



## RECOMENDAÇÕES NUTRICIONAIS PARA TREINOS EM ALTITUDE

(Trent Stellingwerff, Novembro de 2019, Tópicos: Nutrição Esportiva, Treino e Performance)

- Até que pesquisas futuras sobre carboidratos e oxidação de gorduras e/ou sobre o metabolismo de proteínas no exercício sejam conduzidas durante os treinos normalmente realizados pelos atletas em altitudes baixas a moderadas (~1.600–2.400 metros), as diretrizes para as necessidades modificadas de macronutrientes permanecem teóricas e devem ser alinhadas com as recomendações para o nível do mar.
- Não está claro se altitudes baixas a moderadas têm efeitos diferentes nos conceitos de disponibilidade energética (DE) e/ou risco para Deficiência de Energia Relativa no Esporte (RED-S), mas existem muitos estudos recentes que sugerem que a DE tem papel importante na potencialização das adaptações fisiológicas em condições de hipóxia.
- O micronutriente ferro é especialmente importante em altitudes, já que a hipóxia resulta em um ambiente diferente onde a atividade eritropoética leva a maior formação de reticulócitos e aumento da massa de hemoglobina, que são dependentes da disponibilidade adequada de ferro.
- Uma questão comum que vem sendo constatada é de que mais pesquisas em fisiologia, metabolismo e nutrição deveriam focar em altitudes baixas a moderadas, nas quais os atletas de elite normalmente treinam.

### LEITURA RECOMENDADA

**Julho de 2018 SSE #181:** O Conceito “Potência Crítica” e a Performance nos Exercícios de Alta Intensidade

**Agosto de 2018 SSE #184:** A Dependência do Abastecimento Adequado de Carboidratos para o Sucesso da Performance de Resistência e Alta Intensidade

**Dezembro de 2018 SSE #186:** A Segurança e Eficácia da Suplementação com Creatina Monohidratada: O Que Aprendemos nos Últimos 25 anos de Pesquisa

### INTRODUÇÃO

A implementação de treinos em altitude para maximizar a performance dos atletas de elite teve seu auge antes e durante as Olimpíadas do México em 1968 (realizada a 2.250 metros acima do nível do mar). Desde esta época, tem havido um boom na utilização da altitude, assim como a ciência de apoio, no preparo dos atletas de elite para competições (Mujika et al., 2019). Adicionalmente, dado o diferente ambiente hipóxico e o metabolismo modificado resultante, existem muitas recomendações nutricionais específicas necessárias para otimizar as adaptações fisiológicas a altitude. No entanto, a maioria das pesquisas e respectivas análises nutricionais tem focado em altitudes altas a extremas (> 3.000m) (Bergeron et al., 2012). Portanto, o foco deste artigo do Sport Science Exchange (SSE) é sobre os dados recentes e respectivas recomendações de prática nutricional provenientes de trabalhos em altitudes baixas a moderadas (~1.600–2.400 metros) às quais os atletas normalmente estão sujeitos em seus treinos periódicos. Para uma revisão mais completa, veja Stellingwerff et al. (2019b).

### RECOMENDAÇÕES GERAIS DE NUTRIÇÃO E HIDRATAÇÃO EM ALTITUDES BAIXAS A MODERADAS

Muitos atletas de elite viajam para locais globais de treinos específicos em altitude por 2 a 4 semanas, diversas vezes por ano, ao invés de residir continuamente em locais de altitude (Mujika et al., 2019). Por esta razão, deveria ser reconhecido que quando a maioria dos atletas participa de qualquer atividade nos campos de treinamento, independentemente da altitude, eles tendem a aumentar a carga dos treinos. Então, apesar do estresse da hipóxia o médico, em conjunto com treinadores e atletas, não deve negligenciar a importância do nível do mar nas diretrizes nutricionais esportivas contemporâneas. Apesar de ser comumente aceito que a altitude resulta no aumento da oxidação de carboidratos (CHO) durante o exercício, e consequentemente na necessidade de maior ingestão de carboidratos, deve-se observar que estes estudos foram conduzidos a 4.300m de altitude (Brooks et al., 1991), e um outro estudo em mulheres na mesma altitude na verdade mostrou queda na utilização de carboidratos (Braun et al., 2000). Portanto, até que futuras pesquisas em metabolismo (carboidrato versus oxidação de gorduras, e metabolismo de proteínas) sejam conduzidas durante os exercícios realizados por

atletas em altitudes baixas a moderadas (~1.600–2.400m), as diretrizes que abordam as necessidades de macronutrientes permanecem teóricas, e deveriam ser alinhadas com as recomendações para o nível do mar (Burke et al., 2019; Stellingwerff, 2013; Stellingwerff et al., 2019a).

A baixa humidade do ar associada à maioria dos ambientes de altitude, junto com a hipóxia, provavelmente aumenta a perda de líquido em repouso e durante os treinos. Além do mais, há uma maior perda de água pela respiração acrescida da diurese induzida pela hipóxia que também pode resultar em aumento significativo da necessidade de água em altitudes para prevenir a desidratação (Butterfield et al., 1992). Portanto, o cuidado com o aumento na hidratação e o monitoramento do status da hidratação devem ser implementados. Isso inclui o monitoramento das características da urina e da alteração diária da massa corpórea (MC), além da proatividade por parte dos atletas na ingestão de líquidos durante e após as sessões de treinos e junto com as refeições. A tabela 1 destaca as situações específicas em campos de treinamento para consideração do médico com seus atletas que podem exigir maior monitoramento e/ou intervenções nutricionais.

### EFEITOS DA ALTITUDE NA DISPONIBILIDADE ENERGÉTICA, MASSA CORPORAL E ADAPTAÇÃO FISIOLÓGICA

A disponibilidade energética (DE) é um conceito que reflete a quantidade de energia disponível após o exercício para utilização de outros processos do corpo (como o sistema endócrino, imunológico, esquelético e reprodutivo) e é calculada pela ingestão energética (IE) menos o gasto energético do exercício relativo à massa magra. A disponibilidade energética máxima não é somente uma consideração importante para o nível do mar, mas também quando em altitude, especialmente devido ao estresse aumentado da hipóxia. O conceito de baixa disponibilidade energética foi recentemente nomeada Deficiência de Energia Relativa nos Esportes (RED-S), e pode ter resultados importantes e significativos não apenas na saúde dos atletas, mas também na performance (Mountjoy et al., 2018). No entanto, não está claro se altitudes baixas a moderadas têm efeitos diferentes nas necessidades de energia disponível e/ou no aumento do risco de RED-S, mas existem diversos estudos recentes que sugerem que a DE tem um papel importante

### Monitoramento Prático e Recomendações Nutricionais para Questões Comuns em Campos de Treinamentos em Altitude

| Problema Potencial   | Solução baseada em Nutrição e/ou Monitoramento Recomendado   |
|--|--|
| Muitos locais globais de treinamento em altitude requerem consideráveis viagens do atleta, resultando em fadiga e jet lag da viagem.   | Inicie a viagem bem alimentado, hidratado e descansado. Leve lanches apropriados, e hidrate-se bem durante a viagem (aviões são ambientes secos), além da atenção com higiene pessoal (por exemplo lavagem das mãos). Na chegada, tenha calma ao iniciar os treinos e em caso de jet lag utilize refeições e café (cafeína) para ajudar no re-estabelecimento relacionado a zona temporal (zeitgeber).   |
| Ao chegar em locais de altitude, atletas irão apresentar inicialmente mecanismos compensatórios de hipoxia (por diversos dias), como hiperventilação e potencialmente leve mal de altitude (por exemplo, sono ruim, dores de cabeça, problemas do trato gastrointestinal). | Pegar leve nos primeiros 3 a 5 dias de treino, enquanto a fadiga individual do atleta é monitorada, massa corporal, sono, apetite geral e níveis de hidratação.  |
| A humidade baixa na maioria dos locais de altitude e perda aumentada de água pela respiração, pode predispor os atletas a maiores riscos de desidratação.  | Monitoramento contínuo da hidratação, como a USG matinal e massa corporal, assim como sede e coloração da urina, pode ajudar o atleta a recalibrar sua necessidade de hidratação no novo local. É especialmente importante ser proativo em relação a hidratação durante treinos e refeições.   |
| A maioria dos atletas que entra em uma atividade em qualquer campo de treinamento com um grupo de outros atletas (independentemente da altitude) tende a aumentar a carga dos treinos (intensidade e duração).   | Fazer uma carga de treino progressiva e monitoramento da fadiga para melhor adequação da progressão do treino. Pode-se considerar também monitoramento matinal e nos exercícios da taxa cardíaca, taxa de percepção de esforço, da saturação do oxigênio periférico em altitude para fornecimento de melhor feedback. Atletas precisam ser mais cuidadosos em relação a nutrição na recuperação e a ingestão calórica diária adequada para otimizar a disponibilidade energética as adaptações aos treinos durante blocos de treinos pesados. Diretrizes nutricionais contemporâneas para o nível do mar devem ser seguidas. |
| Um novo local de treino e acomodações atléticas compartilhadas podem resultar em alteração das práticas de nutrição e hidratação comparadas com a própria casa.  | Garanta que o atleta tenha as habilidades adequadas de nutrição/cozinha para preparar seus alimentos quando longe de casa, ao mesmo tempo permitindo flexibilidade na nutrição em viagens. Reconheça que o aspecto social alterado dos campos de treinamento (acomodações compartilhadas) pode também resultar em práticas nutricionais alteradas e devem ser abordadas.   |
| A altitude resulta na necessidade maior de ferro.  | Cada atleta deve ter uma base de referência do exame de sangue - incluindo valores de ferro - realizado de 4 a 6 semanas anterior ao campo de treinamento e informação sobre um protocolo individual de suplementação de ferro quando em altitude.   |

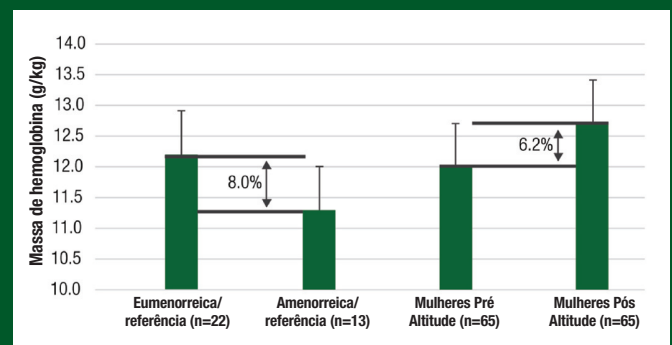
**Tabela 1.** MC, massa corporal; DE, disponibilidade energética; GI, gastrointestinal; USG, gravidade específica da urina.

na melhora das adaptações fisiológicas a condições de hipoxia.

### Disponibilidade energética e quantidade de hemoglobina na altitude

A redução na concentração de hormônios sexuais (estrogênio, testosterona) devido à baixa DE pode prejudicar as adaptações hematológicas na altitude, já que a baixa DE e o metabolismo adverso do ferro estão relacionados (Petkus et al., 2017), e o ferro é um micronutriente fundamental para otimizar o ganho de massa de hemoglobina na altitude (veja abaixo). Além disso, a otimização da massa de hemoglobina a longo prazo parece ser impactada pela DE, já que corredoras do sexo feminino com amenorrea tiveram menor parâmetro de massa de hemoglobina em 8% (Figura 1) quando compara-

das com seus pares eumenorréicas anteriormente a exposição à altitude em campos de treinamento (Heikura et al., 2018b). Curiosamente, essa diferença nos parâmetros de massa da hemoglobina foi maior que o aumento médio na massa de hemoglobina no sexo feminino em diversos campos de treinamento em altitude (Heikura et al., 2018b) (Figura 1).



**Figura 1.** Massa de hemoglobina de referência (gramas/kg) em atletas mulheres eumenorréicas (n=22) versus mulheres amenorréicas (n=13) na chegada a campos de treinamento em altitude (8% de diferença; todas as observações em 2016) vs. uma média de 4 anos em campo de treinamento, destacando 65 observações, de um total de resultados da massa de hemoglobina prévia (referência) ao campo em altitude a posterior ao campo em altitude (+6,2%). Dados adaptados de (Heikura et al., 2018) e fontes não publicadas.

### Taxa do metabolismo humano e implicações na ingestão e gasto de energia na altitude

Muitas das pesquisas de referência sobre os efeitos da altitude na fisiologia humana, metabolismo e respectivas intervenções nutricionais têm sido conduzidas a 4.300m de altitude no Laboratório de Pesquisa "Pikes Peak" do exército americano. Nesta altitude específica, há efeitos consistentes e fundamentais no Sistema Endócrino, ingestão energética, taxa metabólica de repouso (TMR) e por fim na massa corporal (MC). De fato, estudos mostraram redução de 5 a 15% na massa corporal (MC), com 60 a 70% da perda de peso vinda da atrofia muscular em altitudes de 4.300m (Fulco et al., 2002). Os principais mecanismos para essas perdas extremas de massa corporal (MC) são a supressão do apetite resultando em menor ingestão energética associada a um aumento de >3 vezes na TMR quando comparada ao nível do mar (Butterfield et al., 1992). Entretanto, intervenções agressivas de ingestão energética em altitudes elevadas também não mostraram atenuar significativamente a perda de massa corporal (MC) enquanto se manteve uma disponibilidade energética ideal (Butterfield et al., 1992).

Enquanto os efeitos da exposição a altitudes elevadas na ingestão energética, TMR e massa muscular são severos, um grupo de resultados de pesquisas em altitudes baixas a moderadas, onde atletas normalmente treinam, são muito menos consistentes e parecem ser bem menos prejudiciais. Por exemplo, um relatório de caso de 4 remadores de elite mostrou diminuição do apetite e maior fadiga durante blocos de treinos a 1.800m (Woods et al., 2017a), enquanto 5 corredores de elite relataram aumento no apetite, com alteração insignificante na ingestão energética, após 4 semanas de treino a 2.200m (Woods et al., 2017b). Contínuas inconsistências incluem relatórios sobre ambos balanços energéticos negativos (Fudge et al., 2006; Onywera et al., 2004) assim como ideais (Beis et al., 2011) em corredores de elite no Quênia e Etiópia em altitudes moderadas. Apenas dois estudos investigaram os efeitos da altitude moderada na TMR em atletas, com um estudo relatando aumento de 19% em 4 semanas a 2.200m de altitude em 5 corredores de

elite (Woods et al., 2017b) e o segundo estudo não mostrando nenhuma alteração na TMR de 4 remadores treinando após 12 dias a 1.800m de altitude (Woods et al., 2017a). No entanto, devido ao pequeno número de indivíduos, mais pesquisas são necessárias para confirmarem esses achados de que a TMR é aumentada em altitudes baixas a moderadas, como relatado em altitudes elevadas.

### A massa corporal de atletas de elite muda em locais de treino em altitude

Dado que a permanência prolongada em altitudes elevadas (> 4.000 m) podem causar perdas significativas de Massa Corporal (MC) (Fulco et al., 2002), existe uma noção comumente aceita de que atletas de elite também estão em risco de perdas significativas de massa corporal (MC) em altitudes típicas baixas a moderadas (~1.600–2.400 m) implementadas em campos de treinamentos. Em termos de mudanças na massa corporal (MC) durante campos de treinamento em altitude (~3 semanas), estudos não têm relatado mudanças (Beis et al., 2011; Fudge et al., 2006; Heikura et al., 2018a; Koivisto et al., 2018; Woods et al., 2017b) ou pequena diminuição da massa corporal dos atletas (Gore et al., 1998; Onywera et al., 2004; Woods et al., 2017a) quando expostos à altitudes moderadas. Adicionalmente, dados de quatro diferentes campos de treinamento em altitude (em 3 a 4 semanas, com número de atletas n=114) não mostrou relação entre mudanças da massa corporal (apenas diminuição de  $0,6 \pm 1,5\%$  da massa corporal), massa de hemoglobina e resultados de lesão/doença (Stellingwerff et al., 2019b). No entanto, mudanças isoladas na massa corporal são indicadores pobres do estado de disponibilidade energética, já que a redução prolongada e/ou severa na ingestão energética pode levar a termogênese adaptativa, que promove a manutenção ou ganho da massa corporal apesar da baixa disponibilidade energética (Trexler et al., 2014). Ainda assim, mesmo quando o estresse da hipóxia em altitudes < 2.400 m é menor em comparação com altitudes em montanhas, o treino extremo e prolongado e o fato de que atletas podem passar tanto quanto 20 a 25% do ano inteiro em locais de altitude precisa ser considerado (Mujika et al., 2019). Muitas pesquisas continuam a quantificar e caracterizar melhor a massa corporal, efeitos energéticos (IE, gasto energético do exercício e DE) e metabólicos e risco de RED-S em altitudes baixas a moderadas em atletas.

### FERRO – A CONSIDERAÇÃO DO MICRONUTRIENTE CHAVE NA ALTITUDE

O micronutriente ferro é especialmente importante na altitude, já que a hipóxia resulta em um ambiente diferente onde a eritropoiese leva a maior formação de reticulócitos e o ganho da massa de hemoglobina, dependentes da disponibilidade adequada de ferro. A quantidade ideal de ferro é especialmente importante para atletas de resistência dada a importância da massa de hemoglobina para a força aeróbica, e o fato de que atletas de resistência enfrentam perda aumentada de ferro pelo suor, urina, trato gastrointestinal, hemólise (footstrike e contração muscular), e perda de sangue associada a ferimentos e fluxo menstrual. (Sim et al., 2019). Em relação a altitude, já que nenhuma correlação foi observada entre o estoque de ferritina pré-altitude e a magnitude da resposta eritropoética/massa de hemoglobina (Heikura et al., 2018a), parece que a disponibilidade de ferro via suplementação durante a altitude é mais importante para a melhor adaptação do que estoques de ferro prévios a altitude (Garvican-Lewis et al., 2016; Hall et al., 2019). Logo, é

primordial ter a quantidade de ferro bem monitorada em atletas associado a um melhor protocolo de suplementação de ferro enquanto em altitudes.

Está além do escopo deste artigo do SSE elucidar a extensa e complexa ciência envolvendo o metabolismo e os atletas em altitude, incluindo os vários estágios e considerações da suplementação de ferro e atletas em altitude (veja a revisão extensa, Sim et al., 2019; Stellingwerff et al., 2019b). Ao contrário, este artigo do SSE irá destacar as recomendações/estágios chaves para atletas e suas equipes, em relação à avaliação e triagem, monitoramento e suplementação do ferro em relação aos campos de treinamento em altitude (Tabela 2). Nós também recomendamos o envolvimento de médicos esportivos neste processo, já que o excesso da suplementação de ferro e estoques de ferro endógenos clinicamente elevados podem ter consequências negativas para a saúde (Munoz et al., 2018).

#### Monitoramento do Ferro e Considerações para Suplementação em Altitude

- Em aconselhamento com médico esportivo, e dependendo do histórico do atleta dos níveis de ferritina (por exemplo baixo vs. alto), histórico de deficiências de ferro/anemias, idas anuais a campos de treinamento em altitude e ingestão dietética típica de ferro, um programa de monitoramento individual anual de ferro (e exames de sangue) deve ser implementado para garantir estoques ideais de ferro e saúde sanguínea.
- Geralmente, valores de corte de ferritina <30ng/ml e <40ng/ml têm sido utilizados em atletas para garantir máxima adaptação a altitude e/ou quando suplementar mulheres e homens, respectivamente (Bergeron et al., 2012).
- Meta para exames de sangue pré-altitude ~4-6 semanas anterior a partida para permitir avaliação mais precisa da ferritina pré-altitude, dando tempo de ainda suplementar e garantir correção prévia a altitude, se necessário.
- Evidências atuais sugerem que a maioria dos atletas vai maximizar o aumento da massa de hemoglobina induzido por hipóxia, consumindo aproximadamente de 100-200mg de ferro elementar diariamente na forma oral, tendo a maioria das evidências relatado de saís de ferro (Govus et al., 2015; Hall et al., 2019). No entanto, o nível da ingestão diária de ferro elementar deve ser confirmado por um médico e ser dependente dos valores de referência de ferritina.
- Doses diárias únicas de ferro, ao invés de diversas doses ao longo do dia, podem ajudar a otimizar o ganho de massa de hemoglobina quando a suplementação é indicada (Hall et al., 2019; Stoffel et al., 2017).
- Dependendo do cronograma de treino e café da manhã típico, atletas podem ser aconselhados a tomarem sua suplementação de ferro logo pela manhã, quando os níveis de hepcidina (hormônio que bloqueia a captação de ferro) estão menores (Schaap et al., 2013).
- Atletas podem priorizar uma suplementação total maior de ferro nos dias de descanso ou de treinos mais leves quando a hepcidina teoricamente está menor para otimizar a captação de ferro (Peeling et al., 2009).
- Tomar uma única dose pode resultar em ligeiro desconforto gastrointestinal pelas primeiras 1-2 semanas em altitude, que parece se atenuar (adaptar) até a semana 3 (Hall et al., 2019).

**Tabela 2.** Recomendações e etapas para o monitoramento do ferro e suplementação para atletas treinando em altitudes baixas a moderadas (~1.600 a 2.400m). Para revisão completa deste tópico veja (Sim et al., 2019; Stellingwerff et al., 2019b).

### ESTRESSE OXIDATIVO EM ALTITUDE – ANTIOXIDANTES SÃO NECESSÁRIOS?

Há dados recentes sobre a consideração de antioxidantes em locais de altitude, já que o exercício em ambas altitudes moderadas e extremas está associado com a produção aumentada das espécies reativas de oxigênio (EROs) e com capacidade antioxidante reduzida, gerando o estresse oxidativo, que pode prejudicar a função imune e celular, e em alguns casos, potencialmente atrasar a recuperação pós-exercício (Sies et al., 2017). Ambas hipóxias agudas e crônicas aumentam o estresse oxidativo em atletas, e isso pode persistir em até 2 semanas pós treino em altitude (Pialoux et al., 2010).

Além disso, pode-se levantar a hipótese que já que a suplementação com antioxidantes exógenos neutraliza as EROs, a suplementação com antioxidantes seja necessária em altitudes. No entanto, a maioria dos estudos têm mostrado nenhum efeito ou efeito mínimo (Subudhi et al., 2004) nas EROs, e a maioria dos estudos não têm examinado o impacto que antioxidantes exógenos podem ter nas adaptações aos treinos. Certamente, o conhecimento atual é que as EROs na verdade iniciam as adaptações positivas a treinos de resistência (Powers et al., 2010), e que uma única suplementação com alta dosagem pode na verdade prejudicar e atenuar a adaptação aos treinos (Gomez-Cabrera et al., 2008). Curiosamente, um estudo recente examinou o impacto dos altos e baixos efeitos dos antioxidantes de fontes alimentares (não via suplementação) na resposta adaptativa ao treino em altitude. Este estudo mostrou que mais que dobrar a ingestão diária de alimentos ricos em antioxidante durante um campo de treinamento de 3 semanas em altitude (2.320m) não interferiu com as respostas aos treinos em atletas de elite de resistência (medidas de massa de hemoglobina e captação máxima de oxigênio) (Koivisto et al., 2018)). Em conjunto, não existe evidência suficiente para recomendar suplementação única de alta dosagem de antioxidantes em altitudes baixas a moderadas para atenuar o estresse oxidativo induzido pela altitude. No entanto, dietas a base de alimentos com alto teor de antioxidantes podem ser recomendadas, já que isso não parece reduzir a adaptação aos treinos e pode conferir outros benefícios para a saúde.

## APLICAÇÕES PRÁTICAS

Apesar do nosso entendimento da fisiologia básica e resposta metabólica em altitudes baixas a moderadas (1.600–2.400 m) comparado com altitudes montanhosas ainda ser novo, muitas aplicações da prática nutricional podem ser realizadas para a contínua melhora das adaptações aos treinos em altitude (veja também as tabelas 1 e 2).

- Campos de treinamento em altitude tendem a apresentar assim como qualquer campo de treinamento atividades com aumento significativo da carga de treino. Adicionalmente, independentemente do estresse da hipóxia, o médico deve implementar as diretrizes de nutrição esportiva atuais para o nível do mar para maximizar as adaptações aos treinos e otimizar a recuperação.
- Locais de altitude tendem a ter menor humidade do ar o que provavelmente aumenta as perdas de líquidos em repouso e durante os treinos. Portanto, a maior ingestão de líquidos em conjunto com maior monitoramento do estado de hidratação deve ser implementada (Tabela 1).
- Apesar do baixo impacto da altitude baixa a moderada na ingestão energética, TMR e massa muscular ser bem menos prejudicial quando comparado às altitudes extremas, alguns indicadores recentes sugerem que a TMR e as necessidades energéticas podem ser elevadas. Portanto, um melhor monitoramento para garantir a disponibilidade energética ideal é recomendado (Tabela 1).
- O ferro é um micronutriente crítico para aperfeiçoar as adaptações fisiológicas a altitudes. Portanto, é primordial ter o bom monitoramento do ferro em atletas associado à um melhor protocolo de suplementação de ferro quando em altitude (Tabela 2). Evidências atuais sugerem que a maioria dos atletas irão maximizar o aumento de massa de hemoglobina induzida por hipóxia enquanto consumirem ~100–200mg de ferro elementar diariamente na forma oral, mas isso deve ser confirmado por um médico.

## CONCLUSÕES

Este artigo focou em temas da nutrição relacionados com a altitude e novos dados com considerações nutricionais inéditas em altitude baixa a moderada (~1.600-2.400 m), e ferramentas nutricionais e de monitoramento relacionadas a altitude. Uma questão comum que vem sendo constatada é que mais pesquisas devem focar em altitudes baixas a moderadas as quais os atletas de elite utilizam para treinar. No entanto, dados recentes têm mostrado que as atuais diretrizes nutricionais gerais, suplementação de ferro, e disponibilidade energética ideal são conceitos nutricionais essenciais para otimizar adaptações aos treinos relacionadas a altitude.

## REFERÊNCIAS

- Beis, L.Y., L. Willkomm, R. Ross, Z. Bekele, B. Wolde, B. Fudge, and Y.P. Pitsiladis (2011). Food and macronutrient intake of elite Ethiopian distance runners. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 8:7.
- Bergeron, M.F., R. Bahr, P. Bartsch, L. Bourdon, J.A. Calbet, K.H. Carlsen, O. Castagna, J. González-Alonso, C. Lundby, R.J. Maughan, G. Millet, M. Mountjoy, S. Racinais, P. Rasmussen, D.G. Singh, A.W. Subudhi, A.J. Young, T. Soligard, and L. Engebretsen (2012). International Olympic Committee consensus statement on thermoregulatory and altitude challenges for high-level athletes. *Br. J. Sports Med.* 46:770-779.
- Braun, B., J.T. Mawson, S.R. Muza, S.B. Dominick, G.A. Brooks, M.A. Horning, P.B. Rock, L.G. Moore, R.S. Mazzeo, S.C. Ezejioke, and G.E. Butterfield (2000). Women at altitude: carbohydrate utilization during exercise at 4,300 m. *J. Appl. Physiol.* 88:246-256.
- Brooks, G.A., G.E. Butterfield, R.R. Wolfe, B.M. Groves, R.S. Mazzeo, J.R. Sutton, E.E. Wolfel, and J.T. Reeves (1991). Increased dependence on blood glucose after acclimatization to 4,300 m. *J. Appl. Physiol.* 70:919-927.
- Burke, L.M., A.E. Jeukendrup, A.M. Jones, and M. Mooses (2019). Contemporary nutrition strategies to optimize performance in distance runners and race walkers. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 29:117-129.
- Butterfield, G.E., J. Gates, S. Fleming, G.A. Brooks, J.R. Sutton, and J.T. Reeves (1992). Increased energy intake minimizes weight loss in men at high altitude. *J. Appl. Physiol.* 72:1741-1748.
- Fudge, B.W., K.R. Westerterp, F.K. Kiplamai, V.O. Onywera, M.K. Boit, B. Kayser, and Y.P. Pitsiladis (2006). Evidence of negative energy balance using doubly labelled water in elite Kenyan endurance runners prior to competition. *Br. J. Nutr.* 95:59-66.
- Fulco, C.S., A.L. Friedlander, S.R. Muza, P.B. Rock, S. Robinson, E. Lammi, C.J. Baker-Fulco, S.F. Lewis, and A. Cymerman (2002). Energy intake deficit and physical performance at altitude. *Aviat. Space Environ. Med.* 73:758-765.
- Garvican-Lewis, L.A., A.D. Govus, P. Peeling, C.R. Abbiss, and C.J. Gore (2016). Iron supplementation and altitude: decision making using a regression tree. *J. Sports Sci. Med.* 15:204-205.
- Gomez-Cabrera, M.C., E. Domenech, M. Romagnoli, A. Arduini, C. Borrás, F.V. Pallardo, J. Sastre, and J. Vina (2008). Oral administration of vitamin C decreases muscle mitochondrial biogenesis and hampers training-induced adaptations in endurance performance. *Am. J. Clin. Nutr.* 87: 142-149.
- Gore, C.J., A. Hahn, A. Rice, P. Bourdon, S. Lawrence, C. Walsh, T. Stanef, P. Barnes, R. Parisotto, D. Martin, and D. Pyne (1998). Altitude training at 2690m does not increase total haemoglobin mass or sea level  $\dot{V}O_{2max}$  in world champion track cyclists. *J. Sports Sci. Med.* 1:156-170.
- Govus, A.D., L.A. Garvican-Lewis, C.R. Abbiss, P. Peeling, and C.J. Gore (2015). Pre-altitude serum ferritin levels and daily oral iron supplement dose mediate iron parameter and hemoglobin mass responses to altitude exposure. *PLoS ONE*, 10:e0135120.
- Hall, R., P. Peeling, E. Nemeth, D. Bergland, W.T.P. McCluskey, and T. Stellingwerff (2019). Single versus split dose of iron optimizes hemoglobin mass gains at 2106 m altitude. *Med. Sci. Sports Exerc.* 51:751-759.
- Heikura, I.A., L.M. Burke, D. Bergland, A.L.T. Uusitalo, A.A. Mero, and T. Stellingwerff (2018a). Impact of energy availability, health, and sex on hemoglobin-mass responses following live-high-train-high altitude training in elite female and male distance athletes. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 13:1090-1096.
- Heikura, I.A., A.L.T. Uusitalo, T. Stellingwerff, D. Bergland, A.A. Mero, and L.M. Burke (2018b). Low energy availability is difficult to assess but outcomes have large impact on bone injury rates in elite distance athletes. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 28:403-411.
- Koivisto, A.E., G. Paulsen, I. Paur, I. Garthe, E. Tonnessen, T. Raastad, N.E. Bastani, J. Hallén, R. Blomhoff, and S.K. Bohn (2018). Antioxidant-rich foods and response to altitude training: A randomized controlled trial in elite endurance athletes. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 28:1982-1995.



- Mountjoy, M., J.K. Sundgot-Borgen, L.M. Burke, K.E. Ackerman, C. Blauwet, N. Constantini, C. Lebrun, B. Lundy, A.K. Melin, N.L. Meyer, R.T. Sherman, A.S. Tenforde, M. Klungland Torstveit, and R. Budgett (2018). IOC consensus statement on relative energy deficiency in sport (RED-S): 2018 update. *Br. J. Sports Med.* 52:687-697.
- Mujika, I., A.P. Sharma, and T. Stellingwerff (2019). Contemporary periodization of altitude training for elite endurance athletes: a narrative review. *Sports Med.* ACCEPTED.
- Munoz, M., S. Gomez-Ramirez, and S. Bhandari (2018). The safety of available treatment options for iron-deficiency anemia. *Expert Opin. Drug Saf.* 17:149-159.
- Onywera, V.O., F.K. Kiplamai, M.K. Boit, and Y.P. Pitsiladis (2004). Food and macronutrient intake of elite Kenyan distance runners. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 14:709-719.
- Peeling, P., B. Dawson, C. Goodman, G. Landers, E.T. Wiewerckx, D.W. Swinkels, and D. Trinder (2009). Effects of exercise on hepcidin response and iron metabolism during recovery. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 19:583-597.
- Petkus, D.L., L.E. Murray-Kolb, and M.J. De Souza (2017). The unexplored crossroads of the female athlete triad and iron deficiency: a narrative review. *Sports Med.* 47:1721-1737.
- Pialoux, V., J.V. Brugniaux, E. Rock, A. Mazur, L. Schmitt, J.P. Richalet, P. Robach, E. Clottes, J. Coudert, N. Fellmann, and R. Mounier (2010). Antioxidant status of elite athletes remains impaired 2 weeks after a simulated altitude training camp. *Eur. J. Nutr.* 49:285-292.
- Powers, S.K., J. Duarte, A.N. Kavazis, and E.E. Talbert (2010). Reactive oxygen species are signalling molecules for skeletal muscle adaptation. *Exp. Physiol.* 95:1-9.
- Schaap, C.C., J.C. Hendriks, G.A. Kortman, S.M. Klaver, J.J. Kroot, C.M. Laarakkers, E.T. Wiewerckx, H. Tjalsma, M.C. Janssen, and D.W. Swinkels (2013). Diurnal rhythm rather than dietary iron mediates daily hepcidin variations. *Clin. Chem.* 59:527-535.
- Sies, H., C. Berndt, and D.P. Jones (2017). Oxidative Stress. *Ann. Rev. Biochem.* 86:715-748.
- Sim, M., L.A. Garvican-Lewis, G.R. Cox, A. Govus, A.K.A. McKay, T. Stellingwerff, and P. Peeling (2019). Iron considerations for the athlete: a narrative review. *Eur. J. Appl. Physiol.* 119:1463-1478.
- Stellingwerff, T. (2013). Contemporary nutrition approaches to optimize elite marathon performance. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 8:573-578.
- Stellingwerff, T., I.M. Bovim, and J. Whitfield (2019a). Contemporary nutrition interventions to optimize performance in middle-distance runners. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 29:106-116.
- Stellingwerff, T., P. Peeling, L.A. Garvican-Lewis, R. Hall, A.E. Koivisto, I.A. Heikura, and L.M. Burke (2019b). Nutrition and altitude: strategies to enhance adaptation, improve performance and maintain health – a narrative review. *Sports Med.* ACCEPTED.
- Stoffel, N.U., C.I. Cercamondi, G. Brittenham, C. Zeder, A.J. Geurts-Moespot, D.W. Swinkels, D. Moretti, and M.B. Zimmermann (2017). Iron absorption from oral iron supplements given on consecutive versus alternate days and as single morning doses versus twice-daily split dosing in iron-depleted women: two open-label, randomised controlled trials. *Lancet Haematol.* 4:e524-e533.
- Subudhi, A.W., K.A. Jacobs, T.A. Hagobian, J.A. Fattor, C.S. Fulco, S.R. Muza, P.B. Rock, A.R. Hoffman, A. Cymerman, and A.L. Friedlander (2004). Antioxidant supplementation does not attenuate oxidative