
Treinamento na Altitude

Alexandre Paulino de Faria¹

André Luis Dehn²

Edmur Lala Filho²

Geraldo Magela de Assis²

Pedro Rogério Bernardo Pinto²

Rivelino Charton Salvi²

Valdir Diogo Campos Filho²

Resumo

O Treinamento na Altitude ainda é muito controverso, e tem sido alvo de inúmeras pesquisas. Por isso, o presente trabalho tem por objetivo apresentar e discutir os indicadores positivos e negativos desse tipo de estratégias de treinamento através de uma revisão bibliográfica em torno das pesquisas já realizadas.

Palavras Chave: Treinamento Físico; Altitude; Pressão de Oxigênio; Vo2 Máximo.

Introdução

Na busca por melhores resultados atléticos e até mesmo para a análise do padrão de vida rotineiro das pessoas, diversas pesquisas tem sido feitas.

Em alguns casos, descobriu-se particularidades de algumas condições ambientais, como altas e baixas temperaturas e altitudes.

Sabe-se hoje que o organismo humano necessita do oxigênio para suprir suas necessidades energéticas.

Para que isso ocorra, o organismo deve captar, transportar, utilizar o oxigênio (para formar ATP) e depois de tantas reações, eliminar seus resíduos.

O exercício físico, através de suas adaptações ao estresse, pode aumentar a capacidade do ser humano de produzir e consumir energia, e também aliviar a sobrecarga basal de seus órgãos e tecidos.

Contudo, algumas condições climáticas e topográficas exigem um certo cuidado na elaboração dos protocolos de treinamento físico.

Transporte de Oxigênio no Corpo Humano

Segundo McArdle, Katch e Katch (1998), o transporte de oxigênio no corpo humano ocorre de duas maneiras:

Em Solução Física Dissolvido no Plasma Sanguíneo – uma pequena quantidade de oxigênio, cerca de 0,3 ml podem ser carreados em 100 ml de plasma sanguíneo.

Essa quantidade, aparentemente insignificante, seria capaz de manter a vida por apenas quatro segundos.

Apesar disso, essa pequena quantidade desempenha um importante papel para a vida humana, pois “o movimento casual das moléculas de oxigênio dissolvido estabelece a P_{O_2} [pressão de oxigênio] do sangue e dos líquidos teciduais” (MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998, p. 229).

A pressão de oxigênio (P_{O_2}) é responsável pela segunda forma que o corpo transporta o oxigênio.

Combinado com a Hemoglobina – essa pequena parte da hemácia possui quatro sítios de ligação de oxigênio, representados por quatro átomos de ferro (MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998).

Em cada um dos sítios, pode-se ligar uma molécula de oxigênio, a partir da P_{O_2} alveolar (que ao nível do mar é de aproximadamente 100 mm Hg).

No homem há aproximadamente 15 a 16 gramas de hemoglobina em cada 100 ml de sangue. Nas mulheres, os valores são de 5 a 10% menores.

Cada grama de hemoglobina pode transportar 1,34 ml de oxigênio (MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998), portanto, cerca de 20 ml de oxigênio podem ser carreados em cada 100 ml de sangue, tornando a combinação oxigênio+hemoglobina a maior fonte de transporte de oxigênio para o corpo humano.

Ainda vale ressaltar que a captação e o transporte do oxigênio são feitos através da difusão passiva, ou seja, de um lugar que possua uma maior P_{O_2} para outro de menor P_{O_2} , sem gasto energético.

Particularidades da Altitude

À medida que uma pessoa sobe para uma altitude maior que aproximadamente 1500 metros, a P_{O_2} ambiental (determinada pela soma das pressões parciais dos gases existentes na atmosfera) começa a diminuir (MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998; FOSS e KETEYIAN, 2000; LIRA, BARGIERI e NAKAMOTO, 2004).

Com a queda na P_{O_2} do ar inspirado, há uma queda na P_{O_2} alveolar, e conseqüentemente, a saturação (combinação) do oxigênio com a hemoglobina (chamada de oxiemoglobina) (MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998) também cai, e continua caindo, à medida que a altitude aumenta.

Com a diminuição na P_{O_2} e no transporte de oxigênio ocorrem alterações nas condições de desempenho físico.

Desempenho em Exercícios Predominantemente Anaeróbios

Nos Exercícios predominantemente anaeróbios não são encontrados desvios significativos na performance.

As atividades de potência anaeróbia e curta duração, tais como as corridas de velocidade, os saltos, arremessos de peso e de disco, não são afetadas negativamente na altitude. Ocorre com frequência um desempenho aprimorado por causa da densidade do ar reduzida (resistência do ar) nas grandes altitudes em comparação ao nível do mar (MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998, p. 459).

Ainda segundo McArdle, Katch e Katch (1998), isso faz sentido, pois a grande altitude afeta a disponibilidade de oxigênio para o organismo, afetando então os exercícios de cunho aeróbio.

Apesar disso, Buskirk et al. (1967), Kayser et al. (1993, 1994) e Mazzeo et al. (1994) citados por Foss e Keteyian (2000) e McArdle, Katch e Katch (1998), dizem que nas atividades anaeróbias em grandes altitudes ocorre um fato um tanto curioso.

O lactato, que poderia indicar uma alta utilização da via anaeróbia láctica, era encontrado em um nível bastante reduzido. Esse metabólito, que poderia indicar uma alta disponibilidade de energia para esse tipo de atividade, não era muito produzido pelo corpo.

Esse fenômeno foi denominado Paradoxo do Lactato.

Para explicar este curioso fato, Foss e Keteyian (2000) indicam que a capacidade de tamponamento (manter o equilíbrio ácido-básico) em grandes altitudes seria reduzida.

O estabelecimento do equilíbrio ácido-básico com a aclimatação se processa a expensas de uma perda da reserva alcalina. Assim sendo, apesar de as vias do metabolismo anaeróbio não serem afetadas nas grandes altitudes, a capacidade de tamponamento do sangue para ácidos diminui grandemente e o nível crítico para o acúmulo de metabólitos ácidos é reduzido (MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998, p. 466).

A partir dessa capacidade reduzida, o corpo produziria lactato em menor quantidade, em um mecanismo automático de "proteção".

McArdle, Katch e Katch (1998), também apontam para uma produção reduzida de catecolaminas (adrenalina e noradrenalina), hormônios responsáveis pela mobilização de glicose; e para uma menor quantidade de impulsos advindos do sistema nervoso central.

Todas essas possíveis explicações, em teoria, comprometeriam a capacidade de realizar esforço máximo, diminuindo a performance e comprometendo então, os resultados das competições e treinamentos.

Desempenho em Exercícios Predominantemente Aeróbios

Como as grandes altitudes influenciam negativamente a Po_2 , os exercícios de cunho aeróbio são os mais afetados por essa condição ambiental.

Os desempenhos relativamente precários de homens e mulheres na corrida e na natação de média e longa distâncias durante as Olimpíadas de 1968 na Cidade do México (altitude de 2300 m) foram atribuídos a esta pequena redução no transporte de oxigênio nessa altitude (MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998, p. 459).

Isso ocorre porque o Vo_2 Máximo em grandes altitudes é reduzido em cerca de 3% a 3,5% para cada 300 metros de ascensão acima de 1500 metros (BUSKIRK et al., 1967, *apud* FOSS e KETEVIAN, 2000).

Para suprir esse menor transporte de oxigênio, causado pela queda na Po_2 , o corpo toma soluções (se adapta) a curto prazo (aclimação) e a longo prazo (aclimatação).

Aclimação

A Aclimação são as alterações, ajustes fisiológicos, que ocorrem imediatamente à exposição à altitude elevada.

“Essas alterações fisiológicas mais proeminentes são imediatas e ajudam no fornecimento de oxigênio aos tecidos quando é difícil conseguí-lo (em condições hipóxicas)” (FOSS e KETEVIAN, 2000, p. 496).

Os ajustes mais importantes são:

1 – Hiperventilação – o corpo sente a redução da Po_2 através de receptores sensíveis a pressão localizados na aorta e nas carótidas (MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998; FOSS e KETEVIAN, 2000).

Segundo esses mesmos autores, os receptores modificam a atividade inspiratória, aumentando a ventilação alveolar. Com isso a Po_2 alveolar, que por exemplo, a 1981 metros chega a ser de 78 mm Hg e a 8848 metros pode ser de apenas 25 mm Hg, aumenta significativamente.

Com a hiperventilação, o valor da Po₂ alveolar pode chegar a se aproximar dos valores da Po₂ ambiental, ocorrendo então uma maior saturação do oxigênio com a hemoglobina.

Apesar disso, a Po₂ alveolar ainda deve ser menor que a Po₂ do ar inspirado, para que haja a difusão passiva.

2 – Maior Resposta Cardiovascular – no início da adaptação à altitude, a frequência cardíaca e o débito cardíaco (quantidade de sangue que bombeado pelo coração em um minuto) aumentam cerca de 50% nos exercícios submáximos, mas o volume de ejeção se mantém inalterado devido à manutenção da função contrátil do coração (MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998; FOSS e KETEVIAN, 2000).

Ocorre também um aumento na pressão arterial, que pode ser explicado através do aumento dos níveis séricos de noradrenalina coletadas na urina. Seus valores podem subir de 50 microgramas para perto de 95 microgramas, e poderia ser explicado por um aumento na função simpática (MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998), diferentemente dos exercícios anaeróbios, onde umas das possíveis explicações para o paradoxo do lactato seria uma diminuição dessa função.

Aclimação

A hiperventilação e o maior débito cardíaco do exercício submaximo proporcionam um antídoto rápido e relativamente eficaz contra o desafio agudo da exposição à altitude. Simultaneamente, outras ajustagens de ação mais lenta ocorrem durante a permanência numa grande altitude (MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998, p.466).

A Aclimação são as alterações fisiológicas que ocorrem no organismo a longo prazo.

Segundo Foss e Keteyian (2000), quanto maior o tempo de exposição à altitude maior se tornará o desempenho, mas esse desempenho nunca será o mesmo conseguido ao nível do mar.

Ainda segundo Foss e Keteyian (2000), a aclimação depende da altitude em que a pessoa se encontra. Por exemplo, a 2700 metros cerca de 7 a 10 dias; a 3600 metros 15 a 21; para 4600 metros 21 a 25 dias.

Os ajustes mais importantes são:

Reajuste Ácido-Básico – a hiperventilação causa uma quebra na homeostase do equilíbrio ácido-básico, e com isso causa um aumento no PH sanguíneo tornando mais alcalino.

A hiperventilação causa, além do aumento da P_{O_2} , uma excreção anormal de dióxido de carbono (CO_2).

Em seu ciclo normal, o CO_2 se combinaria com a água formando ácido carbônico (H_2CO_3), que posteriormente se dissociaria em íons de hidrogênio (H^+) (que são tamponados pela própria hemoglobina), e em bicarbonato (HCO_3^-) (que é altamente solúvel em água e se difundiria pelo plasma sanguíneo) (MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998; FOSS e KETTYIAN, 2000). A seguir os íons H^+ seguiriam para os pulmões, onde essa reação seria realizada novamente, só que dessa vez no sentido contrario, onde o CO_2 seria expelido através da expiração e a água continuaria no plasma sanguíneo.

Quando ocorrem alterações nesse ciclo (perda de CO_2 por líquidos corporais) aumenta-se muito a taxa de bicarbonato no sangue (que não foi utilizado na reação inversa) aumentando, conseqüentemente, o PH sanguíneo (MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998; FOSS e KETTYIAN, 2000).

“Uma redução no dióxido de carbono, como ocorre na hiperventilação, acarretam uma subida no PH (em virtude de uma perda de ácido carbônico) e o sangue torna-se mais alcalino” (MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998, p. 466).

Para reequilibrar o PH, os rins excretam mais bicarbonato através da urina (MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998; FOSS e KETTYIAN, 2000).

Alterações Hematológicas – para compensar uma possível falta de oxigênio, o equilíbrio hídrico é alterado, desviando o plasma sanguíneo em direção dos espaços intra e extracelulares, tornando o sangue mais concentrado (MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998; FOSS e KETTYIAN, 2000).

O corpo humano também começa a produzir mais hemácias, e conseqüentemente, mais hemoglobina.

“A P_{O_2} arterial reduzida nas grandes altitudes estimula também um aumento no número total de hemácias, condição conhecida como policitemia” (MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998, p. 466).

Isso ocorre porque os rins produzem uma quantidade maior do hormônio eritropoetina (EPO) (MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998; FOSS e KETEVIAN, 2000; LIRA, BARGIERI e NAKAMOTO, 2004).

Para se ter uma noção desse aumento, um mineiro dos Andes possui até 38% mais hemácias do que um mineiro que trabalha ao nível do mar. Alguns nativos que moram em grandes altitudes podem ter até 50% a mais que o nível normal (MANIER et al., 1988, *apud* MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998).

Conseqüentemente, com o aumento na porcentagem de células vermelhas, pode-se haver um retorno de plasma sanguíneo que estava entre os espaços celulares, mas o sangue ainda continuará mais concentrado (MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998; FOSS e KETEVIAN, 2000).

Vale lembrar que o nível do hematócrito não aumentará ilimitadamente. Isso poderia causar uma viscosidade exagerada do sangue, dificultando a circulação e o transporte de O₂ (MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998).

Com isso, as proporções do conteúdo sanguíneo (aproximadamente 55% plasma, aproximadamente 45% hemácias e menos de 1% células brancas) (MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998; FOSS e KETEVIAN, 2000) se alteram, havendo um aumento na porcentagem de hemácias e uma diminuição na proporção de plasma.

Adaptações Celulares – para auxiliar no transporte de O₂, algumas alterações celulares podem ocorrer.

Por exemplo, algumas pesquisas evidenciaram uma maior concentração de capilares, mitocôndrias e enzimas do ciclo de Krebs em músculos de animais nascidos e criados na altitude em relação aos animais de mesma espécie do nível do mar (VALDIVIA et al., 1958; REINAFARJE, 1962; MACDOUGALL et al., 1992, citados por MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998). Essas alterações poderiam reduzir a distância da difusão do O₂ para os músculos e tecidos (MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998; FOSS e KETEVIAN, 2000) e aumentar a quantidade desse gás para o organismo.

A mioglobina que é uma proteína similar à hemoglobina, diferenciando-se por conter apenas um átomo de ferro e estar presente nos músculos, tem a função de armazenar O₂ dentro dos músculos (MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998; FOSS e KETEVIAN, 2000).

Segundo Reynafarje (1964) e Macdougall et al. (1992), biópsias realizadas em cadáveres de seres humanos indicaram um aumento de até 16% na mioglobina em nativos da grande altitude, quando comparados a nativos ao nível do mar (MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998).

Com o aumento no conteúdo da mioglobina, uma maior quantidade de O₂ poderia ser armazenada, tornando-a um mecanismo fácil e rápido para a obtenção de energia em situações de necessidade.

Alterações no Peso e na Composição Corporal – “A exposição prolongada a uma grande altitude produz redução significativa no peso corporal e na gordura corporal; a magnitude da redução ponderal está relacionada diretamente à elevação terrestre” (MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998, p. 468).

Para os autores citados acima, três motivos poderiam explicar a perda de peso.

A primeira seria uma ingestão energética diária reduzida, menor ingestão de alimentos.

A segunda, que poderia responder o motivo anterior, envolve uma menor eficiência na absorção intestinal.

E a terceira, é que pode-se observar um aumento na taxa metabólica basal em pessoas expostas à altitude.

Com todas as alterações fisiológicas que ocorrem nas grandes altitudes, o nível de O₂ carreado aumenta, podendo chegar a ser igual aos valores ao nível do mar (MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998), entretanto, o desempenho obtido ainda continuará inferior ao desempenho conseguido ao nível do mar.

Perigo das Grandes Altitudes

Existem alguns perigos e desconfortos para o treinamento ou mesmo, para a moradia e nas grandes altitudes.

Mal Agudo das Montanhas – compõe um mecanismo de proteção do corpo contra a altitude e geralmente ocorre quando a ascensão é muito rápida, não

havendo tempo para a aclimação (MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998; FOSS e KETEYIAN, 2000).

Seus sintomas incluem dor de cabeça, vertigem, náuseas, constipação, vômitos, visão turva, insônia e franqueza generalizada (MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998) e tendem a desaparecer com a aclimação.

Edema Pulmonar das Montanhas – apenas cerca de 2% das pessoas que permanecem pouco tempo em altitudes muito altas experimentam essa complicação (MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998).

Segundo McArdle Katch e Katch (1998), uma possível causa para essa enfermidade pode ser o aumento na pressão da artéria pulmonar, o que causaria o acúmulo de líquidos nos pulmões, podendo se tornar um grande risco à vida da pessoa enferma.

Edema Cerebral das Montanhas – possui os sintomas do mal das montanhas exacerbados, e se caracteriza por uma grande vasodilatação cerebral (resultado de um acúmulo excessivo de líquidos) (MCARDLE KATCH e KATCH, 1998).

Em ambos os casos, os edemas poderam regredir quando os enfermos são retirados para uma altitude menor e não necessitam de um tratamento medicamentoso.

Existem ainda a perda excessiva de líquidos, o que pode levar a desidratação e em casos de alpinismo em altitudes superiores a 6000 m, poderiam ocorrer hemorragias na mácula dos olhos, devido ao aumento da pressão intra-ocular (vasodilatação) (MCARDLE, KATCH e KATCH, 1998).

Treinamento na Altitude

O treinamento na altitude é uma estratégia utilizada desde a década de 40, e visa aumentar a performance de exercícios e esportes de longa duração (LIRA, BARGIERI e NAKAMOTO, 2004).

Em teoria, esse tipo de procedimento induziria à adaptações (já citadas), que posteriormente, ao nível do mar poderiam elevar muito a performance.

Na verdade isso pode não ocorrer, pois a maioria dos estudos possuem resultados controversos.

Por exemplo, um estudo de Adams et al. (1975) citado por McArdle, Katch e Katch (1998) comparou dois grupos experimentais.

Um dos grupos, denominado grupo 1, morou e treinou por três semanas ao nível do mar, e posteriormente, morou e treinou por mais três semanas na altitude. O outro grupo, denominado grupo 2, realizou o procedimento contrário.

Foram avaliados o Vo2 Máximo antes, durante e após o treinamento.

Seus resultados apontam para o que já era esperado. Uma redução de 17,4% no Vo2 Máximo quando expostos à altitude, e ao retornarem para o nível do mar o Vo2 subia.

Entretanto, o valor do Vo2 Máximo do teste (ao nível do mar) pós-treinamento na altitude estava cerca de 2,8% abaixo dos valores pré-altitude no grupo 1, enquanto o grupo 2 não havia tido diferenças nos testes.

Para tentar explicar a possível causa da redução do Vo2 no grupo 1, McArdle, Katch e Katch (1998) e Lira, Bargieri e Nakamoto (2004), apontam para a redução na intensidade do treinamento (Vo2 Máximo reduzido na altitude), que faria com que o atleta não conseguisse manter sua máxima performance ao nível do mar.

Quanto ao grupo 2, provavelmente, como o treinamento na altitude ocorreu antes, quando o grupo voltou a treinar ao nível do mar conseguiu recuperar sua performance anterior.

Outros estudos citados por Foss e Keteyian (2000) e Lira, Bargieri e Nakamoto (2004) (SURKS et al., 1966; ALEXANDER et al., 1967; BUSKIRK et al., 1967; FAULKNER et al., 1968; BILLINGA et al., 1968, 1969, 1971; JUNG et al., 1971; GREEN et al., 1989; SUTTON et al., 1992; LEVINE e STRAY-GUNDERSEN, 1995, RUSKO, 1996; STEINACKER et al., 1996) também relataram uma queda na performance na altitude e ao retornarem ao nível do mar uma queda na performance quando comparados com os valores da performance pré-treinamento na altitude.

Para solucionar esse problema, alguns estudos recentes parecem ter encontrado uma boa solução para poder conciliar os possíveis efeitos benéficos da altitude com a alta intensidade nos treinamentos.

A estratégia utilizada ficou conhecida com “morar alto e treinar baixo” (LEVINE et al., 1997; ASHENDEN et al., 2000; STRAY-GUNDERSEN et al., 2001; DEHERT et al., 2002, TOWNSEND et al., 2002; ROBERTS et al., 2003; JULIAN et al., 2004; KATAYAMA et al., 2004, *apud* LIRA, BARGIERI e NAKAMOTO, 2004), pois os participantes dos referidos estudos moravam em grandes altitudes (acima de 1500 metros) e treinavam abaixo dessa altitude (1500 metros).

Mesmo com a maioria desses estudos utilizando altitudes simuladas, com exceção do estudo de Julian et al. (2004), todos obtiveram respostas significativamente maiores, e puderam concluir que a estratégia do “morar alto e treinar baixo” é uma boa alternativa para maximizar o treinamento e aumentar a performance de atletas de esportes predominantemente aeróbios.

Conclusão

O treinamento na altitude ainda é muito discutido, devido a real comprovação de sua eficiência.

Entretanto, recentes pesquisas que utilizaram a metodologia do “morar alto e treinar baixo” encontraram resultados significativos, pois puderam associar os benefícios da altitude com a manutenção da alta intensidade de treinamento.

Portanto, os treinamentos em altitudes superiores a 1500m são desaconselhados quando for utilizado no intuito da melhora da performance ao nível do mar.

No entanto, se as competições forem realizadas em uma altitude elevada, o treinador, a partir do princípio da especificidade (WEINECK, 1999), poderá então levar seu atleta para treinar em altitudes e condições climáticas que mais se aproximem das condições reais do local de competição.

Referências Bibliográficas

FOSS, Merle L.; KETEVIAN, Steven J. **Bases Fisiológicas Exercício e do Esporte**. 6ª ed. Rio de Janeiro, RJ, Guanabara Koogan S. A., 2000, p.490-507.

LIRA, Cláudio A. B.; BARGIERI, Julia V.; NAKAMOTO, Fernanda P. **Exposição à Altitude para Aumentar a Performance de Endurance ao Nível do Mar**. São Paulo. Unifesp, 2004. Disponível em: <<http://www.cefe.unifesp.br/artigos/altitude.pdf>. Acesso em 12 de novembro de 2004.

MCARDLE, Willian D.; KATCH, Frank I.; KATCH, Victor L. **Fisiologia do Exercício: Energia, Nutrição e Desempenho Humano**. 4ª ed. Rio de Janeiro, RJ, Guanabara Koogan S.A.,1998, p.224-35; 458-73.

WEINECK, Jünger. **Treinamento Ideal**. 9ª ed. São Paulo, SP, Manole, 1999.

¹ Graduando em Educação Física – Curso de Educação Física – CREUPI/Espírito Santo do Pinhal – SP.

Membro do Grupo de Estudos em Educação Física e Esportes (CREUPI).

Endereço para Contatos: Rua Ricardo Francisco de Paula, 477, Vila Palmeiras – Espírito Santo do Pinhal, SP – Cep: 13990-000 – Telefone: (19) 3651 4126.
E-mail: alexandrepaulinodefaria@yahoo.com.br ou tandypaulino@bol.com.br

² Graduando em Educação Física – Curso de Educação Física – CREUPI/Espírito Santo do Pinhal – SP.