado com apenas 4 semanas de *washout* permite, de fato, uma avaliação apropriada dos efeitos da beta-alanina. Posteriormente, Kendrick e colaboradores (2008) não observaram efeitos aditivos da

suplementação de beta-alanina (6.4 gramas por dia, por 10 semanas) ao treinamento de força, já que variáveis como a força máxima, a

resistência de força e a composição corporal não foram diferentes entre os grupos que consumiram beta-alanina e placebo.

Tabela 5 - Estudos avaliando o possível papel da suplementação de beta-alanina como auxílio ergogênico para o treinamento físico.

Autores (ano)	Amostra	dose de BA	Protocolo de treinamento	Resultados
Kendrick e colaboradores (2008)	26 homens jovens e fisicamente ativos grupo BA (n=13) grupo PL (n=13)	6,4 g.d ⁻¹ por 10 semanas	Treinamento de força por 10 semanas, 4 sessões por semana; 1 a 4 séries, 8 a 12 RM;	↑ 1-RM e Torque de Pico após o treino em ambos os grupos BA e PL; Sem efeito da BA;
Hoffman e colaboradores (2008 a)	8 homens jovens e treinados em força (desenho <i>cross-over</i>)	4,8 g.d ⁻¹ por 4 semanas	Treinamento de força por 4 semanas, 4 sessões por semana; 3 a 5 séries, 8 a 10 RM;	↑ Resistência de Força no grupo BA em comparação ao PL;
Hoffman e colaboradores (2008 b)	26 homens jovens e treinados em força grupo BA (n=13) grupo PL (n=13)	4,5 g.d ⁻¹ por 3 semanas	Sem informações sobre o protocolo de treinamento.	↑ Volume de treino no exercício Supino para o grupo BA em comparação ao PL;
Smith e colaboradores (2009 a)	36 homens jovens e fisicamente ativos grupo BA (n=18) grupo PL (n=18)	6,0 g.d ⁻¹ por 6 semanas	Treinamento intermitente em cicloergômetro por 6 semanas, 3 sessões por semana; 5-6 x 2 min a 90%-115% W _{máx} , com 1 min entre as séries;	↑ TE, Trabalho Total, Limiar Ventilatório e VO _{2máx} nos grupos BA e PL, mas sem diferença entre eles; Sem efeito da BA;
Smith e colaboradores (2009 b)	46 homens jovens e fisicamente ativos grupo BA (n=18) grupo PL (n=18) grupo controle (n=10)	6,0 g.d ⁻¹ por 6 semanas	Treinamento intermitente em cicloergômetro por 6 semanas, 3 sessões por semana; 5-6 x 2 min a 90%-115% W _{máx} , com 1 min entre as séries;	↑ TE, Trabalho Total e VO _{2máx} após as primeiras 3 semanas nos grupos BA e PL; ↑ TE, Trabalho Total e VO _{2máx} nas últimas 3 semanas apenas no grupo BA;
Walter e colaboradores (2010)	44 mulheres jovens e fisicamente ativas grupo BA (n=14) grupo PL (n=19) grupo controle (n=11)	6,0 g.d ⁻¹ por 6 semanas	Treinamento intermitente em cicloergômetro por 6 semanas, 3 sessões por semana; 5-6 x 2 min a 90%-115% W _{máx} , com 1 min entre as séries;	↑ Limiar Ventilatório e VO _{2máx} nos grupos BA e PL, mas sem diferenças entre os grupos; Sem efeito da BA;

Legenda: BA = beta-alanina; PL = placebo; g.d⁻¹ = gramas por dia; W_{máx} = potência máxima; VO_{2máx} = capacidade aeróbia máxima; TE = tempo até a exaustão; RM = repetição máxima.

Nessa mesma linha, ao se utilizarem de um protocolo de treinamento intermitente de alta intensidade bastante similares entre si, Smith e colaboradores (2010) e Walter e colaboradores (2010) observaram aumento do tempo até exaustão, do limiar ventilatório e da capacidade aeróbia máxima em resposta ao treinamento, mas nenhuma diferença entre os grupos suplementados com beta-alanina e placebo.

Curiosamente, o mesmo grupo de pesquisa apresentou resultados positivos utilizando o mesmo protocolo de suplementação associado ao mesmo

treinamento intermitente anteriormente utilizado (Smith e colaboradores, 2009).

Mais especificamente, a melhora em relação ao grupo suplementado ocorreu da metade do período de treinamento em diante, o que pode sugerir que os resultados negativos obtidos nos outros dois estudos devem-se aos tempos em que foram realizadas as avaliações, já que os trabalhos de Smith e colaboradores (2010) e Walter e colaboradores (2010) não avaliaram o período final do treinamento, momento em que a magnitude das melhoras obtidas com o treinamento é mais discreta e, teoricamente,

pode haver maior margem para manifestação dos efeitos da suplementação.

Apesar da grande maioria dos estudos discutidos não apoiar a hipótese de que a suplementação de beta-alanina otimiza as adaptações ao treinamento físico, o número de estudos disponíveis na literatura investigando este tópico é limitado, com grandes divergências quanto ao tipo e duração do protocolo de treinamento físico empregado, ressaltando a importância e necessidade de mais estudos nesta área.

Suplementação de beta-alanina combinada a outros suplementos nutricionais

Em vista do bem estabelecido potencial ergogênico da beta-alanina em exercícios de alta intensidade, a possibilidade de combiná-la a outras estratégias nutricionais igualmente eficientes em exercícios com essas características, como é o caso da creatina e do bicarbonato de sódio, tem sido foco de intensa investigação (Tabela 6).

Tabela 6 - Efeitos da suplementação de beta-alanina combinada a outras estratégias nutricionais sobre o desempenho físico.

Autores (ano)	Amostra	dose de BA	dose de NaHCO ₃	dose de CR	Ergômetro / Protocolo de exercício	efeitos sobre o desempenho
Hoffman e colaboradores (2006)	33 homens jovens e atletas de futebol americano de nível universitário grupo CR + BA (n=11) grupo PL (n=11) grupo CR (n=11)	3,2 g.d ⁻¹ por 10 semanas		10,5 g.d ⁻¹ por 10 semanas	Supino e Agachamento / Teste de 1-RM; Cicloergômetro/ Teste de Wingate; - Avaliação do volume e intensidade semanais de treino no Supino e Agachamento	↑ 1-RM no grupo CR e CR + BA em comparação ao PL; ↔ Potência Pico e Média no Teste de Wingate entre os grupos; ↑ intensidade semanal de treino no Agachamento nos grupos CR e CR + BA em comparação ao PL; ↑ volume semanal de treino no Agachamento e no Supino no grupo CR + BA em comparação ao PL;
Stout e colaboradores (2006)	51 homens jovens e fisicamente ativos grupo BA (n=12) grupo CR (n=12) grupo PL (n=13) grupo BA+CR (n=14)	6,4 g.d ⁻¹ por 6 dias, então 3,2 g.d ⁻¹ por 3 semanas		5,25 g.d ⁻¹ por 4 semanas	Cicloergômetro; Carga inicial = 60W Incrementos = 30W a cada 2 min até a exaustão	↑ W _{máx} nos grupos BA e BA + CR em comparação ao grupo PL, mas sem diferença entre eles;
Zoeller e colaboradores (2007)	55 homens jovens e fisicamente ativos grupo BA (n=14) grupo CR (n=12) grupo PL (n=13) grupo BA+CR (n=14)	6,4 g.d ⁻¹ por 6 dias, então 3,2 g.d ⁻¹ por 3 semanas		5,25 g.d ⁻¹ por 4 semanas	Cicloergômetro; Carga inicial = 30W Incrementos = 30W a cada 2 min até a exaustão	↔ TE e W _{máx} entre os grupos; ↔ VO _{2máx} e limiar ventilatório entre os grupos;
Sale e colaboradores (2011)	20 homens jovens e fisicamente ativos grupo BA + PL e BA + SB (n=10) grupo PL + SB e PL + PL (n=10)	6,4 g.d ⁻¹ por 4 semanas	0,2 g.kg ⁻¹ 4 horas antes do início do exercício + 0,1 g.kg ⁻¹ 2 horas antes do início do protocolo.		Cicloergômetro; Tempo até a exaustão sob uma intensidade de 110% W _{máx} .	↑ TE nos grupos BA + PL e BA + NaHCO ₃ em comparação ao período basal; ↑ TE no grupo BA + SB em comparação ao grupo BA + PL;
Bellinger e colaboradores (2012)	14 homens jovens e treinados em ciclismo grupo BA + PL e BA + SB (n=7) grupo PL + SB e PL + PL (n=7)	65 mg.kg ⁻¹ .d ⁻¹ por 4 semanas	0,3 g.kg ⁻¹ 90 minutos antes do início do exercício		Cicloergômetro; Teste contrarrelógio de 4 minutos.	↔ Potência Média e Trabalho Total Potência Média nos grupos BA + PL e PL + PL em comparação ao basal; ↑ Potência Média e Trabalho Total nos grupos PL + SB e BA + SB em comparação ao basal;
Ducker e colaboradores (2013a)	24 homens jovens e treinados em modalidades esportivas grupo BA + PL (n=6) grupo BA + SB (n=6) grupo PL + SB (n=6) grupo PL + PL (n=6)	80 mg.kg ⁻¹ .d ⁻¹ por 4 semanas	0,3 g.kg ⁻¹ 90 minutos antes do início do protocolo de exercício		3 séries, consistindo de 6 tiros de 20 metros cada; com 25 segundos de intervalo entre os tiros; e 4 minutos de intervalo entre as séries.	↔ Tempo total para completar as 3 séries nos grupos PL + PL e BA + PL; ↓ Tempo total para completar as 3 séries nos grupos PL + SB e BA + SB;

Hobson e colaboradores (2013)	20 homens jovens e recreacionalmente treinados em remo grupo BA + PL e BA + SB (n=10) grupo PL + SB e PL + PL (n=10)	6,4 g.d ⁻¹ por 4 semanas	0,2 g.kg ⁻¹ 4 horas antes do início do exercício + 0,1 g.kg ⁻¹ 2 horas antes do exercício.		Teste Contrarrelógio na prova de 2000 metros	↔ Tempo de prova nos grupos PL + PL em comparação ao basal; ↓ Tempo de prova nos grupos PL + SB, BA + PL e BA + SB em comparação ao grupo PL + PL; ↓ Tempo de prova no grupo BA + SB em comparação ao grupo BA + PL.
Tobias e colaboradores (2013)	37 homens jovens treinados em judô e jiu-jitsu grupo BA + PL (n=10) grupo BA + SB (n=9) grupo PL + SB (n=9) grupo PL + PL (n=9)	6,4 g.d ⁻¹ por 4 semanas	0,5 g.kg ⁻¹ .d ⁻¹ por 7 dias		Cicloergômetro adaptado para membros superiores; 4 Testes de Wingate, a 5% do peso corporal; com 3 minutos de intervalo entre os testes.	↑ Potência Média e Potência Pico nos grupos PL + SB, BA + PL e BA + SB em comparação ao basal; ↑ Trabalho Total nos grupos PL + SB e BA + PL em comparação ao PL + PL; ↑ Trabalho Total no grupo BA + SB em comparação aos demais grupos;
De Salles Painelli e colaboradores (2013)	7 homens e 7 mulheres jovens treinados em distâncias curtas na natação grupo BA + PL e BA + SB (n=7) grupo PL + SB e PL + PL (n=7)	6,4 g.d ⁻¹ por 4 semanas	0,3 g.kg ⁻¹ 90 minutos antes do início do exercício		Índice nas distâncias de 100 e 200 metros livres na natação;	↓ Tempo de prova em ambas as distâncias nos grupos PL + SB, BA + PL e BA + SB em comparação ao PL + PL; ↓ Tempo de prova no grupo BA + SB em comparação aos demais grupos;
Saunders e colaboradores (2013)	16 homens jovens e fisicamente ativos grupo BA + PL e BA + SB (n=8) grupo PL + SB e PL + PL (n=8)	6,4 g.d ⁻¹ por 5 semanas	0,2 g.kg ⁻¹ 4 horas antes do início do exercício + 0,1 g.kg ⁻¹ 2 horas antes do início do exercício.		Esteira não motorizada; 3 séries, consistindo de 5 tiros máximos de 6 segundos, executados em hipóxia (15.5% O ₂)	↔ Potência Média durante as 3 séries entre os grupos PL + PL, PL + SB, BA + PL e BA + SB;
Mero e colaboradores (2013)	13 homens jovens e treinados em curtas distâncias na natação	4,8 g.d ⁻¹ por 4 semanas	0,3 g.kg ⁻¹ 60 minutos antes do início do exercício		2 tiros de 100 metros nado livre, separados por recuperação passiva de 12 minutos	↔ Tempo total para completar o 1º ou o 2º tiro entre as condições BA + PL e BA + SB; ↓ Aumento no tempo para completar o 2o tiro nas condições PL + SB comparado ao PL + PL;
Danaher e colaboradores (2014)	8 homens jovens e fisicamente ativos (desenho cross-over)	4,8 g.d ⁻¹ por 14 dias, e 6,4 g.d ⁻¹ por 4 semanas	0,3 g.kg ⁻¹ 90 minutos antes do início do exercício		Cicloergômetro; Tempo até a exaustão sob uma intensidade de 110% W _{máx} .	↑ TE no grupo BA + PL e BA + SB em comparação ao grupo PL + PL; ↔ TE no grupo PL + SB em comparação ao grupo PL + PL; ↔ TE no grupo BA + SB em comparação ao grupo BA + PL;

Legenda: BA = beta-alanina; CR = creatina; SB = bicarbonato de sódio; PL = placebo; g.d⁻¹ = gramas por dia; g.kg⁻¹ = gramas por quilograma de peso corporal; g.kg⁻¹.d⁻¹ = gramas por quilograma de peso corporal por dia; W_{máx} = potência máxima; VO_{2máx} = capacidade aeróbia máxima; TE = tempo até a exaustão; RM = repetição máxima.

Apesar dos 3 estudos investigando a combinação de beta-alanina com creatina terem utilizado um número relativamente grande de participantes, apenas um deles demonstrou efeitos aditivos da beta-alanina e da creatina, mais especificamente, sobre a composição corporal e sobre o volume e intensidade do treino de força em atletas

universitários de futebol americano (Hoffman e colaboradores, 2006).

Tais efeitos aditivos, contudo, não foram observados sobre o tempo até a exaustão em teste em cicloergômetro (Stout e colaboradores, 2006 e Zoeller e colaboradores, 2007).

O reduzido número de estudos investigando os efeitos ergogênicos da combinação destas duas estratégias nutricionais nos impede de concluir efetivamente se elas, de fato, são sinérgicas, embora as evidências atualmente apontem para a falta de efeito associado. Isso, obviamente, ressalta a necessidade de mais estudos que utilizem protocolos mais específicos às características de ação de cada um desses suplementos.

Mais recentemente, diversos estudos têm sido realizados com o objetivo de aumentar a capacidade tamponante tanto do meio intra como do extracelular. Isso pode ser obtido por meio da combinação da suplementação de beta-alanina e bicarbonato de sódio, respectivamente.

Após os resultados positivos do estudo de Sale e colaboradores, (2011) a grande maioria dos estudos posteriores passaram a investigar os possíveis efeitos ergogênicos da suplementação conjunta de beta-alanina e bicarbonato de sódio sobre o desempenho esporte-específico.

Dentre esses, nosso grupo investigou os efeitos da combinação desses suplementos sobre o desempenho em provas de 100 e 200 metros de nado livre (De Salles Paineli, 2013).

Tanto a suplementação isolada de beta-alanina quanto a de bicarbonato de sódio melhoraram o desempenho em ambas as provas. Além disso, a combinação dos suplementos proporcionou uma melhora ainda maior em comparação à beta-alanina isolada (De Salles Paineli, 2013).

Apesar destes promissores resultados iniciais, Bellinger e colaboradores (2010); Ducker, Dawson e Wallman (2013); Saunders e colaboradores, (2014) e Mero e colaboradores (2013) não tiveram o mesmo sucesso em encontrar os efeitos positivos da combinação dessas duas estratégias.

Com o objetivo de esclarecer se o protocolo de exercício utilizado nesses estudos poderia explicar tal contradição, nosso grupo de pesquisa recentemente investigou os potenciais efeitos aditivos da suplementação de beta-alanina e bicarbonato de sódio num protocolo conhecidamente limitado pela acidose muscular e sensível ao uso de tamponantes (Artioli e colaboradores, 2007).

Mais especificamente, atletas de judô e jiu-jitsu foram submetidos a 4 semanas de suplementação de beta-alanina (6,4 g.d⁻¹),

enquanto a suplementação de bicarbonato de sódio foi conduzida cronicamente, iniciando-se na última semana de suplementação de beta-alanina (0,5 g.kg⁻¹.d⁻¹).

Antes e após o período de suplementação, os atletas foram realizaram 4 testes de Wingate para membros superiores, com carga de 5% do peso corporal e 3 minutos de descanso entre os testes, para avaliação do trabalho total, potência pico e potência média.

Foi observado que tanto a suplementação isolada de beta-alanina quanto a de bicarbonato de sódio promoveram uma melhora significativa do trabalho total de 7% e 8%, respectivamente, quando comparados ao grupo placebo.

Não houve diferença entre os grupos suplementados, indicando a similaridade na eficácia ergogênica de ambos os suplementos. A co-suplementação de beta-alanina e bicarbonato de sódio, entretanto, proporcionou uma melhora de 14% no trabalho total comparado ao grupo placebo.

Esses dados corroboram achados de estudos anteriores e nos permitem confirmar 1) a importância de um teste físico apropriado para a avaliação da sensibilidade de substâncias tamponantes, e 2) os efeitos aditivos da suplementação de beta-alanina e bicarbonato de sódio sobre o desempenho físico.

Ressalta-se, no entanto, a necessidade de mais estudos investigando a possibilidade de efeitos sinérgicos da suplementação de beta-alanina com outras estratégias nutricionais em diferentes tipos de exercício, bem como os mecanismos de ação que regulam tais efeitos.

Por fim, à luz do crescente número de artigos investigando os efeitos combinados da beta-alanina ao bicarbonato de sódio sobre o desempenho físico, revisões quantitativas utilizando a meta-análise seriam interessantes para atestar a real magnitude do efeito da co-suplementação com ambas as estratégias nutricionais.

CONCLUSÃO

A suplementação de beta-alanina é uma estratégia eficaz em aumentar as concentrações intramusculares de carnosina.

Devido à sua localização intracelular e seu pKa, a carnosina atua como tampão de

íons H⁺ na faixa de transição de pH intramuscular que se observa do repouso para o exercício.

O nível de evidência da ação ergogênica da beta-alanina é alto, de tal modo que foi recentemente inserida no Grupo "A" da Comissão Esportiva Australiana; isto é, a beta-alanina figura entre as substâncias cujo uso no meio esportivo é permitido, seguro e possui embasamento científico.

A combinação da beta-alanina ao treinamento físico, apesar de surgir como alternativa interessante para otimizar as adaptações ao treinamento físico, parece não resultar em melhoras observáveis nas variáveis de treino, embora mais estudos sejam necessários para confirmar esses dados.

Já a combinação da suplementação de beta-alanina com outras estratégias nutricionais pode ser uma estratégia interessante para otimização do desempenho de alta intensidade. A combinação de beta-alanina à creatina, ainda que os resultados sejam pouco conclusivos, parece não ser mais benéfica do que os suplementos isolados.

No entanto, a combinação com bicarbonato de sódio, por outro lado, parece promover mais melhoras do que os suplementos isolados em atividades limitadas pela acidose intramuscular.

A partir do que foi discutido, é possível concluir que: 1) a suplementação de beta-alanina pode melhorar o desempenho em diferentes populações, independente de gênero (homem ou mulher), idade (jovens ou idosos) ou nível de treinamento (sedentário, fisicamente ativo ou atleta); 2) a beta-alanina é especialmente ergogênica em esforços anaeróbios intermitentes ou em esforços contínuos com duração aproximada entre 60 e 240 segundos, nos quais se observa elevada acidose muscular; 3) a suplementação de beta-alanina também pode ser efetiva em melhorar o desempenho esporte-específico, embora essa melhora também dependa das características metabólicas da tarefa; 4) até o momento não se pode afirmar de forma conclusiva que a suplementação de beta-alanina otimiza as adaptações ao treinamento físico; 5) a combinação de beta-alanina com bicarbonato de sódio parece ser uma estratégia eficaz e interessante a ser utilizada em atividades de alta intensidade para a otimização do desempenho físico-esportivo.

Mais estudos investigando os efeitos ergogênicos da combinação de beta-alanina a outros suplementos se fazem necessários.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (processos nº 2013/04806-0 e 2013/14746-4). Os autores declaram que não há conflito de interesse com o tema em questão.

REFERENCIAS

- 1-Abe, H. Role of histidine-related compounds as intracellular proton buffering constituents in vertebrate muscle. *Biochemistry. Moscow*. Vol. 7. Num. 65. 2000. p.757-765.
- 2-Artioli, G. G.; Gualano, B.; Coelho, D. F.; Benatti, F. B.; Gailey, A. W.; Lancha, A. H. Jr. Does sodium-bicarbonate ingestion improve simulated judo performance? *International Journal of Sport Nutrition Exercise Metabolism*. Vol. 17. 2007. p.206-217.
- 3-Artioli, G. G.; Gualano, B.; Smith, A.; Stout, J.; Lancha, A. H. Jr. Role of beta-alanine supplementation on muscle carnosine and exercise performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. Vol. 6. Num. 42. 2010. p.1162-1173.
- 4-Baguet, A.; Bourgois, J.; Vanhee, L.; Achten, E.; Derave W. Important role of muscle carnosine in rowing performance. *Journal of Applied Physiology*. Vol. 4. Num. 109. 2010. p.1096-1101.
- 5-Belfry, G. R.; Raymer, G. H.; Marsh, G. D.; Paterson, D. H.; Thompson, R. T.; Thomas, S. G. Muscle metabolic status and acid-base balance during 10-s work:5-s recovery intermittent and continuous exercise. *Journal of Applied Physiology*. Vol. 113. 2012. p.410-417.
- 6-Bellinger, P. M.; Howe, S. T.; Shing, C. M.; Fell, J. W. The Effect of Combined B-Alanine and NaHCO₃ Supplementation on Cycling Performance. *Medicine Science and Sports Exercise*. Vol. 8. Num. 44. 2012. p.1545-1551.
- 7-Boldyrev, A. A.; Aldini, G.; Derave, W. Physiology and pathophysiology of carnosine.

Physiological Reviews. Vol. 4. Num. 93. 2013. p.1803-1845.

8-Chung, W.; Baguet, A.; Bex, T.; Bishop, D. J.; Derave, W. Doubling of Muscle Carnosine Concentration Does Not Improve Laboratory 1-h Cycling Time Trial Performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. Vol. 3. Num. 24. 2014. p.315-324.

9-Chung, W.; Shaw, G.; Anderson, M. E.; Pyne, D. B.; Saunders, P. U.; Burke, L. M. Effect of 10 week beta-alanine supplementation on competition and training performance in elite swimmers. *Nutrients*. Vol. 10. Num. 4. 2012. p.1441-1453.

10-Currell, K.; Jeukendrup, A. E.; Validity, Reliability and Sensitivity of Measures of Sporting Performance. *Sports Medicine*. Vol. 38. 2008. p.297-316.

11-Danaher, J.; Gerber, T.; Wellard, R. M.; Stathis, C. G. The effect of β -alanine and NaHCO₃ co-ingestion on buffering capacity and exercise performance with high-intensity exercise in healthy males. *European Journal of Applied Physiology*. 2014.

12-De Salles Painelli, V.; Saunders, B.; Sale, C.; Harris, R. C.; Solis, M. Y.; Rosche, H.; Gualano, B.; Artioli, G. G.; Lancha, A. H. Jr. Influence of training status on high-intensity intermittent performance in response to β -alanine supplementation. *Amino Acids*. Vol. 5. Num. 46. 2014. p.1207-1215.

13-De Salles Painelli, V.; Roschel, H.; de Jesus, F.; Sale, C.; Harris, R. C.; Solis, M. Y.; Benatti, F. B.; Gualano, B.; Lancha, A. H. Jr.; Artioli, G. G. The ergogenic effect of beta-alanine combined with sodium bicarbonate on high-intensity swimming performance. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*. Vol. 5. Num. 20. 2013. p.525-532.

14-Derave, W.; Ozdemir, M. S.; Harris, R. C.; Pottier, A.; Reyngoudt, H.; Koppo, K.; Wise, J. A.; Achten, E. Beta-Alanine supplementation augments muscle carnosine content and attenuates fatigue during repeated isokinetic contraction bouts in trained sprinters. *Journal of Applied Physiology*. Vol. 5. Num. 103. 2007. p.1736-1743.

15-Donaldson, S.K.; Hermansen, L.; Bolles, L. Differential, direct effects of H⁺ on Ca²⁺-activated force of skinned fibers from the soleus, cardiac and adductor magnus muscles of rabbits. *Pflugers Archives*. Vol. 1. Num. 376. 1978. p.55-65.

16-Donovan, T.; Ballam, T.; Morton, J. P.; Close, G. L. β -alanine improves punch force and frequency in amateur boxers during a simulated contest. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. Vol. 5. Num. 22. 2012. p.331-337.

17-Ducker, K. J.; Dawson, B.; Wallman, K. E. Effect of Beta alanine and sodium bicarbonate supplementation on repeated-sprint performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*. Vol. 12. Num. 27. 2013a. p.3450-3460.

18-Ducker, K. J.; Dawson, B.; Wallman, K. E. Effect of beta-alanine supplementation on 2000-m rowing-ergometer performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. Vol. 4. Num. 23. 2013b. p.336-343.

19-Ducker, K. J.; Dawson, B.; Wallman, K. E. Effect of beta-alanine supplementation on 800-m running performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. Vol. 6. Num. 23. 2013c. p.554-561.

20-Fabiato, A.; Fabiato, F. Effects of pH on the myofilaments and the sarcoplasmic reticulum of skinned cells from cardiac and skeletal muscles. *Journal of Physiology*. Vol. 276. 1978. p.233-255.

21-Fitts, R. H. Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiology Reviews*. vol. 1. Num. 74. 1994. p.49-94.

22-Ghiasvand, R.; Gholamreza, A.; Janmohamad, M.; Maryam, H.; Pooya, D.; Fahimeh, A.; Maryam, B. Effects of Six Weeks of β -alanine Administration on VO₂ max, Time to Exhaustion and Lactate Concentrations in Physical Education Students. *International Journal of Preventive Medicine*. Vol. 8. Num. 3. 2012. p.559-563.

23-Harris, R. C.; Dunnett, M.; Greenhaff, P. L. Carnosine and taurine contents in individual

fibres in human vastus lateralis muscle. *Journal of Sports and Science*. vol. 16. 1998. p.639-643.

24-Harris, R. C.; Tallon, M. J.; Dunnett, M.; Boobis, L.; Coakley, J.; Kim, H. J.; Fallowfield, J. L.; Hill, C. A.; Sale, C.; Wise, J. A. The absorption of orally supplied Beta-Alanine and its effect on muscle carnosine synthesis in human vastus lateralis. *Amino Acids*. Vol. 3. Num. 30. 2006. p.279-289.

25-Hermansen, L.; Osnes, J. B. Blood and muscle pH after maximal exercise in man. *Journal of Applied Physiology*. Vol. 32. 1972. p.304-308.

26-Hill, C. A.; Harris, R. C.; Kim, H. J.; Harris, B. D.; Sale, C.; Boobis, L. H.; Kim, C. K. Influence of beta-alanine supplementation on skeletal muscle carnosine concentrations and high intensity cycling capacity. *Amino Acids*. Vol. 2. Num. 32. 2007. p.225-233.

27-Hobson, R. M.; Harris, R. C.; Kim, H. J.; Harris, B. D.; Sale, C.; Boobis, L. H.; Kim, C. K.; Wise, J. A. Effect of beta-alanine, with and without sodium bicarbonate, on 2000-m rowing performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. Vol. 5. Num. 23. 2013. p.480-487.

28-Hobson, R. M.; Saunders, B.; Ball, G.; Harris, R. C.; Sale, C. Effects of β -alanine supplementation on exercise performance: a meta-analysis. *Amino Acids*. Vol. 1. Num. 43. 2012. p.25-37.

29-Hoffman, J.; Ratamess, N.A.; Ross, R.; Kang, J.; Magrelli, J.; Neese, K.; Faigenbaum, A.D.; Wise, J.A. Beta-alanine and the hormonal response to exercise. *International Journal of Sports Medicine*. Vol. 12. Num. 29. 2008. p.952-958.

30-Hoffman, J.; Ratamess, N.; Kang, J.; Mangine, G.; Faigenbaum, A.; Stout, J. Effect of creatine and beta-alanine supplementation on performance and endocrine responses in strength/power athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. Vol. 4. Num. 16. 2006. p.430-446.

31-Hoffman, J. R.; Ratamess, N. A.; Faigenbaum, A. D.; Ross, R.; Kang,

J.; Stout, J. R.; Wise, J. A. Short-duration beta-alanine supplementation increases training volume and reduces subjective feelings of fatigue in college football players. *Nutrition Research*. Vol. 1. Num. 28. 2008. p.31-35.

32-Horinishi, H.; Grillo, M.; Margolis, F. L. Purification and characterization of carnosine synthetase from mouse olfactory bulbs. *Journal of Neurochemistry*. Vol. 4. Num. 31. 1978. p.909-919.

33-Howe, S. T.; Bellinger, P. M.; Driller, M. W.; Shing, C. M.; Fell, J. W. The effect of beta-alanine supplementation on isokinetic force and cycling performance in highly trained cyclists. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. Vol. 6. Num. 23. 2013. p.562-557.

34-Jagim, A. R.; Wright, G. A.; Brice, A. G.; Doberstein, S. T. Effects of β -alanine supplementation on sprint endurance. *Journal of Strength and Conditioning Research*. Vol. 27. 2013. p.526-532.

35-Jordan, T.; Lukaszuk, J.; Misic, M.; Umoren, J. Effect of β -alanine supplementation on the onset of blood lactate accumulation (OBLA) during treadmill running: Pre/post 2 treatment experimental design. *Journal of International Society and Sports Nutrition*. Vol. 7. Num. 20. 2010.

36-Kendrick, I. P.; Harris, R. C.; Kim, H. J.; Kim, C. K.; Dang, V. H.; Lam, T. Q.; Bui, T. T.; Smith, M.; Wise, J. A. The effects of 10 weeks of resistance training combined with beta-alanine supplementation on whole body strength, force production, muscular endurance and body composition. *Amino Acids*. Vol. 4. Num. 34. 2008. p.547-554.

37-Kern, B. D.; Robinson, T. L. Effects of β -alanine supplementation on performance and body composition in collegiate wrestlers and football players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. Vol. 7. Num. 25. 2011. p.1804-1815.

38-Mathews, M. M.; Traut, T. W. Regulation of N-carbamoyl-beta-alanine amidohydrolase, the terminal enzyme in pyrimidine catabolism, by ligand-induced change in polymerization.

Journal of Biological Chemistry. Vol. 15. Num. 262. 1987. p.7232-7237.

39-Mero, A. A.; Hirvonen, P.; Saarela, J.; Hulmi, J. J.; Hoffman, J. R.; Stout, J. R. Effect of sodium bicarbonate and beta-alanine supplementation on maximal sprint swimming. *Journal International of Society Sports Nutrition*. Vol. 1. Num. 10.

40-Ng, R. H.; Marshall, F. D. Regional and subcellular distribution of homocarnosine-carnosine synthetase in the central nervous system of rats. *Journal of Neurochemistry*. Vol. 1. Num. 30. 1978. p.87-90.

41-Rohmert, W. Determination of the recovery pause for static work of man. *Internationale Zeitschrift für Angewandte Physiologie*. Vol. 18. 1960. p.123-164.

42-Sale, C.; Hill, C. A.; Ponte, J.; Harris, R. C. β -alanine supplementation improves isometric endurance of the knee extensor muscles. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. Vol. 6. Num. 29. 2012.

43-Sale, C.; Saunders, B.; Hudson, S.; Wise, J. A.; Harris, R. C.; Sunderland, C. D. Effect of β -alanine plus sodium bicarbonate on high-intensity cycling capacity. *Medicine and Science of Sports and Exercise*. Vol. 10. Num. 43. 2011. p.1972-1978.

44-Sale, C.; Artioli, G. G.; Gualano, B.; Saunders, B.; Hobson, R. M.; Harris, R. C. Carnosine: from exercise performance to health. *Amino Acids*. Vol. 6. Num. 44. 2013. p.1477-1491.

45-Saunders, B.; Sale, C.; Harris, R.C.; Sunderland, C. Effect of beta-alanine supplementation on repeated sprint performance during the Loughborough Intermittent Shuttle Test. *Amino Acids*. Vol. 1. Num. 43. 2012. p.39-47.

46-Saunders, B.; Sale, C.; Harris, R.C.; Sunderland, C. Effect of sodium bicarbonate and beta-alanine on repeated sprints during intermittent exercise performed in hypoxia. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. Vol. 2. Num. 24. 2014. p.196-205.

47-Saunders, B.; Sunderland, C.; Harris, R. C. Sale C. β -alanine supplementation improves YoYo intermittent recovery test performance. *Journal of the International Society and Sports Nutrition*. Vol. 9. Num. 39. 2012.

48-Smith, A.; Moon, J.; Kendall, K.; Graef, J.; Lockwood, C.; Walter, A.; Beck, T.; Cramer, J.; Stout, J. The effects of β -alanine supplementation and high-intensity interval training on neuromuscular fatigue and muscle function. *European Journal of Applied Physiology*. Vol. 105. 2009. p.357-363.

49-Smith, A. E.; Walter, A. A.; Graef, J. L.; Kendall, K. L.; Moon, J. R.; Lockwood, C. M.; Fukuda, D. H.; Beck, T. W.; Cramer, J. T.; Stout, J. R. Effects of beta-alanine supplementation and high-intensity interval training on endurance performance and body composition in men: a double-blind trial. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. Vol. 5. Num. 6. 2009.

50-Smith-Ryan, A. E.; Fukuda, D. H.; Stout, J. R.; Kendall, K. L. High-velocity intermittent running: effects of beta-alanine supplementation. *Journal of Strength and Conditioning Research*. Vol. 10. Num. 26. 2012. p.2798-2805.

51-Spriet, L. L.; Lindinger, M. I.; McKelvie, R. S.; Heigenhauser, G. J.; Jones, N. L. Muscle glycogenolysis and H⁺ concentration during maximal intermittent cycling. *Journal of Applied Physiology*. Vol. 1. Num. 66. 1989. p.8-13.

52-Stellingwerff, T.; Anwander, H.; Egger, A.; Buehler, T.; Kreis, R.; Decombaz, J.; Boesch, C. Effect of two β -alanine dosing protocols on muscle carnosine synthesis and washout. *Amino Acids*. Vol. 6. Num. 42. 2012. p.2461-2472.

53-Stout, J. R.; Cramer, J. T.; Mielke, M.; O'Kroy, J.; Torok, D. J.; Zoeller, R. F. Effects of twenty-eight days of beta-alanine and creatine monohydrate supplementation on the physical working capacity at neuromuscular fatigue threshold. *Journal of Strength and Conditioning Research*. Vol. 4. Num. 20. 2006. p.928-931.

54-Stout, J. R.; Cramer, J. T.; Zoeller, R. F.; Torok, D.; Costa, P.; Hoffman, J. R.; Harris, R. C.; O'Kroy, J. Effects of beta-alanine

supplementation on the onset of neuromuscular fatigue and ventilatory threshold in women. *Amino Acids*. Vol. 3. Num. 32. 2007. p.381-386.

55-Stout, J. R.; Graves, B. S.; Smith, A. E.; Hartman, M. J.; Cramer, J. T.; Beck, T. W.; Harris, R. C. The effect of beta-alanine supplementation on neuromuscular fatigue in elderly (55-92 years): a double-blind randomized study. *Amino Acids*. Vol. 21. Num. 5. 2008.

56-Sutton, J. R.; Jones, N. L.; Toews, C. J. Effect of PH on muscle glycolysis during exercise. *Clinical Science*. Londres. Vol. 3. Num. 61. 1981. p.331-338.

57-Sweeney, K. M.; Wright, G. A.; Glenn Brice, A.; Doberstein, S. T. The effect of beta-alanine supplementation on power performance during repeated sprint activity. *Journal of Strength and Conditioning Research*. Vol. 1. Num. 24. 2010. p.79-87.

58-Tobias, G.; Benatti, F. B.; de Salles Painelli, V.; Roschel, H.; Gualano, B.; Sale, C.; Harris, R. C.; Lancha, A. H. Jr.; Artioli, G. G. Additive effects of beta-alanine and sodium bicarbonate on upper-body intermittent performance. *Amino Acids*. Vol. 2. Num. 45. 2013. p.309-317.

59-Van Thienen, R.; Van Proeyen, K.; Vanden Eynde, B.; Puype, J.; Lefere, T.; Hespel, P. Beta-alanine improves sprint performance in endurance cycling. *Medicine Science and Sports Exercise*. Vol. 4. Num. 41. 2009. p.898-903.

60-Walter, A. A.; Smith, A. E.; Kendall, K. L.; Stout, J. R.; Cramer, J. T. Six weeks of high-intensity interval training with and without β -alanine supplementation for improving cardiovascular fitness in women. *Journal of Strength and Conditioning Research*. Vol. 24. 2010. p1199-1207.

61-Zoeller, R. F.; Stout, J. R.; O'Kroy, J. A.; Torok, D. J.; Mielke, M. Effects of 28 days of β -alanine and creatine monohydrate supplementation on aerobic power, ventilatory and lactate thresholds, and time to exhaustion. *Amino Acids*. Vol. 33. 2007. p.505-510.

E-mail:

vitor.painelli@gmail.com
paolamssfreitas@gmail.com
gualano@usp.br
artioli.gg@gmail.com

Endereço para correspondência:

Prof. Dr. Guilherme Giannini Artioli
Avenida Professor Melo de Moraes, 65.
Cidade Universitária - Butantã.
São Paulo, SP - Brasil.
CEP: 05508-030.

Recebido para publicação em 06/10/2014

Aceito em 27/05/2015