



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA - UFSM  
CENTRO DE EDUCAÇÃO FÍSICA E DESPORTOS  
ESPECIALIZAÇÃO – ATIVIDADE FÍSICA, DESEMPENHO  
MOTOR E SAÚDE



**Sessões de Hipoxia Normobárica com Canoístas: Adaptação da Frequência Cardíaca e da  
Saturação Periférica de Oxigênio da Hemoglobina**

Anderson Fernando da Silva<sup>1,2</sup>, Luiz Osório Cruz Portela<sup>1,2</sup>

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)<sup>(1)</sup> - Laboratório de Fisiologia do Exercício e  
Performance Humana (LAFEPH)<sup>(2)</sup> - Santa Maria -RS- Brasil.

**Autor: Anderson Fernando da Silva**

**Orientador: Dr. Luiz Osório Cruz Portela**

**Santa Maria, RS – Brasil**

**2010**

# **Sessões de Hipoxia Normobárica com Canoístas: Adaptação da Frequência Cardíaca e da Saturação Periférica de Oxigênio da Hemoglobina**

## **Resumo**

Este estudo verificou o efeito de sessões de hipoxia normobárica, em repouso, sobre a SpO<sub>2</sub> e FC de canoístas de elite, que se preparavam para à disputa do Campeonato Pan-americano de Canoagem no México na altitude de aproximadamente 2340 m. Para isso submeteu-se 5 atletas, com média de idade de  $21,2 \pm 2,6$ , durante 15 dias, a sessões de hipoxia. As sessões tiveram de 90 a 120 minutos de duração, com intensidade de 15,5% a 12% O<sub>2</sub>, foram registrados os dados de SpO<sub>2</sub> e FC. A comparação entre pré e pós-teste, por meio do teste t de Student, mostrou um aumento significativo ( $p < 0,001$ ) do percentual da SpO<sub>2</sub> e redução significativa ( $p < 0,001$ ) da FC em todos os indivíduos. Portanto conclui-se que o protocolo de Treinamento Hipoxico Intermitente (THI) utilizado, melhora a resposta do organismo em hipoxia, evidenciando-se com do aumento da SpO<sub>2</sub> e a redução da FC de repouso.

**Palavras-chaves:** Desempenho Físico, Frequência Cardíaca, Saturação Periférica de Oxigênio da Hemoglobina, Hipoxia.

## **Abstract**

This study assessed the effect of normobaric hypoxia sessions, resting on the SpO<sub>2</sub> and HR of elite paddlers, who were preparing for the struggle for Pan-American Championship Canoe in Mexico at an altitude of approximately 2340 m. For that underwent five athletes with a mean age of 21,2 and standard deviation of 2,6, for 7 days a week, the sessions of hypoxia. The sessions were 30 to 90 minutes duration, with intensity of 15.5% to 12% O<sub>2</sub>, and recorded the data results of SpO<sub>2</sub> and heart rate. The comparison between pre-and post-test, using the Student t test showed a significant increase ( $p < 0.001$ ) and the percentage reduction in SpO<sub>2</sub> ( $p < 0.001$ ) in HR in all subjects. We conclude that the protocol of intermittent hypoxic training (IHT) used, improves the body's response to hypoxia, showing itself through increased SpO<sub>2</sub> and reducing resting HR.

**Keywords:** Physical Performance, Heart Rate, Peripheral Oxygen Saturation of Hemoglobin, Hypoxia.

## Introdução

Atletas que vivem ao nível do mar são, muitas vezes, obrigados a competir em baixa ou moderadas altitudes: - jogos pan-americanos, sul-americanos, ou no caso do futebol profissional, a Taça Libertadores da América. É bem difundido que a altitude diminui o desempenho, podendo também trazer maior sensação de desconforto e mal estar no esforço e repouso. Grandes altitudes, de 3.000 – 5.000 metros, (GORE *et al.* 2007) podem levar a distúrbios e doenças, conhecidos como mal de altitude e com possibilidade de evolução a um quadro de edema pulmonar e cerebral, (HESPANHA, 1992; KRASNEY, 1994). Segundo Wilmore & Costill (2001), isso pode ser evitado com adaptação prévia.

A concentração percentual dos gases permanecer inalterada em qualquer altitude da atmosfera terrestre, com 20,9% de oxigênio, 78% de nitrogênio, e 1% de outros gases, em contra partida a esse fator, em locais com altitudes acima do nível do mar ocorre redução da densidade do ar (menor número de moléculas por litro) e queda da pressão parcial destes gases, decorrente da redução gradual da pressão atmosférica. Esse fato traz consigo repercussões respiratórias, dificultando na dependência da altitude, a sobrevivência e o desempenho físico dos seres humanos sem preparação para tal (WILMORE & COSTILL, 2001).

Conforme West (1996), as adaptações crônicas induzidas pela aclimação prolongada em altitude, mesmo que o nosso organismo se adapte progressivamente às características destes ambientes melhorando o deficiente suprimento de oxigênio aos tecidos, não compensa de forma absoluta a progressiva limitação do desempenho humano imposta pelo incremento da altitude.

Aclimação ou adaptação à altitude são as respostas adaptativas na fisiologia e no metabolismo humano, que aprimoram a tolerância individual à hipoxia da altitude. (MCARDLE *et al.*, 1998).

A aclimação a altitude é um processo sistêmico que exige diferentes tempos de exposição, na dependência do sistema a ser adaptado e da dimensão das alterações objetivadas. Adaptações superficiais, como por exemplo, as ocorridas em variáveis respiratórias (volumes pulmonares) e circulatórias (frequência cardíaca, pressão arterial, débito cardíaco, nível de hemoglobina, número de eritrócitos, enzimas celulares responsáveis pela ressíntese aeróbia e anaeróbia de ATP), podem ser observadas nas

primeiras duas semanas de exposição à hipoxia. No entanto, adaptações mais profundas, na estrutura dos órgãos e células (aumento de capilares, número e volume de mitocôndrias, etc) requerem um maior período de tempo.

De acordo Wilmore & Costill (2001) e Fox *et al.* (1991), os efeitos fisiológicos de aclimatação são verificados somente acima dos 1.500 metros, haja vista que estudos realizados por Chapman & Levine (2003), em que atletas foram submetidos ao Treinamento em Altitude (TA) entre 1.000 e 1.500 metros, as adaptações foram pouco significativas.

Este é um conhecimento consolidado na literatura especializada, porém ignorado pela maior parte dos dirigentes de clubes esportivos brasileiros durante o planejamento de suas competições em altitude. Isso pode ser constatado por meio das notícias esportivas nas mídias. Tal conhecimento deveria sim ser considerado pelos dirigentes esportivos, objetivando um melhor rendimento de seus atletas.

Este estudo investiga a resposta de adaptação da Saturação Periférica de Oxigênio da Hemoglobina (SpO<sub>2</sub>) e Frequência Cardíaca (FC) ao treinamento hipóxico, possível para o período de 15 dias antes de uma competição de canoagem em altitude (aproximadamente 2340 metros). Como o período para o treinamento hipóxico é curto, torna-se necessário a exposição diária com maior intensidade e duração. Os dados coletados são importantes e servirão de base para, futuramente, comparar com o efeito de uma mesma carga de exposição, porém durante maior período de tempo.

## **Materiais e métodos**

Participaram do estudo 05 atletas de elite da canoagem, (média de idade de 21,2 anos  $\pm$  2,6), que se preparavam para a disputa do Campeonato Pan-americano de Canoagem no México na altitude de aproximadamente 2340 m. Os atletas realizaram 15 sessões de hipoxia normobárica no simulador de altitude (GO2Altitude, Austrália), com duração de 90 minutos por sessão. A respiração se dá através de um sistema fechado com o uso de máscaras. As 15 sessões foram realizadas em repouso após o treinamento. A intensidade da hipoxia utilizada variou entre 15,5 a 12% O<sub>2</sub>, correspondente as alturas de 2500 a 4.500 m respectivamente. Os critérios utilizados para o aumento da carga de hipoxia foi baseado na tolerância individual, tomando como referência a SpO<sub>2</sub> com

limite inferior de 85%. Durante as sessões foram gravados os dados de SpO<sub>2</sub> e FC, que eram registrados a cada segundo pela oximetria de pulso disponível no próprio GO2Altitude. As sessões foram realizadas 15 dias antes do Campeonato Pan-americano. No período de aplicação das sessões de hipoxia foram mantidas as atividades rotineiras de treinamento físico, técnico e tático.

Os dados do pré-teste foram registrados na 1<sup>a</sup> sessão e o pós-teste foi coletado na última sessão de hipoxia.

Tratamento Estatístico – Os dados foram submetidos à estatística descritiva para cálculo da média, desvio padrão e percentual. Foi usado o teste t de Student para amostras dependentes a fim de comparar os valores de SpO<sub>2</sub> e FC obtidos durante toda as sessões de hipoxia e as médias tomadas de minuto a minuto. O nível de significância adotado foi  $\alpha = 0,05$ .

## Resultados

Na tabela 1 a caracterização corporal do grupo representada em valores médios.

Tabela 1 – Média e Desvio Padrão (DP), da Massa Corporal (MC), Estatura (cm), Somatório de Dobras Cutâneas ( $\Sigma$ -DC) e o percentual de Massa Magra (M.M %) do grupo de cinco canoístas.

	MC(Kg)	Estatura (cm)	$\Sigma$ -DC	M.M%
<b>Média</b>	80,2	178,6	53,3	48,1
<b>Desvio Padrão</b>	10,4	5,4	22,9	7,1

As médias de massa muscular magra e do somatório de dobras da tabela acima caracterizam corpos atléticos, pessoas bem treinadas.

A Figura 1 representa a resposta média da SpO<sub>2</sub> e FC do grupo na exposição aguda a hipoxia.

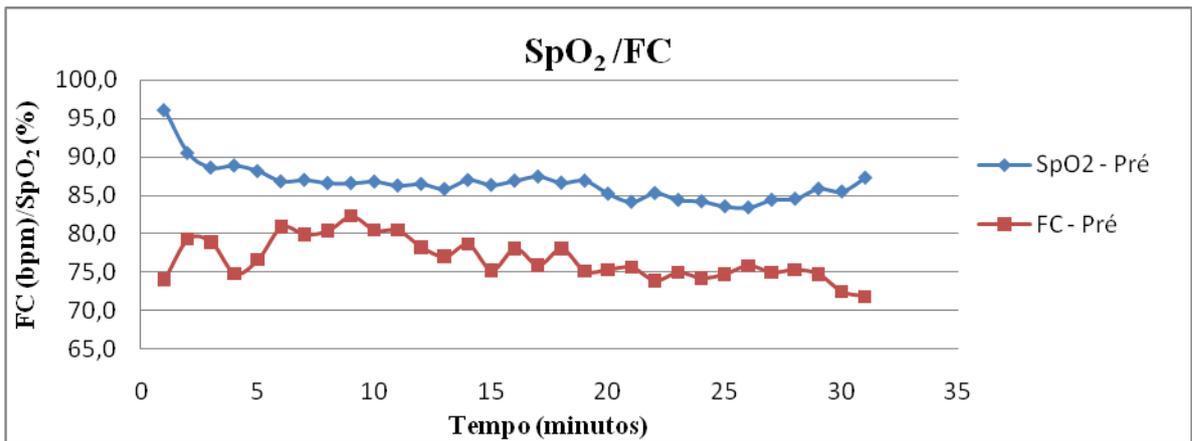


Figura 1 - Média da variação de SpO<sub>2</sub> e FC do grupo a cada minuto no pré-teste, durante os 30 minutos da sessão de Hipoxia Normobárica 15,5% O<sub>2</sub>.

Conforme a Figura 1, há uma queda abrupta da média SpO<sub>2</sub> imediatamente após o início da exposição hipóxica, de 96,1(%) no primeiro minuto à 86,8(%) no minuto seis. A partir do minuto seis a SpO<sub>2</sub> se mantém com uma pequena oscilação aproximadamente de 1% até o minuto 19 e torna a diminuir atingindo seu valor mais baixo, 83,6(%), entre os minutos 25 e 26. A queda da média de SpO<sub>2</sub>-pré é um padrão de comportamento observado na exposição aguda a hipoxia e tem como característica a maior oscilação dos valores, que aumentam e diminuem ao longo da sessão.

Simultaneamente a redução da SpO<sub>2</sub>, observa-se o aumento da FC, com a finalidade de compensar a deficiência de O<sub>2</sub>. A FC alcança o valor mais alto, 82,3bpm, no minuto 9. A expressão máxima da FC informa o grau de compensação, através do aumento da circulação, para o atendimento das necessidades de consumo de Oxigênio. A partir do minuto 9 a FC começa a diminuir e atinge no final da sessão valores iguais ou abaixo ao início da hipoxia. Tal comportamento indica uma tendência de aumento da atividade parassimpática com o maior tempo de exposição à hipoxia. Os dois comportamentos observados na Figura 1, de ativação simpática, no início, e de ativação parassimpática, da metade ao final da sessão, são características que podem denotar uma dificuldade de ajuste regulatório da FC perante o estímulo hipóxico. Este comportamento é mais ou menos expressivo, quantitativamente, na dependência do grau de aclimação e varia na dependência das características individuais e da intensidade da hipoxia.

O comportamento apresentado anteriormente deve se alterar em consequência da adaptação ao treinamento hipóxico. A tabela 2 apresenta os efeitos das sessões de hipoxia normobárica sobre a concentração de 15,5% O<sub>2</sub>.

Tabela 2 – Média no pré e pós-teste, da Saturação Periférica de Oxigênio da Hemoglobina (SpO<sub>2</sub>) e Frequência Cardíaca (FC). Registrados durante 30 minutos de Hipoxia Normobárica (15,5% O<sub>2</sub>).

Tempo	SpO <sub>2</sub> (%)- Pré	SpO <sub>2</sub> (%)- Pós	FC – Pré	FC- Pós
0	96,1	96,8	74,0	68,4
1	90,5	90,4	79,3	70,8
2	88,6	88,8	78,9	71,2
3	88,9	89,4	74,8	69,7
4	88,2	89,5	76,7	67,9
5	86,8	89,4	80,9	69,8
6	87,0	89,6	79,9	71,0
7	86,6	88,9	80,4	68,4
8	86,6	89,2	82,3	67,4
9	86,8	88,7	80,5	68,3
10	86,3	88,1	80,5	66,2
11	86,5	88,6	78,3	67,7
12	85,8	89,0	77,0	67,9
13	87,0	88,4	78,6	68,8
14	86,4	88,1	75,3	67,8
15	86,9	87,0	78,1	67,2
16	87,5	86,8	75,9	67,1
17	86,6	87,4	78,0	67,9
18	86,9	88,2	75,1	67,0
19	85,2	88,0	75,3	65,2
20	84,1	88,3	75,6	67,0
21	85,3	87,7	73,9	68,4
22	84,4	88,1	75,0	65,5
23	84,2	87,0	74,2	64,0
24	83,6	86,2	74,8	64,9
25	83,4	87,0	75,9	66,1
26	84,4	87,7	75,0	65,8
27	84,5	88,5	75,3	65,4
28	85,9	87,4	74,7	67,0
29	85,5	87,3	72,4	66,8
30	87,3	88,4	71,8	65,4
<b>Média</b>	<b>86,6</b>	<b>88,5</b>	<b>76,7</b>	<b>67,5</b>
<b>DP</b>	<b>2,4</b>	<b>1,8</b>	<b>2,7</b>	<b>1,8</b>

O pós-teste representa a resposta de adaptação às sessões crônicas de hipoxia normobárica. As médias de SpO<sub>2</sub> do pós-teste a 15,5% O<sub>2</sub>, após ao treinamento hipóxico, se mantém abaixo dos valores medidos ao nível do mar, 96% a 98%. Os resultados de SpO<sub>2</sub> após o treinamento hipóxico, pós-teste, foram significativamente ( $p < 0,001$ ) maiores que no pré-teste para a comparação por meio do teste t de Student

para dados pareados. No entanto as médias das médias de cada minuto do pós-teste diferem em aproximadamente 2% em relação ao pré. Se observa um menor valor do desvio padrão como resposta de adaptação no pós-teste demonstrando, isto é, uma menor variação dos valores. A Figura 2 ilustra o conteúdo da tabela e o comportamento descrito para a SpO<sub>2</sub> do pós em relação ao pré-teste.

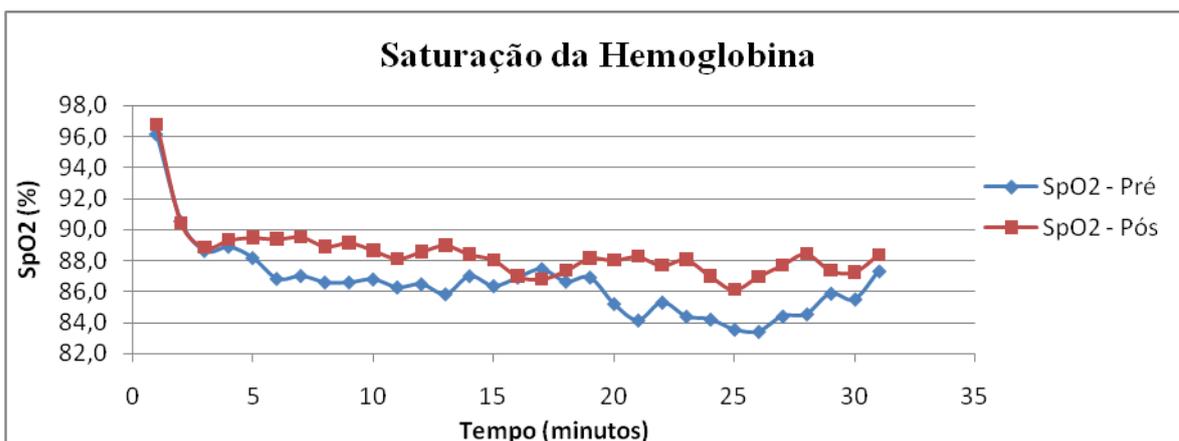


Figura 2 - Média da SpO<sub>2</sub> do grupo, no pré e pós-teste, nos 30 minutos de sessão de Hipoxia Normobárica, 15,5% O<sub>2</sub>.

A seguir a Figura 3 ilustra o comportamento da FC no pré e pós-teste.

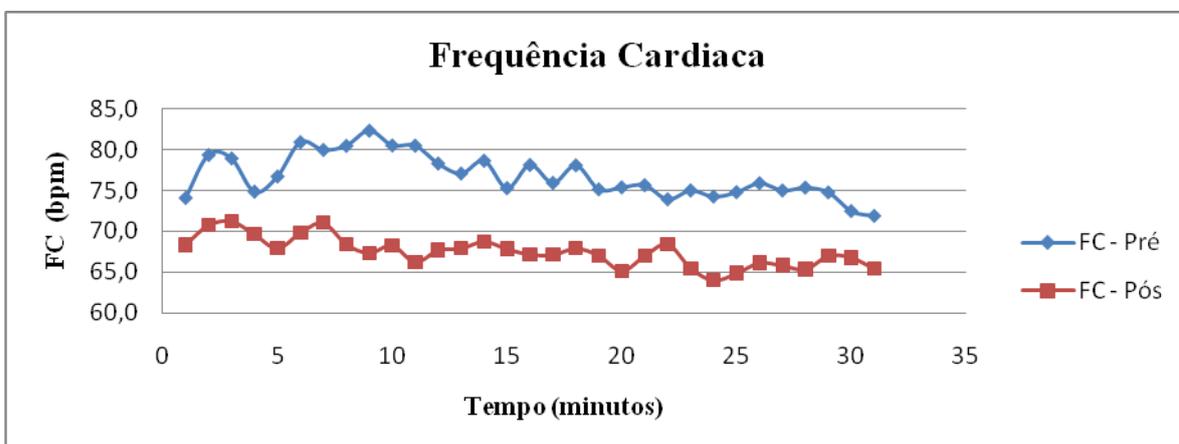


Figura 3- Média da FC do grupo, no pré e pós-teste, nos 30 minutos da sessão de Hipoxia Normobárica 15,5% O<sub>2</sub>.

FC do pós-teste, o contrário, apresenta uma diminuição das médias em cada minuto em relação ao pré. Os valores permanecem reduzidos durante toda a sessão. A redução da FC foi significativa ( $p < 0,001$ ) na comparação através do teste t de Student.

O menor valor médio do desvio padrão mostra uma menor variação das médias de FC pós-teste, que pode ser melhor observada na Figura 3.

A tabela 3 mostra a diferença das médias de SpO<sub>2</sub> e FC, nos 30 minutos de sessão do pré e pós-teste, expressas em percentual.

Tabela 3 – Média, Desvio Padrão (DP) e diferença percentual (%) entre pré e pós-teste, da Saturação Periférica de Oxigênio da Hemoglobina (SpO<sub>2</sub>) e Frequência Cardíaca (FC) do grupo, durante 30 minutos de Hipoxia Normobárica (15,5% O<sub>2</sub>).

	SpO <sub>2</sub> – Pré	SpO <sub>2</sub> – Pós	Δ%SpO <sub>2</sub>	FC – Pré	FC – Pós	Δ%FC
<b>Média</b>	86,6	88,6	2,3*	76,7	67,8	-11,6*
<b>DP</b>	2,4	1,8		2,7	2,1	

\* p < 0,001.

A diferença percentual na SpO<sub>2</sub> entre as médias alcançou 2,3% e permite observar que o maior efeito de adaptação se manifestou sobre a FC, - 11,6%. O valor médio de redução da FC é de 9,2 bpm, que implica em uma redução total de 276 batimentos nos 30 minutos de duração do pós-teste.

## Discussão

A diminuição da SpO<sub>2</sub> e aumento da FC durante a exposição a hipoxia 15,5% atingem, respectivamente, os valores médios mais baixo e mais alto de 83,4 % e 82,3. Os valores médios do grupo em normoxia são 98% e 56,8 (DP= 5,3). Apesar da baixa altitude 2500m, a diminuição da saturação de oxigênio da hemoglobina observada é suficiente para reduzir a quantidade de oxigênio a ser ofertada à musculatura (KIME et al., 2003; ROELS et al., 2007). A diminuição da oferta tem impacto no consumo máximo de oxigênio, que apresenta menores valores na exposição aguda a hipoxia, pré-teste, em pessoas não aclimatadas.

A elevação da FC de repouso significa uma menor reserva da FC (FCmax-FCrepouso) e o deslocamento da curva do débito cardíaco em relação a carga de esforço para esquerda, resultado também confirmado por Povea et al. (2005), para o repouso e exercício submáximo. Ambos as modificações, de FC e SpO<sub>2</sub>, observadas repercutem negativamente sobre as condições de transporte de oxigênio. Segundo

Mazzeo (2008), quanto maior for à diminuição da oferta de oxigênio, maior será a queda da performance na altitude. No entanto, a SpO<sub>2</sub> de repouso não pode prever o desempenho de corrida em hipoxia.

O treinamento hipóxico objetiva desenvolver aspectos fisiológicos direcionados a aclimatação. O aumento e menor variação SpO<sub>2</sub> no pós-teste em relação ao pré, são efeitos buscados e representam um melhor estado, resposta de adaptação frente a hipoxia. Esse é confirmado no comportamento de diminuição dos valores de FC. Ambas as alterações refletem melhoria na capacidade de transporte de oxigênio e uma melhor resposta adaptativa frente à hipoxia, efeito este, também encontrado por Clark et al. (2007) em aplicações de hipoxia hipobárica.

Conforme os resultados da tabela 2 demonstram o maior efeito de adaptação à hipoxia recaiu sobre os valores de FC. A redução da FC implica em menor trabalho e gasto energético para manutenção de um mesmo débito cardíaco. A presente investigação registrou um menor efeito de aumento da SpO<sub>2</sub>, do que o obtido por Gheller (2010), com jogadores de futebol profissional, ao se utilizar de similar número de sessões e protocolo de aplicação da hipoxia. O aumento de SpO<sub>2</sub> e diminuição da FC referidos pelo autor com o treinamento hipóxico foi de 6,7% e 13,9%. A diferença é que o efeito obtido por Gheller (2010), foi testado a 13% O<sub>2</sub> e este estudo usou 15,5% O<sub>2</sub>. Assim, parece que um maior nível de hipoxia pode fazer uma maior diferença para demonstrar a melhoria do estado de adaptação da SpO<sub>2</sub> e FC em resposta ao treinamento hipóxico.

O aumento da SpO<sub>2</sub> e diminuição da FC refletem um melhor estado de adaptação a hipoxia, um aumento da capacidade de performance sob estas condições também foi encontrado por Beidleman et al. (2003). No entanto, não se pode estabelecer, baseado nestas variáveis, a relação do nível de melhoria da capacidade de performance proporcionado pelo aumento da SpO<sub>2</sub> ou diminuição da FC de repouso. A limitação é que não se pode obter, por intervenção de variáveis coletadas em repouso, um bom prognóstico da capacidade de desempenho de corrida.

Os resultados obtidos nesse estudo vão ao encontro dos apresentados por Schuler et al. (2006), que recomendam uma aclimatação de pelo menos 14 dias antes da competição na altitude de 2340m, alcançando assim uma melhora significativa em seu desempenho. Demonstrando dessa forma uma melhora dos pré-requisitos, das condições de transporte de oxigênio, obtidas com o treinamento hipóxico.

## Conclusão

A sessões de hipoxia normobárica (90 - 120 min/dia, durante 15 dias, 15,5 - 12% O<sub>2</sub>) melhoram as condições fisiológicas para uma melhor performance em altitude. Isso foi demonstrado por meio do aumento da SpO<sub>2</sub> e da redução da FC durante a exposição em repouso. Essas alterações criam as condições pré-requisitos para o aumento do débito cardíaco máximo e possibilitam o aumento do VO<sub>2</sub>máx em altitude, (hipoxia).

## Referências bibliográficas

- BEIDLEMAN, B. A. et al. **Intermittent altitude exposures improve muscular performance at 4,300 m.** Journal of Applied Physiology. 2003; 95:1824 – 1832.
- CHAPMAN, R.F. & Levine, B.D. **O Efeito da Hipo e da Hiperbaria sobre a Performance.** In: Garrett, J. R.; Kirkendall, D. T. A Ciência do Exercício e dos Esportes. Porto Alegre: Artmed, 2003, p. 477-488.
- CLARK, S. A., Bourdon, P. C., Schmidt, W., Singh, B., Cable, G., Ônus, K. J., Woolford, S. M., Stanef, T., Gore, C. J., Aughey, R. J. **The effect of acute simulated moderate altitude on power, performance and pacing strategies in well-trained cyclists.** European Journal of Applied Physiology. 2007; 102: 45 – 55.
- FOX, E. L.; Bowers, R. W.; Foss, M. L. **Bases Fisiológicas da Educação Física e dos Desportos.** 4 ed, Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 1991.
- GORE, C. J. ; CLARK, S. A. ; SAUNDERS, P. U. **Nonhematological mechanisms of improve sea-level performance after hypoxic exposure.** Medicine & Science in Sports & Exercise, v. 39, n. 9, p. 1600-1609, set. 2007.
- GHELLER, R. G. **Hipoxia Normobárica: Efeitos Sobre a Frequência Cardíaca e a Saturação de Oxigenio da hemoglobina em Jogadores de Futebol.** 16 f, 2010. Artigo (Especialização em Atividade Física, Desempenho Motor e Saúde) / Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.
- HESPANHA, R. Vvacqua R - **Ergometria e Reabilitação em Cardiologia.** Rio de Janeiro, Medsi Editora 1992.

KIME, R, Karlsen T, Nioka S, Lech G, Madsen O, Saeterdal R, Im J, Chance B, Stray-Gundersen J. **Discrepancy between cardiorespiratory system and skeletal muscle in elite cyclists after hypoxic training.** Dyn Med 2003; 2(1): 4.

KRASNEY, J.A. - **A neurogenic basis for acute altitude illness.** Med Sci Sports Exerc 1994; 26: 195-208.

MAZZEO, R. S. **Physiological Responses to exercise at altitude.** Sports Medicine. 2008; 38: 1-8.

MCARDLE, W. D.; Katch, F. I.; Katch, V. L. **Fisiologia do Exercício: energia, nutrição e desempenho humano.** 4 ed, Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 1998.

POVEA, C., Schmitt, L., Brugniaux, J., Nicolet, G., Richalet, J. P., Fouillot, J. P. **Effects of Intermittent Hypoxia on Heart Rate Variability during Rest and Exercise.** High Altitude Medicine & Biology. 2005; 6 (3): 215 – 225.

ROELS, B, Thomas C, Bentley DJ, Mercier J, Hayot M, Millet G. **Effects of intermittent hypoxic training on amino and fatty acid oxidative combustion in human permeabilized muscle fibers.** J Appl Physiol .2007: 102:79–86.

SCHULER, B. et al. **Timing the arrival at 2340m altitude for aerobic performance.** Scand J Med Sci Sports, Scandinavian, p. 588-594. out. 2007.

WEST, J.B. (1996) Physiology of extreme altitude. In: Fregly MJ and Blatteis CM. (Eds) **Handbook of physiology: Environmental physiology** (section 4), Vol. II, New York: Oxford University Press, 1307-1325.

WILMORE, J. H.; Costill, D. L. **Fisiologia do Esporte e do Exercício.** 2 ed, São Paulo, Monole, 2001.