

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA

ALEXANDRE FONSECA BRANDÃO

EXERCÍCIO FÍSICO PROGRESSIVO E
EQUILÍBRIO ÁCIDO-BASE EM SANGUE CAPILAR

SÃO CARLOS

2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA

ALEXANDRE FONSECA BRANDÃO

EXERCÍCIO FÍSICO PROGRESSIVO E
EQUILÍBRIO ÁCIDO-BASE EM SANGUE CAPILAR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Biotecnologia da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Biotecnologia.

Orientação: Prof. Dr. Oscar Peitl Filho e Prof. Dr. Nivaldo Antônio Parizotto

SÃO CARLOS

2010

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

B819ef

Brandão, Alexandre Fonseca.

Exercício físico progressivo e equilíbrio ácido-base em sangue capilar / Alexandre Fonseca Brandão. -- São Carlos : UFSCar, 2013.

55 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2010.

1. Biotecnologia. 2. Seres humanos. 3. Gases. 4. Metabólitos. I. Título.

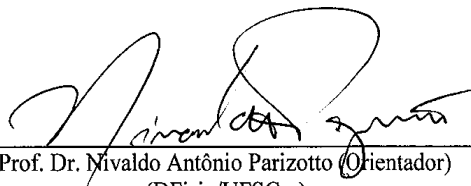
CDD: 660.6 (20^a)

Alexandre Fonseca Brandão

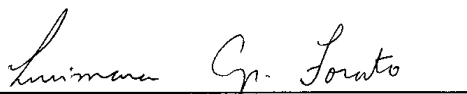
Dissertação de Mestrado submetida
à Coordenação do Programa de
Pós-Graduação em Biotecnologia,
da Universidade Federal de São
Carlos, como requisito parcial para
a obtenção do título de Mestre em
Biotecnologia

Aprovado em: 16/12/2010

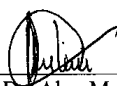
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Nivaldo Antônio Parizotto (Orientador)
(DFisio/UFSCar)



Profa. Dra. Lucimara Aparecida Forato
(EMBRAPA)



Dr. Alex Moretini
(Germiteira Produção Comercio e Exportação de Sementes Ltda.)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a memória de meus avôs Celso Neves da Fonseca e Luis Gonzaga Brandão.

Considerações sobre o exercício físico:

“Pratique, somos biologicamente evoluídos para o movimento”

AGRADECIMENTOS

Em especial aos meus familiares e aos voluntários participantes da pesquisa, entre eles, colegas do curso de Educação Física da UFSCar.

Ao Prof. Dr. Gilberto Moraes (DGE – UFSCar) pelo enorme incentivo na busca do entendimento da ciência como um todo.

Ao Prof. Dr. Roberto Mario Machado Verzola (DCF – UFSCar) primeiro orientador acadêmico – Iniciação Científica.

A Profª. Drª. Heloisa Sobreiro Selistre de Araújo (DCF – UFSCar) pelo apoio incondicional na formalização do meu projeto de pesquisa.

Ao Prof. Dr. Wilson Franco (DCF – UFSCar) pelas agradáveis discussões pertinentes a respeito dos conteúdos do meu projeto.

A Profª. Drª. Aparecida Maria Catai (DFisio - UFSCar) por disponibilizar o laboratório de fisioterapia cardiovascular para a realização dos testes experimentais.

Ao médico Adriano Marchetti Del Valle (Unimed – São Carlos) pela autorização em utilizar o equipamento Analisador de Gases da Unilab.

Ao técnico Ademir Aparecido Sertori da oficina de vidraria (DQ – UFSCar) pela produção dos primeiros capilares utilizados no projeto piloto.

Ao técnico Djalma Aparecido Lingnari Durici da oficina mecânica (CCBS – UFSCar) pela produção de materiais diversos utilizados na pesquisa.

Ao acadêmico Anderson Lee (DEFMH – UFSCar): 1º voluntário da pesquisa.

Ao acadêmico Rafael Natívio (DQ/DEFMH – UFSCar) pela dedicação e empenho na realização de parte do plano experimental.

A tradutora Inara Fonseca Brandão pela revisão dos trabalhos divulgados.

Ao projetista Bruno Fonseca de Figueiredo pelo desenho técnico do capilar.

A Profª. Drª. Patrícia Driusso (DFisio – UFSCar) pela colaboração na análise estatística dos resultados.

Ao acadêmico Luiz Fabrício Gardini Brandão pelo incentivo e motivação na busca do conhecimento científico.

Ao Prof. Dr. Oscar Peitl Filho (DEMa – UFSCar) e Prof. Dr. Nivaldo Antônio Parizotto (DFisio – UFSCar) pela orientação do mestrado PPGBiotec.

A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo pelo financiamento do projeto de pesquisa de Iniciação Científica que deu origem a este trabalho.

RESUMO

A análise de gases e metabólitos, de sangue arterial e venoso, reflete a condição de homeostase instantânea do organismo e qual a demanda energética exigida, indicando como os sistemas biológicos se comportam frente a algum stress físico, entre eles a variação da intensidade e volume da atividade física executada. Reações destes analitos garantem a manutenção do pH sanguíneo através da constante neutralização e/ou eliminação dos ácidos orgânicos derivados do metabolismo momentâneo. Foi objetivo um método, minimamente invasivo, para avaliar o equilíbrio ácido base conseqüente do aumento progressivo do exercício físico a partir de 100µL de sangue capilar. A metodologia utilizada contempla o protocolo de Balke para ciclo ergômetro adaptado as necessidades operacionais do equipamento Analisador de Gases ABL 800 Radiometer. O incremento progressivo da carga foi de 50 em 50 Watts até a exaustão voluntária com coleta e análise das amostras de sangue capilar. Os voluntários são 13 universitários ativos (5 mulheres e 8 homens) e 3 atletas amadores da UFSCar com idade entre 20 e 30 anos 25 ± 2 , e índice de massa corporal 24 ± 4 . Os resultados são apresentados no nomograma ácido base de Siggaard-Andersen, desenvolvidos através dos valores de pH entre $7,43\pm 0,02$ e $7,35\pm 0,04$, ABE (Excesso de Base Real) entre $4,16\pm 1,44$ e $-7,75\pm 3,17$ mmol/L, pCO_2 entre $35,48\pm 2,61$ e $37,20\pm 4,67$ mmHg e $[HCO_3^-]$ entre $24\pm 0,6$ e $17\pm 2,2$ mmol/L com análise das ferramentas estatísticas ANOVA e Teste T de Student. A concentração dos gases e metabólitos, presentes no sangue capilar, apresenta comportamento característico ao esperado durante o exercício físico progressivo como o crescimento exponencial da concentração de lactato e o decaimento linear do pH.

Palavras-Chave: Humanos. Exercício físico. Sangue capilar. Gases e Metabólitos.

ABSTRACT

The analysis of gases and metabolites in arterial and venous blood reflects the condition of homeostasis of the organism and which instantaneous energy demand required, indicating how biological systems behave in front of some physical stress, including the variation of intensity and volume of physical activity performed. Reactions of these compounds maintenance of constant blood pH by neutralization and / or elimination of organic acids derived from the metabolism momentary. It was an objective method, minimally invasive, to evaluate the acid-base resulting from the progressive increase of physical exercise from 100 μ L of blood capillary. The methodology used was the Balke protocol for cycle ergometer adapted to the operational needs of the equipment Gas Analyzer Radiometer ABL 800. The progressive increase of the load was 50 by 50 Watts until voluntary exhaustion with collecting and analyzing samples of capillary blood. Volunteers are 13 active students (5 women and 8 men) and three amateur athletes UFSCar aged between 20 and 30 years 25 ± 2 , and body mass index 24 ± 4 . The results are presented in the acid base nomogram Siggaard-Andersen, developed by the pH values between 7.43 ± 0.02 and 7.35 ± 0.04 , ABE (Excess Base Real) between 4.16 ± 1.44 and -7.75 ± 3.17 mmol / L, pCO₂ between 35.48 ± 2.61 and 37.20 ± 4.67 mmHg and [HCO₃⁻] between 24 and $17 \pm 0.6 \pm 2.2$ mmol / L with analysis of statistical tools ANOVA and Student's t test. The concentration of gases and metabolites present in blood capillary, presents the characteristic behavior expected during graded exercise as the exponential increase of lactate concentration and pH of the linear decay.

Keywords: Human. Exercise. Capillary blood. Gases and Metabolites.

Resumen

El análisis de gases y metabolitos en sangre arterial y venosa refleja la condición de la homeostasis instantánea del organismo y cuál es la demanda de energía necesaria, que indica cómo los sistemas biológicos se comportan frente a algunas exigencias físicas, incluyendo la variación de la intensidad y el volumen de la actividad física realizada. Las reacciones de estos compuestos mantiene el pH de la sangre constante la neutralización y / o eliminación de los ácidos orgánicos derivados del metabolismo momentáneo. Se trataba de un método objetivo, mínimamente invasivo, para evaluar el equilibrio ácido-base resultante del aumento progresivo de ejercicio físico a partir de 100 μ L de sangre capilar. **Metodología:** Balke protocolo para cicloergómetro – adaptado a las necesidades operativas de los equipos Analizador de Gas Radiometer[®] ABL 800; El aumento progresivo de la carga fue de 50 por 50 *watts* hasta el agotamiento voluntario recoger y analizar muestras de sangre capilar. **Voluntarios:** 13 estudiantes activos (5 mujeres y 8 hombres) y tres atletas aficionados UFSCar - edades comprendidas entre los 20 y 30 años 25 ± 2 , y el índice de masa corporal de 24 ± 4 . **Resultados:** se presentan en la tabla de base de ácido Siggaard-Andersen, desarrollado por los valores de pH entre $7,43 \pm 0,02$ y $7,35 \pm 0,04$, ABE (exceso de base real) entre $4,16 \pm 1,44$ y $-7,75 \pm 3,17$ mmol / L, pCO₂ entre $35,48 \pm 2,61$ y $37,20 \pm 4,67$ mmHg y [HCO₃⁻] entre 24 y $17 \pm 0,6 \pm 2,2$ mmol / L con el análisis estadístico de “ANOVA” y “Student’s t-test” herramientas. La concentración de gases y metabolitos presentes en sangre capilar, presenta el comportamiento típico durante el ejercicio calificado como el aumento exponencial de la concentración de lactato y el pH de la decadencia lineal.

Palabras clave: Humano. Ejercicio. Sanguíneos capilares. Gases y Metabolitos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Coleta de sangue capilar	23
Figura 2 – Coleta de sangue capilar	23
Figura 3 – Analisador de Gases ABL 800 Flex	23
Figura 4 – Fundição do tubo de sílica (Suprasil F 300)	25
Figura 5 – Esquema da torre de puxamento de capilares de sílica e fibras ópticas ..	25
Figura 6 – Esquema da torre de puxamento de capilares de sílica e fibras ópticas ..	25
Figura 7 – Análise do pH	27
Figura 8 – Análise do ABE	28
Figura 9 – Análise da $p\text{CO}_2$	29
Figura 10 – Análise da $ct\text{CO}_2$	30
Figura 11 – Análise da concentração de lactato	31
Figura 12 – Análise da concentração de bicarbonato	32
Figura 13 – Análise da frequência cardíaca	33
Figura 14 – Gráfico de equilíbrio ácido base	35
Figura 15 – Gráfico de equilíbrio ácido base da voluntária nº 1	36
Figura 16 – Gráfico de equilíbrio ácido base da voluntária nº 2	37
Figura 17 – Gráfico de equilíbrio ácido base da voluntária nº 3	38
Figura 18 – Gráfico de equilíbrio ácido base da voluntária nº 4	39
Figura 19 – Gráfico de equilíbrio ácido base do voluntário nº 5	40
Figura 20 – Gráfico de equilíbrio ácido base da voluntária nº 6	41

Figura 21 – Gráfico de equilíbrio ácido base do voluntário nº 7	42
Figura 22 – Gráfico de equilíbrio ácido base do voluntário nº 8	43
Figura 23 – Gráfico de equilíbrio ácido base do voluntário nº 9	44
Figura 24 – Gráfico de equilíbrio ácido base do voluntário nº10	45
Figura 25 – Gráfico de equilíbrio ácido base do voluntário nº11	46
Figura 26 – Gráfico de equilíbrio ácido base do voluntário nº12	47
Figura 27 – Gráfico de equilíbrio ácido base do voluntário nº13	48
Figura 28 – Gráfico de equilíbrio ácido base do voluntário nº14	49
Figura 29 – Gráfico de equilíbrio ácido base do voluntário nº15	50
Figura 30 – Gráfico de equilíbrio ácido base do voluntário nº16	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Analise estatística para a variável fisiológica pH	27
Tabela 2 – Analise estatística para a variável fisiológica ABE	28
Tabela 3 – Analise estatística para a variável fisiológica $p\text{CO}_2$	29
Tabela 4 – Analise estatística para a variável fisiológica ctCO_2	30
Tabela 5 – Analise estatística para a variável fisiológica lactato	31
Tabela 6 – Analise estatística para a variável fisiológica bicarbonato	32
Tabela 7 – Analise estatística para a variável fisiológica frequência cardíaca	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IMC: Índice de massa corporal.

pH: Potencial Hidrogeniônico.

ABE: Concentração de base titulável no sangue.

Lac: Concentração de lactato.

HCO_3^- : Concentração de bicarbonato.

pCO_2 : Pressão parcial de dióxido de carbono.

ctCO_2 : Concentração total de dióxido de carbono no sangue.

FC: Frequência cardíaca.

H^+ : Íons Hidrogênio.

pK_a : Constante de ionização.

H_2O : Água.

CO_2 : Dióxido de carbono.

H_2CO_3 : Ácido carbônico.

pO_2 : Pressão parcial de oxigênio.

NAD^+ : Nicotinamida adenina dinucleotídeo.

μL : microlitros.

mmol/L : milimol por litro.

mmHg : milímetros de mercúrio.

mg/dL : miligramas por decilitro.

Bpm: Batimentos por minuto.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Sistema aeróbio e trocas gasosas	17
1.2 Sistema anaeróbio e produção de lactato	17
1.3 Sistema Tamponante do Sangue	18
1.4 Transporte do dióxido de carbono como íon bicarbonato	19
2 OBJETIVO	20
3 MATERIAIS E METODOS	21
3.1 infra-estrutura	21
3.2 voluntários	21
3.3 orientações	21
3.4 protocolo	21
3.5 experimento	22
3.6 amostra e coleta	22
3.7 análise das amostras	23
3.8 dados	24
3.9 capilares de vidro	24
3.9.1 materiais para produção do capilar	24
3.9.2 torre de produção de capilares (torre de “puxamento”)	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1 pH	27

4.2 ABE	28
4.3 pCO ₂	29
4.4 ctCO ₂	30
4.5 Lactato	31
4.6 HCO ₃ ⁻	32
4.7 Frequência Cardíaca	33
4.8 Gráfico ácido base de Siggaard-Andersen	35
5 CONCLUSÃO	52
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

1. INTRODUÇÃO

O homem interage com meio ambiente através da ingestão e excreção de líquidos, alimentos e por meio de trocas gasosas com o ar atmosférico garantindo o reparo de células danificadas (remodelamento tecidual) e o suprimento adequado de energia. Para satisfazer essa demanda energética o organismo produz energia a partir da oxidação de substratos (carboidratos, gorduras e proteínas) com produção dos resíduos água e dióxido de carbono. O dióxido de carbono é eliminado pelos pulmões e a água retida para colaborar na manutenção do equilíbrio hídrico do organismo sendo eliminada, quando necessário, por transpiração para garantir constante a temperatura corporal interna. Todos os compartimentos do organismo estão em equilíbrio, seja eletrolítico (eletrólitos), de concentração (metabólitos) ou pressão (gases). (WILMORE; COSTILL, 2004).

O transporte desses compostos no sangue se dá no sistema circulatório e são extremamente sensíveis as variações da concentração dos solutos ou da pressão parcial dos gases, os quais refletem no potencial hidrogeniônico (pH), que no líquido extracelular varia entre 7,38 e 7,42. Se esses valores ultrapassarem os limites de 6,90 e 7,80 a vida do ser humano se torna ameaçada devido às decorrentes alterações cardíacas, metabólicas e do sistema nervoso central. A existência de sistemas tampão de regulação mantém os valores normais do pH, onde substâncias extras ou intracelulares atuam instantaneamente ao menor sinal de variação nas concentrações dos ácidos e bases; Essas reações químicas impedem grandes variações do pH plasmático limitando o aumento na concentração de H^+ e como consequência impedindo a queda do pH (LEHNINGER, 2006).

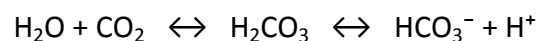
Os tampões químicos são considerados temporários, isto é, atuam de forma passiva, imediatamente após aumento dos ácidos produzidos no metabolismo e são representados pelos ânions bicarbonato e fosfato, pela proteína hemoglobina e por outras proteínas hidrofóbicas que possuem os aminoácidos polares com carga negativa como glutamato (Glu) e aspartato (Asp); Os tampões biológicos, que corrigem as alterações metabólicas definitivamente, exercem controle da ventilação, a qual é sensível a alteração da pressão parcial de dióxido de carbono, e

pelos rins, através da eliminação gradual da carga de ácidos pela urina com simultânea regeneração de bicarbonato (MAUGHAN; GLEESON; GREENHAFF, 2000).

Como o pH da maioria dos líquidos corporais é aproximadamente 7,4, os tampões com o valor de pK_a entre 6 e 8 são os mais eficazes e com a grande capacidade tamponante do sangue, é possível a coexistência de quantidades de íons H^+ acima do normal, com pequenas modificações na sua concentração plasmática, pois esses íons H^+ excedentes ficariam presos aos tampões, como durante um exercício físico vigoroso. (MAUGHAN *et al.*, 2007).

O ânion fosfato ($pK_a = 6,8$) apresenta participação discreta na manutenção do equilíbrio ácido-base, entretanto seu pK_a é o mais próximo do pH sanguíneo, permitindo que o sistema fosfato opere o mais próximo de sua capacidade máxima. As proteínas possuem poder tamponante significativo em pH fisiológico participando de maneira decisiva na manutenção da homeostasia do organismo, entre elas as que se destacam são as proteínas que possuem em sua estrutura os aminoácidos aspartato e glutamato com pK_a de ambos entre 4,0 – 5,5 quando ligados a um grupo R, formando uma proteína.

O ânion bicarbonato ($pK_a = 6,1$) é relatado como o principal composto tampão durante o exercício físico devido ao transporte de dióxido de carbono e a reação de adição com os cátions H^+ provindos do metabolismo anaeróbio. (MCARDLE *et al.*, 2003).



O papel fundamental desempenhado pela hemoglobina na manutenção do pH plasmático é a liberação de Oxigênio e captação do H^+ à medida que a pO_2 diminui (hipóxia) e a concentração de H^+ aumenta, ou seja, condições encontradas nos tecidos e nos alvéolos pulmonares em condições normais e progressivamente acentuada durante o exercício físico incremental. (VOET *et al.*, 2000).

1.1 Sistema aeróbio e trocas gasosas

As trocas gasosas em animais evidenciam a dinâmica metabólica corrente em seus organismos em diversas situações comportamentais, entre elas a complexa manutenção da vida, com o intermitente consumo de substratos energéticos obtidos em sua dieta e o perene consumo de oxigênio. Situações extremas como a possibilidade iminente de lesão física ou a necessidade instantânea de obtenção de energia para a caça (atualmente observada apenas em animais selvagens) na qual o ciclo entre os momentos de fartura alimentar é maior e o ciclo entre trocas gasosas é extremamente baixo, aumenta muito o consumo de oxigênio e ao mesmo tempo a conseqüente eliminação de dióxido de carbono, proveniente da oxidação das reservas estruturais (tecido adiposo e hepático) para produção de energia aeróbia. Esta situação de dependência obrigatória entre os gases apresenta a fragilidade dos animais em relação ao meio em que vivem e sua interdependência com as plantas e algas que produzem o oxigênio necessário a vida aeróbia e consomem o dióxido de carbono produzido (RANDALL *et al*, 2000).

1.2 Sistema anaeróbio e produção de lactato:

De acordo com Maughan *et al.*, (2007) a glicólise, em última instância, produz o ácido pirúvico. Esse processo não exige oxigênio, mas o uso deste determina o destino do ácido pirúvico formado pela glicose. A ausência de oxigênio estimula a redução do piruvato em lactato, para garantir o tamponamento dos íons hidrogênio que se acumulam no interior da célula e para regenerar o NAD^+ , como descrito anteriormente.

No sangue é possível a determinação de um limiar anaeróbio através principalmente das concentrações de lactato e bicarbonato durante exercício físico progressivo, evidenciado por uma concentração crescente do lactato e uma concentração decrescente do bicarbonato durante tal exercício. O limiar anaeróbio é um dos parâmetros freqüentemente utilizados por fisiologistas do exercício para montar um programa de treinamento para indivíduos que procuram melhorar seu condicionamento físico ou para os atletas em geral. Segundo McArdle *et al.*, (2003) este limiar anaeróbio é o momento, em relação à intensidade do esforço físico ou

consumo de oxigênio, quando a produção de ATP é suplementada pela produção anaeróbia, com formação de lactato, evidenciado pelo limiar de lactato.

O limiar de lactato representa um ponto durante o teste de esforço graduado no qual a concentração de lactato do sangue aumenta abruptamente. Sua mensuração proporciona um indicador sensível do estado de treinamento aeróbio, permite prever o desempenho de endurance com exatidão e estabelece uma intensidade efetiva do treinamento, relacionada à dinâmica metabólica aeróbia dos músculos esqueléticos ativos.

1.3 Sistema Tamponante do Sangue

O bicarbonato é o composto-tampão mais significativo no sangue humano, entre outros agentes tamponantes, incluindo proteínas e fosfatos, estes últimos estão presentes em concentrações muito mais baixas. A capacidade tamponante do sangue depende principalmente de dois equilíbrios acelerados pela enzima anidrase carbônica: (1) entre o dióxido de carbono gasoso dissolvido no sangue e o ácido carbônico formado e (2) entre o ácido carbônico e o bicarbonato formado pela dissociação de hidrogênio.

Quando o pH do sangue cai devido ao aumento de íons hidrogênio, o equilíbrio entre o bicarbonato e o ácido carbônico desloca-se mais em direção ao ácido carbônico. Ao mesmo tempo, o ácido carbônico perde água para se tornar dióxido de carbono que está dissolvido no plasma, o qual é expirado dos pulmões como dióxido de carbono gasoso. Quando o pH do sangue aumenta, relativamente mais bicarbonato é formado, tornando o sangue mais alcalino.

Assim a respiração é ajustada de forma que quantidades aumentadas de dióxido de carbono nos pulmões possam ser reintroduzidas no sangue para conversão em ácido carbônico e uma concentração de íon hidrogênio quase constante pode ser mantida (VOET *et al.*, 2000).

1.4 Transporte do dióxido de carbono como íon bicarbonato

O dióxido de carbono produzido pelos tecidos ativos, através da respiração aeróbia, é transportado por difusão para os vasos capilares e posteriormente para o sangue venoso, sendo que 10% estão dissolvidos no plasma e sua maior parte, 90% permanece no interior das hemácias, na seguinte proporção: 65% combinado com a água na forma de ácido carbônico, 20% na forma de compostos carbamino, dióxido de carbono ligado à hemoglobina, e 5% como dióxido de carbono dissolvido, ou seja, a maior parte de dióxido de carbono se combina com a água para formar ácido carbônico. Depois que o ácido carbônico é formado nos tecidos, a maior parte é ionizada para cátions de hidrogênio e ânions bicarbonato. Este ânion bicarbonato formado no interior da hemácia é posteriormente deslocado para o plasma, enquanto que o ânion cloreto penetra no interior da hemácia, a fim de manter o equilíbrio iônico. Esse fenômeno, denominado desvio do cloro, faz com que o conteúdo em ânions cloreto das hemácias no sangue venoso ultrapasse aquele das hemácias no sangue arterial, particularmente durante o exercício. (MCARDLE *et al.*, 2003).

A combinação da água (citossólica, plasmática e intersticial) com o dióxido de carbono (vias metabólicas e principalmente ciclo de Krebs) forma ácido carbônico nos capilares e sua imediata dissociação permite o transporte do dióxido de carbono na forma de íon bicarbonato das células musculares ativas até os alvéolos onde é expirado (VOET *et al.*, 2000).

Níveis diminuídos de íons bicarbonato, no sangue, são característicos de uma acidose metabólica, situação encontrada em exercícios incrementais onde é observado um aumento gradual e posteriormente exponencial do metabólito lactato ou em hipocapnia (alcalose respiratória) resultado da hiperventilação, ou seja, a ventilação alveolar aumenta sem o aumento recíproco da produção metabólica de CO₂ (SILVERTHORN *et al.*, 2003).

2. OBJETIVO

Analisar variáveis fisiológicas relacionadas á manutenção do equilíbrio ácido-base corporal de modo a verificar o comportamento desse equilíbrio a partir de amostras de sangue capilar coletadas durante exercício físico progressivo, em universitários ativos e atletas da UFSCar e buscar uma tecnologia adequada à produção em série de capilares de vidro de 100 µL de volume para utilização em análise de parâmetros hematológicos em humanos que atenda as dimensões físicas do equipamento “Analisador de Gases ABL 800 Flex” (Radiometer).

3. MATERIAIS E METODOS

3.1 INFRA-ESTRUTURA

Os testes foram realizados no Laboratório de Fisioterapia Cardiovascular da UFSCar localizado nas dependências da Santa Casa de Misericórdia de São Carlos, com a colaboração do acadêmico Rafael Natívio.

3.2 VOLUNTÁRIOS

Os voluntários selecionados foram universitários ativos e atletas da UFSCar, com idade entre 20 e 30 anos, saudáveis e não utilizando qualquer tipo de medicamento. Praticantes de atividade física regular, entre duas e cinco vezes por semana.

3.3 ORIENTAÇÕES

Os voluntários foram orientados a manter a ingestão mínima de 2 litros de água por dia durante as 48h que antecedem ao teste e a evitar o treinamento físico vigoroso neste período. Todos receberam orientação quanto as técnicas e riscos metodológicos empregados durante a execução da pesquisa e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido.

3.4 PROTOCOLO

Todos os testes foram realizados no período da tarde entre 16:00h e 19:00h com temperatura ambiente controlada em 24 graus Celsius, sendo a primeira coleta realizada em repouso com posterior início do exercício em intensidade de 50 Watts de carga no ciclo ergômetro, com duração de 3 minutos em cada estágio (Protocolo adaptado de Balke para ciclo ergômetro)*, seguido de um incremento de carga de

50 em 50 Watts até a exaustão voluntária não estimulada. A recuperação passiva de seis minutos entre cada incremento de carga foi utilizada de modo a satisfazer as necessidades operacionais do equipamento utilizado (Analisador de gases), o qual está localizado um andar acima do laboratório de Fisioterapia Cardiovascular e utiliza cerca de três minutos para a análise da amostra.

*Protocolo de Balke para ciclo ergômetro: Incremento de carga de 25 em 25 Watts a cada dois minutos até a exaustão voluntária.

3.5 EXPERIMENTO

O início dos testes ocorreu após a aprovação do Comitê de Ética em Pesquisas em Seres Humanos da UFSCar sob o Parecer Nº 149/2008, CAAE 0154.0.135.000-07. Utilizou-se uma bicicleta ergométrica ErgoCycle/167 para a realização da atividade física e um frequencímetro cardíaco POLAR/S-150. Durante sua realização foram utilizados luvas de látex, lancetas (punção capilar), capilares de vidro (coleta do sangue capilar), algodão e álcool (limpeza das digitais).

3.6 AMOSTRA E COLETA

As amostras sanguíneas foram obtidas a partir de sangue capilar após punção digital dos dedos da(s) mão(s) dos voluntários, com exceção do dedo mínimo (contra indicado devido à menor circulação periférica) e coletadas da polpa digital dos dedos da mão, seguindo a mesma ordem em todos os voluntários: Dedo nº 4, nº 3, nº 2 e nº 1 da mão direita e quando necessário os dedos da mão esquerda.

Figuras 1 e 2: Demonstração da forma de coleta do sangue capilar através de punção digital.



Fonte: Figuras elaboradas pelo autor.

3.7 ANÁLISE DAS AMOSTRAS

As amostras foram analisadas em um Analisador de Gases ABL 800 Flex da marca Radiometer, de propriedade da Unilab (Unimed laboratórios), e mensurado os valores de gases no sangue, oximetria, eletrólitos e metabólitos.

Figura 3: Analisador de Gases ABL 800 Flex.



Fonte: Figura elaborada pelo autor.

3.8 DADOS

Os dados obtidos durante os testes foram organizados em planilhas do *software EXCEL – 2007*, o nível de significância adotado foi de 5% ($p \leq 0,05$) e os dados posteriormente analisados com a ferramenta estatística ANOVA: fator único e posteriormente Teste-T: duas amostras em par para médias.

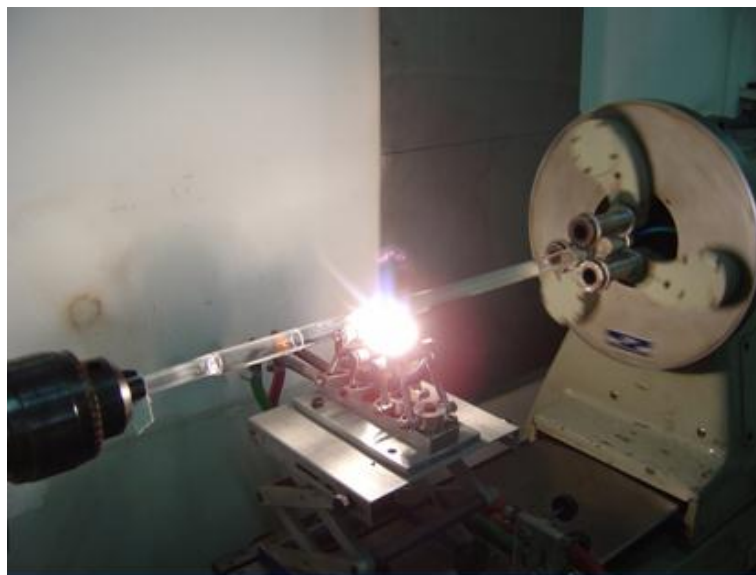
3.9 CAPILARES DE VIDRO

A produção de tubos capilares de sílica fundida para utilização em análise hematológica foi desenvolvida no Departamento de Química Geral e Inorgânica do Instituto de Química de Araraquara da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 14801-970 Araraquara - SP, Brasil por Ferminio César Polachini integrado a um projeto FAPESP / PIPE-07/59649 e a empresa Microtube.

3.9.1 MATERIAIS PARA PRODUÇÃO DO CAPILAR

Argônio da Air Products (Araraquara, Brasil) e tubos de sílica fundida denominados comercialmente como Suprasil F 300 adquiridos de Heraeus Quartzglas (Hanau, Alemanha) com as seguintes dimensões: 1000 mm de comprimento, 19 mm de diâmetro interno (D.I.) e 31 mm de diâmetro externo (D.E.).

Figura 4: Fundição do tubo de sílica (Suprasil F 300).

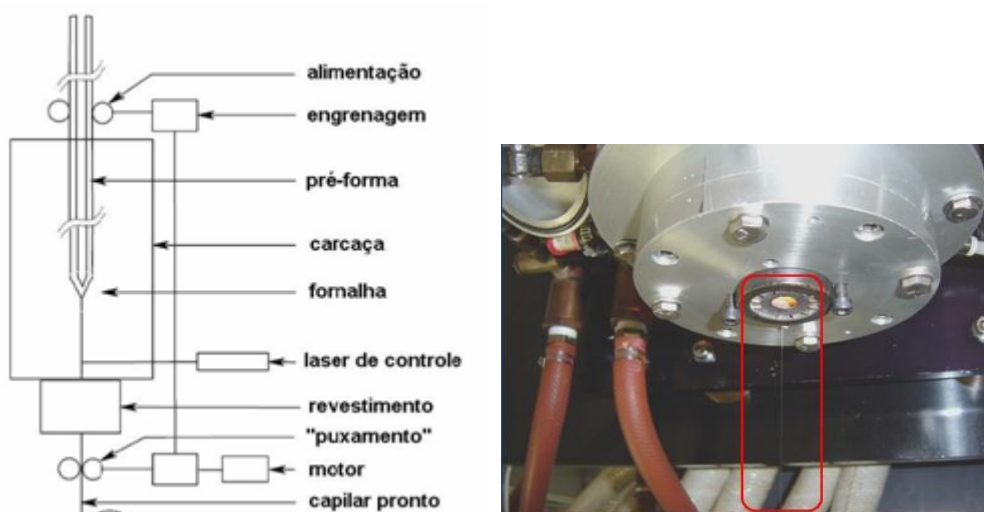


Fonte: Cedida por Ferminio César Polachini (IQ/Unesp – Araraquara).

3.9.2 TORRE DE PRODUÇÃO DE CAPILARES (TORRE DE “PUXAMENTO”)

A torre de “puxamento” instalada no IQ da Unesp-Araraquara foi utilizada na produção dos tubos capilares onde a temperatura de fusão variou de 1850 °C a 2050 °C e a velocidade de puxamento foi de 8 m/min. O esquema do processo (adaptado) é mostrado nas figuras 5 e 6.

Figuras 5 e 6: Esquema da torre de puxamento de capilares de sílica e fibras ópticas.



Fonte: Cedida por Ferminio César Polachini (IQ/Unesp – Araraquara).

4. RESULTADOS e DISCUSSÃO

No total 20 voluntários participaram da pesquisa dos quais dezesseis cumpriram as exigências e orientações impostas pelo pesquisador, sendo quatro voluntários desconsiderados para efeito de análise estatística por motivos diversos, entre eles o não cumprimento das orientações prévias ao experimento. Dos dezesseis voluntários treze são universitários ativos (5 mulheres e 8 homens) e três atletas amadores da UFSCar com idade entre 20 e 30 anos 25 ± 2 , e índice de massa corporal 24 ± 4 .

Esses voluntários foram divididos em três grupos, sendo que o grupo 1 é composto predominantemente de mulheres ativas, com apenas um voluntário do sexo masculino, o grupo 2 possui uma voluntária do sexo feminino, sendo os demais do sexo masculino e também ativos e o grupo 3 formado por homens atletas.

Foi realizada análise estatística para cada grupo separadamente (ANOVA: fator único) e posteriormente entre os integrantes de cada grupo (Teste-T: duas amostras em par para médias) apresentada a seguir em forma de tabela e figura (gráfico). Os gráficos e tabelas são referentes aos valores (**médios \pm desvio padrão**) da variável em questão e apresentam o seguinte padrão visual em todas as figuras: O anexo 3 apresenta um modelo a partir do qual foram construídas as tabelas e figuras.

Para as sete figuras representadas na forma de gráficos em linha foram definidas as seguintes legendas:

1º – O grupo 1, apresentado nos gráficos na cor azul, compreende os voluntários que realizaram o teste até a intensidade de 150 watts de potência.

2º – O grupo 2, apresentado nos gráficos na cor vermelha, compreende os voluntários que realizaram o teste até a intensidade de 200 watts de potência.

3º – O grupo 3, apresentado nos gráficos na cor verde, compreende os voluntários que realizaram o teste até a intensidade de 250 watts de potência.

4.1 Variação do pH: A medida do pH não apresenta unidade, sendo expressa em número absoluto.

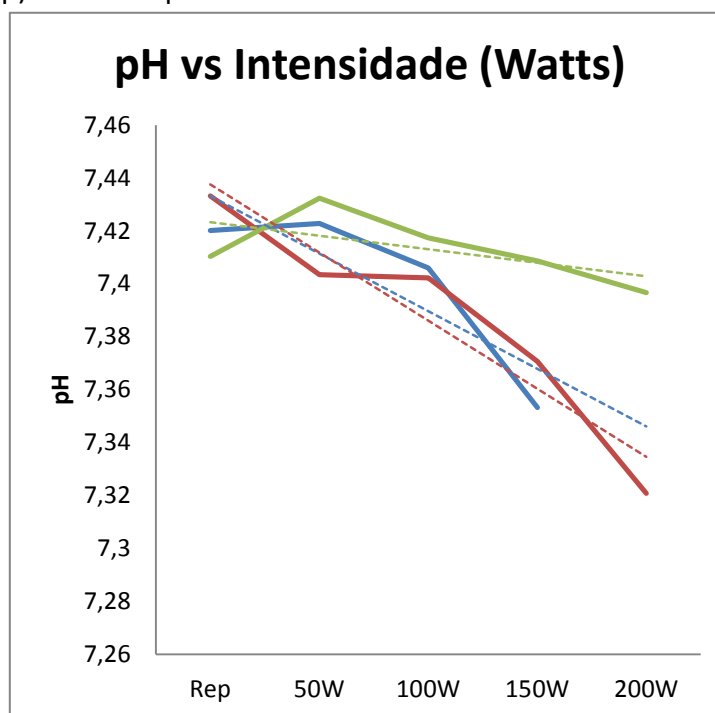
Tabela 1: Análise estatística para a variável fisiológica pH.

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Repouso	7,42 ± 0,02	7,43 ± 00,2	7,41 ± 0,005
50W	7,42 ± 0,02	7,40 ± 0,05	7,43 ± 0,01 ^a
100W	7,41 ± 0,01	7,40 ± 0,06	7,42 ± 0,02
150W	7,35 ± 0,04 ^{abc}	7,37 ± 0,06 ^{abc}	7,41 ± 0,02 ^b
200W		7,42 ± 0,06 ^{abcd}	7,40 ± 0,03
250W			7,36 ± 0,02 ^{abcd}
Anova	0,002	0,003	0,008

Teste-T: a vs 0, b vs 50, c vs 100, d vs 150

Fonte: Tabela elaborada pelo autor.

Figura 7: Análise do pH durante exercício físico incremental partindo do repouso (Rep). As linhas pontilhadas se referem as “Linhas de Tendência”.



Fonte: Figura elaborada pelo autor.

O pH indica a acidez ou alcalinidade da amostra e é sensível a concentração de metabólitos como o lactato e a concentração de gases como o dióxido de carbono. A função normal de muitos processos metabólicos necessita que o pH esteja dentro de uma faixa relativamente estreita, entre 7,38 e 7,42 para um adulto, apesar das

amplas variações dietéticas de ácidos e bases. Juel, (2008) propõe a liberação de lactato e íons hidrogênio, durante exercício de alta intensidade, como um mecanismo envolvido na variação do pH muscular. A manutenção do pH dentro desta faixa é garantida pela existência de sistemas tampão de regulação química ou biológica (CASTRO; MIGUEL JUNIOR, 2004).

4.2 Variação do ABE: O “Base Excess” ou excesso de base é expresso em mmol/L.

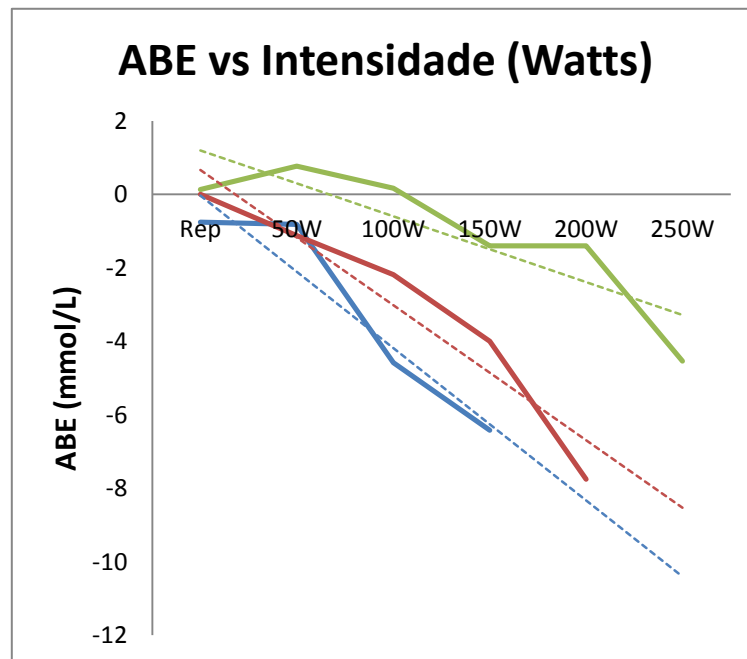
Tabela 2: Análise estatística para a variável fisiológica ABE.

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Repouso	-0,76 ± 1,13	4,16 ± 1,44	0,13 ± 0,31
50W	-0,82 ± 1,77	-1,13 ± 3,46	0,77 ± 0,68
100W	-4,58 ± 4,41	-2,19 ± 3,85 ^b	0,17 ± 0,50
150W	-6,42 ± 3,91 ^{ab}	-4,00 ± 3,40 ^{abc}	-1,40 ± 1,21
200W		-7,75 ± 3,17 ^{abcd}	-1,40 ± 0,96 ^{bc}
250W			-4,53 ± 0,35 ^{abce}
Anova	0,025	<0,001	<0,001

Teste-T: a vs 0, b vs 50, c vs 100, d vs 150, e vs 200

Fonte: Tabela elaborada pelo autor.

Figura 8: Análise do ABE durante exercício físico incremental partindo do repouso (Rep). As linhas pontilhadas se referem as “Linhas de Tendência”.



Fonte: Figura elaborada pelo autor.

ABE é o excesso de base real disponível no sangue que representa a capacidade de tamponamento químico total do sangue e possui caráter temporário de ação, compreendendo o bicarbonato, hemoglobina, proteínas e fosfatos plasmáticos (CASTRO; MIGUEL JUNIOR, 2004).

4.3 Variação da pCO₂: A pressão parcial de dióxido de carbono é expressa em mmHg.

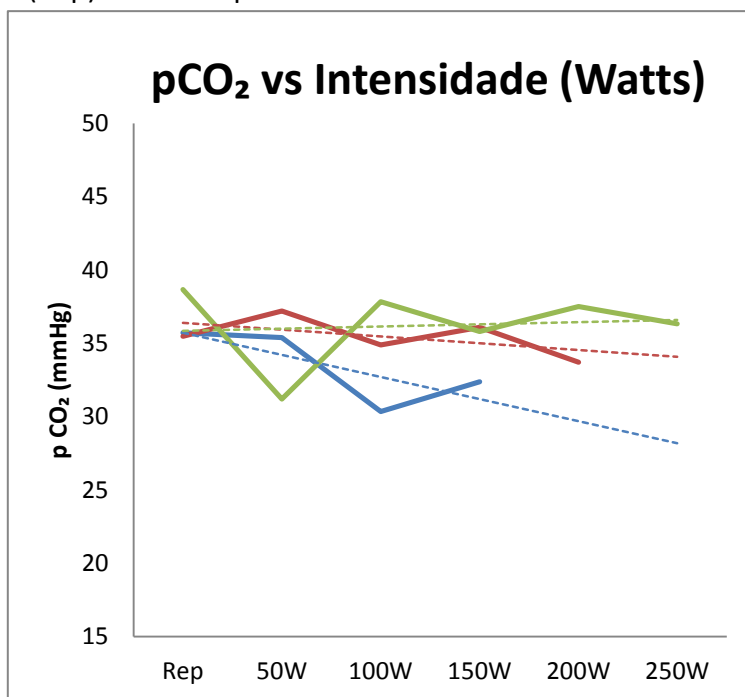
Tabela 3: Análise estatística para a variável fisiológica pCO₂.

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Repouso	35,72 ± 3,58	35,48 ± 2,61	38,67 ± 1,18
50W	35,38 ± 5,27	37,19 ± 2,03 ^a	31,20 ± 10,45
100W	30,34 ± 8,20	34,89 ± 1,86 ^b	37,83 ± 1,98
150W	32,38 ± 4,85	36,08 ± 1,71 ^b	35,80 ± 2,07
200W		33,70 ± 2,13	37,50 ± 2,84
250W			37,20 ± 4,67
Anova	0,42	0,03	0,50

Teste-T: a vs 0 e b vs 50

Fonte: Tabela elaborada pelo autor.

Figura 9: Análise da pCO₂ durante exercício físico incremental partindo do repouso (Rep). As linhas pontilhadas se referem as “Linhas de Tendência”.



Fonte: Figura elaborada pelo autor.

O dióxido de carbono se difunde facilmente através das membranas celulares e pode ser considerado como sendo zero no ar inspirado normal. Desse modo, pCO_2 é um reflexo direto da adequação da ventilação alveolar em relação à taxa metabólica (LUNDSTROM, 2000). A eliminação do dióxido de carbono através do controle da ventilação, exercido pelos pulmões, representa um tamponamento biológico sem resíduos metabólicos, sendo considerado definitivo.

4.4 Variação da $ctCO_2$: A concentração total de dióxido de carbono é expressa em mmol/L.

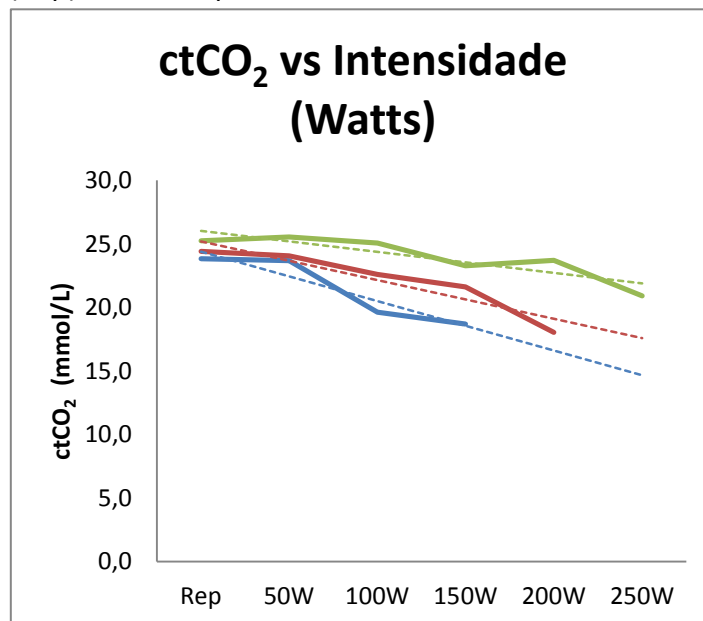
Tabela 4: Análise estatística para a variável fisiológica $ctCO_2$

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Repouso	23,8 ± 1,7	24,4 ± 1,5	25,2 ± 0,6
50W	23,7 ± 2,7	24,1 ± 2,9	25,5 ± 0,7
100W	19,6 ± 5,3	22,6 ± 3,0 ^b	25,1 ± 0,1
150W	18,7 ± 3,7	21,6 ± 2,4 ^{abc}	23,3 ± 1,3
200W		18,0 ± 2,1 ^{abcd}	23,7 ± 0,8
250W			20,9 ± 1,1 ^{abc}
Anova	0,08	< 0,001	< 0,001

Teste-T: a vs 0, b vs 50, c vs 100, d vs 150

Fonte: Tabela elaborada pelo autor.

Figura 10: Análise da $ctCO_2$ durante exercício físico incremental partindo do repouso (Rep). As linhas pontilhadas se referem as “Linhas de Tendência”.



Fonte: Figura elaborada pelo autor.

Concentração total de dióxido de carbono no sangue é a soma da concentração de dióxido de carbono ligado a hemoglobina (compostos carbamino) mais a concentração de dióxido de carbono dissolvido fisicamente no plasma.

4.5 Variação da concentração de lactato: Expressa em mg/dL.

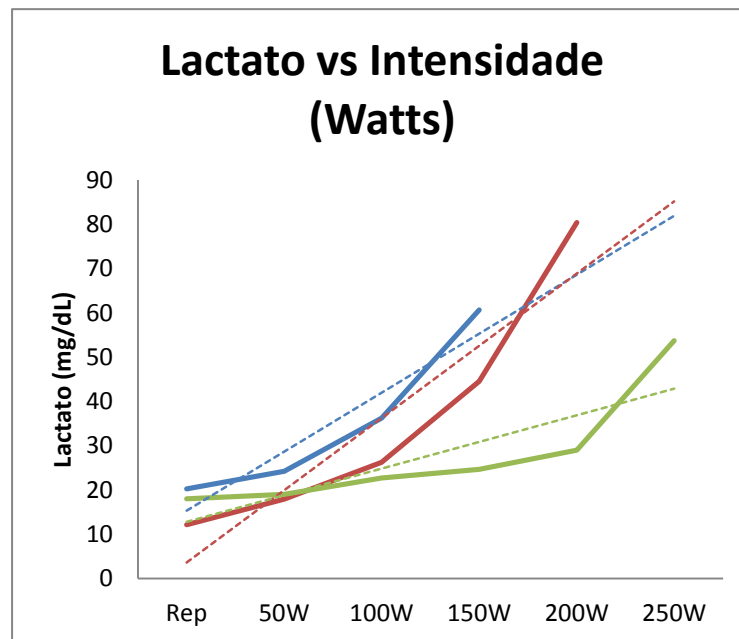
Tabela 5: Análise estatística para a variável fisiológica lactato.

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Repouso	20,2 ± 8,93	12,13 ± 3,68	18 ± 4,58
50W	24,2 ± 5,4	17,88 ± 6,66 ^a	19 ± 5,29
100W	36,2 ± 9,01 ^{ab}	26,25 ± 9,36 ^{ab}	22,67 ± 9,07
150W	60,6 ± 25,46 ^{abc}	44,5 ± 7,91 ^{abc}	24,67 ± 10,69
200W		80,38 ± 6,59 ^{abcd}	29 ± 5,57
250W			53,67 ± 4,51 ^{abcde}
Anova	0,002	<0,001	<0,001

Teste-T: a vs 0, b vs 50, c vs 100, d vs 150, e vs 200

Fonte: Tabela elaborada pelo autor.

Figura 11: Análise da concentração de lactato durante exercício físico incremental partindo do repouso (Rep). As linhas pontilhadas se referem as “Linhas de Tendência”.



Fonte: Figura elaborada pelo autor.

O suprimento inadequado de oxigênio ou uma demanda energética acima da capacidade oxidativa mitocondrial irá determinar, na maioria das células do corpo, produção de quantidades excessivas de lactato, ocasionada pela fermentação do piruvato. Boning et al, (2007) realizou teste incremental em ciclo ergômetro, partindo do repouso até a intensidade de 250 watts, e encontrou crescimento da concentração de lactato no plasma sanguíneo em intensidades acima de 150 watts, o que corrobora com os achados apresentados na figura 11.

4.6 Variação da concentração de bicarbonato: Expressa em mmol/L.

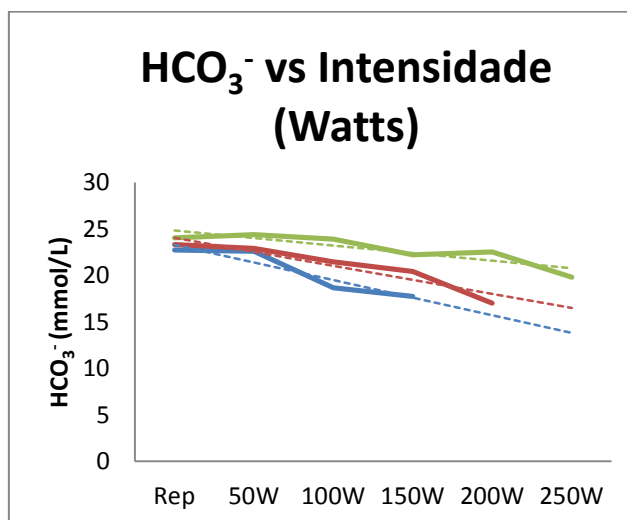
Tabela 6: Análise estatística para a variável fisiológica bicarbonato.

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Repouso	22,7 ± 1,6	23,3 ± 1,5	24,0 ± 0,6
50W	22,6 ± 2,6	22,9 ± 2,8	24,4 ± 0,6
100W	18,7 ± 5,1	21,5 ± 3,0 ^b	23,9 ± 0,1
150W	17,7 ± 3,6	20,4 ± 2,3 ^{abc}	22,2 ± 1,3
200W		17,0 ± 2,2 ^{abce}	22,5 ± 0,7
250W			19,8 ± 1,0 ^{abc}
Anova	0,072	<0,001	<0,001

Teste-T: a vs 0, b vs 50, c vs 100, d vs 150, e vs 200

Fonte: Tabela elaborada pelo autor.

Figura 12: Análise da concentração de bicarbonato (HCO_3^-) durante exercício físico incremental partindo do repouso (Rep). As linhas pontilhadas se referem as “Linhas de Tendência”.



Fonte: Figura elaborada pelo autor.

O bicarbonato (HCO_3^-) é calculado a partir dos valores medidos de pH e pCO_2 na equação de Henderson-Hasselbalch: $\text{pH} = \text{pK} + \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$ onde $[\text{HA}]$ representada à concentração do ácido na solução, neste caso CO_2 na forma de ácido carbônico H_2CO_3 e $[\text{A}^-]$ sua base conjugada (VOET *et al.*, 2000).

4.7 Variação da frequência cardíaca: Expressa em Bpm (Batimentos por minuto).

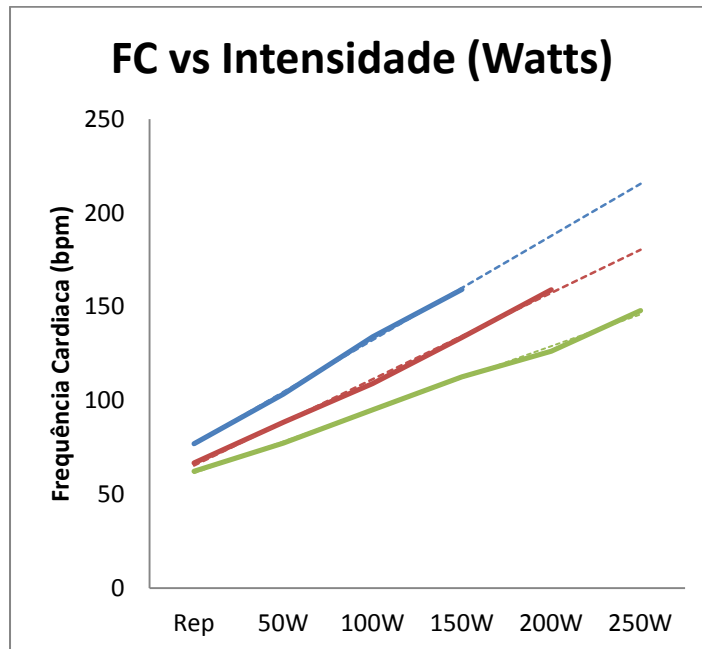
Tabela 7: Análise estatística para a variável fisiológica frequência cardíaca.

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Repouso	77 ± 14	67 ± 8	62 ± 10
50W	103 ± 20 ^a	88 ± 8 ^a	77 ± 8 ^a
100W	134 ± 24 ^{ab}	109 ± 10 ^{ab}	95 ± 10 ^{ab}
150W	159 ± 27 ^{abc}	134 ± 14 ^{abc}	113 ± 13 ^{abc}
200W		159 ± 12 ^{abcd}	126 ± 12 ^{abcd}
250W			148 ± 8 ^{abcde}
Anova	<0,001	<0,001	<0,001

Teste-T: a vs 0, b vs 50, c vs 100, d vs 150, e vs 200

Fonte: Tabela elaborada pelo autor.

Figura 13: Análise da frequência cardíaca durante exercício físico incremental partindo do repouso (Rep). As linhas pontilhadas se referem as “Linhas de Tendência”.



Fonte: Figura elaborada pelo autor.

O aumento da frequência cardíaca durante o exercício ocorre devido à demanda aumentada de oxigênio nos músculos esqueléticos e segundo Negrão e Barretos (2006) a taquicardia também ocorre com a ativação do componente simpático sobre o coração. Esta intensificação simpática ocorre de forma progressiva, proporcional à potência executada.

Hultman e Sahlin (1980) concluem que durante os estágios finais de um teste de exercício progressivo ocorre diminuição tanto do pH muscular quanto do pH sanguíneo, sobretudo em consequência do aumento da produção de ácido láctico pelo músculo. Os íons hidrogênio exercem sua influência fixando-se a moléculas e alterando seu tamanho e forma originais sendo que essa alteração pode mudar a função de uma enzima influenciando o metabolismo (JONES, 1980).

A combinação da água extracelular (plasmática e intersticial) com o dióxido de carbono, proveniente das vias metabólicas e principalmente ciclo de Krebs, forma ácido carbônico nos capilares e sua imediata dissociação permite o transporte do dióxido de carbono na forma de íon bicarbonato das células musculares ativas até os alvéolos onde é expirado (VOET *et al.*, 2000), é provável que o sistema tampão do bicarbonato seja o mais importante especulando-se até sua ingestão de modo a oferecer melhora no rendimento em alguns tipos de exercício (COSTILL *et al.* 1984).

Níveis diminuídos de íons bicarbonato, no sangue, são característicos de uma acidose metabólica, situação encontrada em exercícios incrementais onde é observado um aumento gradual e posteriormente exponencial do metabólito lactato ou em hipocapnia (alcalose respiratória) resultado da hiperventilação, ou seja, a ventilação alveolar aumenta sem o aumento recíproco da produção metabólica de CO₂ (SILVERTHORN *et al.*, 2003). Quando a concentração de ácido láctico no sangue aumenta, ocorre uma diminuição proporcional da concentração do bicarbonato sanguíneo (STRINGER; CASABURI; WASSERMAN, 1992).

4.8 Gráfico ácido base de Siggaard-Andersen: Apresenta oito áreas destacadas pelo autor, das quais serão analisadas cinco em especial. Estas possuem características próprias das situações metabólicas encontradas durante o modelo experimental deste trabalho:

1º - Área normal: Determinada pelo pH entre 7,35 e 7,45, pCO₂ entre 35 e 45 mmHg, ABE entre -2 e +2 mmol/L e [HCO₃⁻] entre 22 e 27 mmol/L.

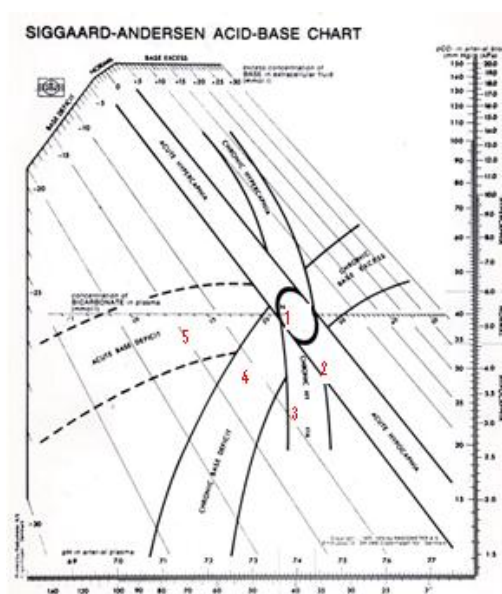
2º - Hipocapnia aguda: Apresenta valor de pCO₂ baixo em relação à área normal e ABE entre -2 e +2 mmol/L.

3º - Hipocapnia crônica: Apresenta valor de pCO₂ baixo em relação à área normal, ABE abaixo de -2 mmol/L, pH entre 7,35 e 7,45 e [HCO₃⁻] entre 22 e 28 mmol/L.

4º - Acidose metabólica crônica: Esta área é caracterizada por pH menor que 7,35, ABE abaixo de -2 mmol/L e pCO₂ menor que 40 mmHg.

5º - Acidose metabólica aguda: Área caracterizada principalmente pelo pH abaixo de 7,3 e [HCO₃⁻] menor que 20 mmol/L.

Figura 14: Gráfico de equilíbrio ácido base.



Fonte: Figura elaborada pelo autor.

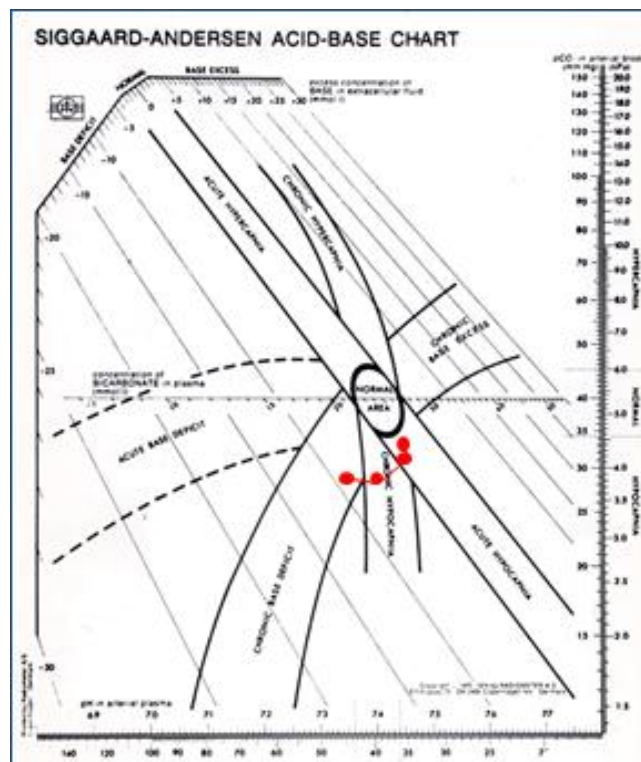
Voluntário 1

Sexo: Feminino Idade: 24 anos Grupo 1

Peso: 57,5 Kg Altura: 162 cm IMC: 22

Atividade: Praticante de Musculação 3 x semana

Figura 15: Gráfico de equilíbrio ácido base da voluntária nº 1.



Fonte: Figura elaborada pelo autor.

A voluntária nº 1 apresenta hipocapnia crônica no 3º estágio do teste, intensidade de 100 watts de potência, representado pelo ligeiro déficit de base e posteriormente no 4º estágio, intensidade de 150 watts de potência, acidose metabólica crônica com diminuição de pH e pouca alteração da concentração de bicarbonato.

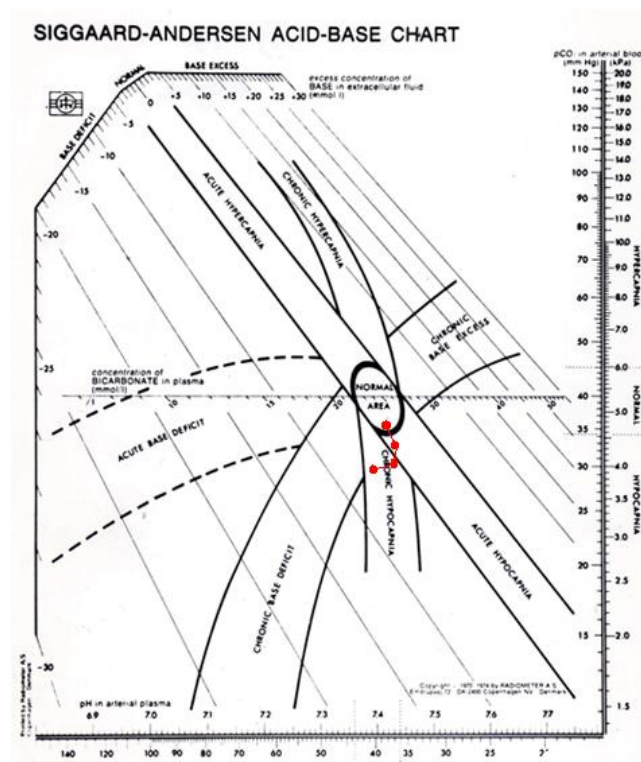
Voluntário 2

Sexo: Feminino Idade: 25 anos Grupo 1

Peso: 62 Kg Altura: 168 cm IMC: 22

Atividade: Praticante de ciclismo 4 x semana

Figura 16: Gráfico de equilíbrio ácido base da voluntária nº 2.



Fonte: Figura elaborada pelo autor.

A voluntária nº 2 apresenta hipocapnia crônica no 3º e 4º estágio do teste, intensidade de 100 e 150 watts de potência, representado pelo déficit de base e manutenção do pH e da concentração de bicarbonato dentro dos valores normais, indicando bom condicionamento físico através da prática do ciclismo (atividade predominantemente aeróbia) em relação aos demais membros do grupo.

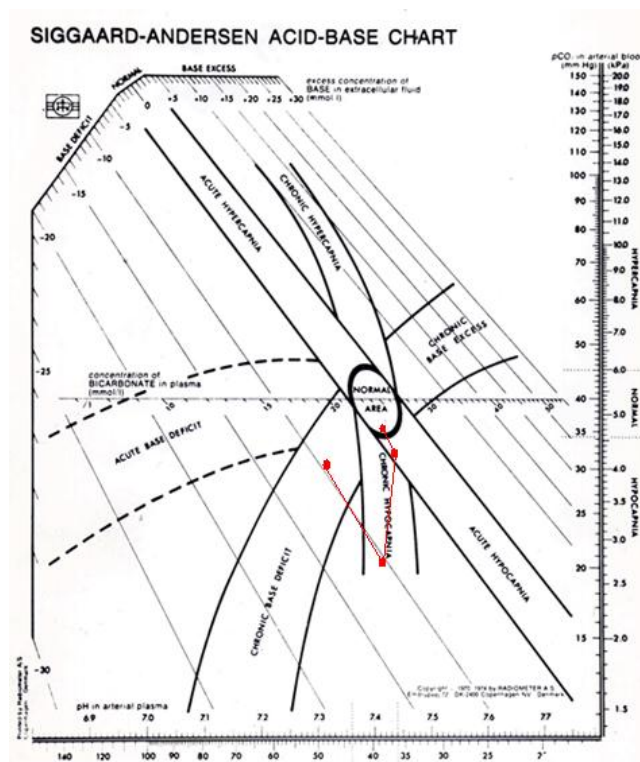
Voluntário 3

Sexo: Feminino Idade: 24 anos Grupo 1

Peso: 51 Kg Altura: 160 cm IMC: 20

Atividade: Dança 3 x semana

Figura 17: Gráfico de equilíbrio ácido base da voluntária nº 3.



Fonte: Figura elaborada pelo autor.

A voluntária nº 3 apresenta hipocapnia crônica no 3º estágio do teste, intensidade de 100 watts de potência, representado pelo déficit de base e manutenção do pH e da concentração de bicarbonato dentro dos valores normais e acidose metabólica crônica no 4º estágio do teste, 150 watts de potência, indicado pelo pH menor que 7,35 e leve alteração da concentração de bicarbonato.

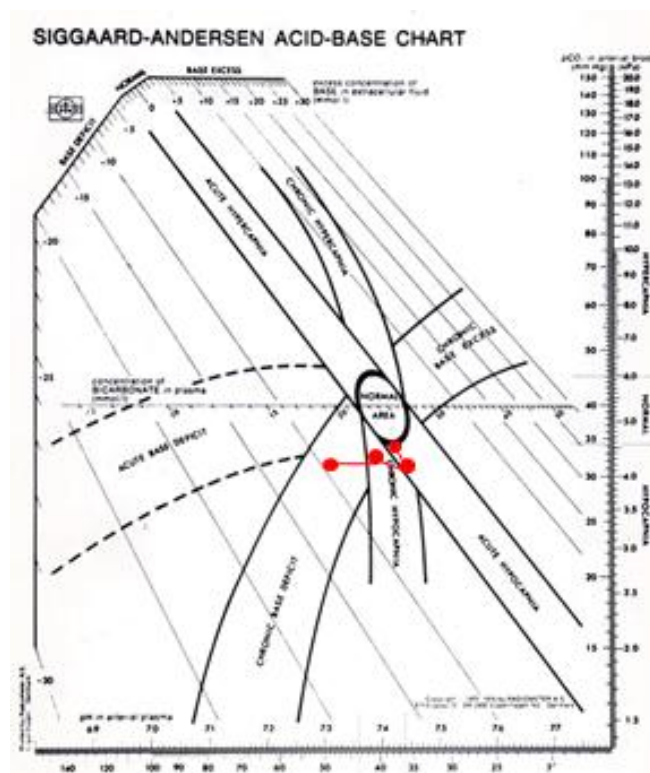
Voluntário 4

Sexo: Feminino Idade: 25 anos Grupo 1

Peso: 63 Kg Altura: 160 cm IMC: 25

Atividade: Praticante de Muay Thai 2 x semana

Figura 18: Gráfico de equilíbrio ácido base da voluntária nº 4.



Fonte: Figura elaborada pelo autor.

A voluntária nº 4 apresenta hipocapnia crônica no 3º estágio do teste, intensidade de 100 watts de potência, representado pelo déficit de base e manutenção do pH e da concentração de bicarbonato dentro dos valores normais e acidose metabólica crônica no 4º estágio do teste, intensidade de 150 watts de potência, indicado pelo pH menor que 7,35 e leve alteração da concentração de bicarbonato.

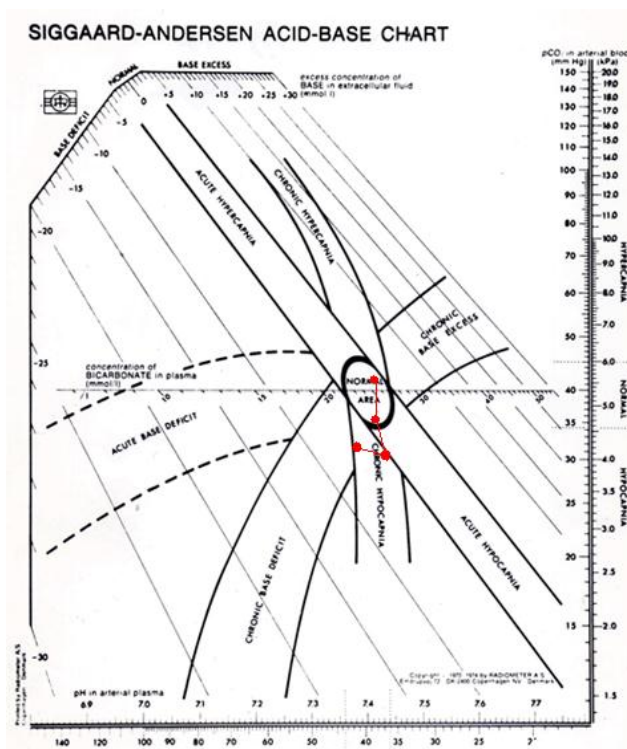
Voluntário 5

Sexo: Masculino Idade: 28 anos Grupo 1

Peso: 70 Kg Altura: 182 cm IMC: 21

Atividade: Praticante de corrida 4 x semana

Figura 19: Gráfico de equilíbrio ácido base do voluntário nº 5.



Fonte: Figura elaborada pelo autor.

O voluntário nº 5 apresenta hipocapnia crônica no 3º e 4º estágio do teste, intensidade de 100 e 150 watts de potência, representado pelo déficit de base e manutenção do pH e da concentração de bicarbonato dentro dos valores normais, apresentando sinais que entraria em acidose metabólica crônica com um pouco mais de esforço físico, indicando bom condicionamento físico através da prática de corrida (atividade predominantemente aeróbia) em relação aos demais membros do grupo.

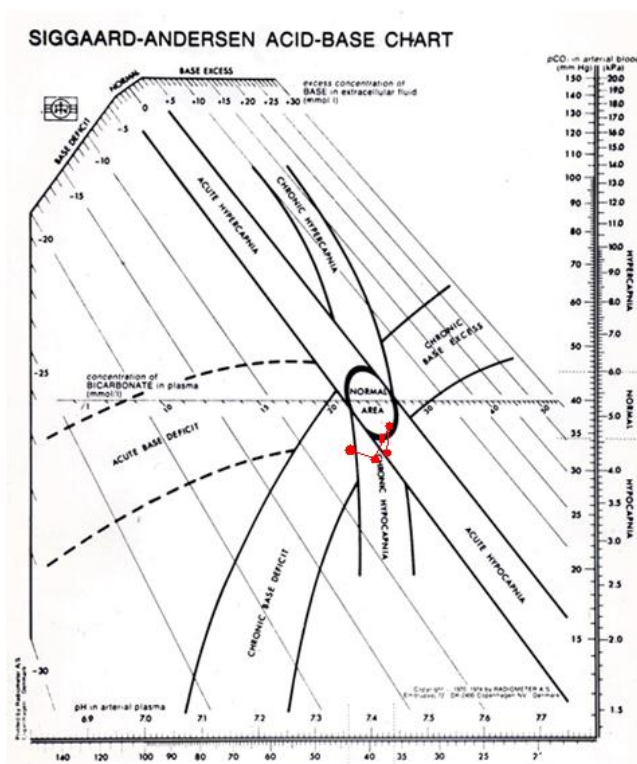
Voluntário 6

Sexo: Feminino Idade: 26 anos Grupo 2

Peso: 55 Kg Altura: 163 cm IMC: 21

Atividade: Praticante de ginástica 4 x semana

Figura 20: Gráfico de equilíbrio ácido base da voluntária nº 6.



Fonte: Figura elaborada pelo autor.

A voluntária nº 1 apresenta hipocapnia crônica no 4º estágio do teste, intensidade de 150 watts de potência, representado pelo ligeiro déficit de base e posteriormente no 5º estágio, intensidade de 200 watts de potência, acidose metabólica crônica com leve diminuição de pH e da concentração de bicarbonato, indicando bom condicionamento físico através da prática da ginástica (atividade predominantemente aeróbia), sendo observado nesta voluntária o melhor desempenho entre as mulheres.

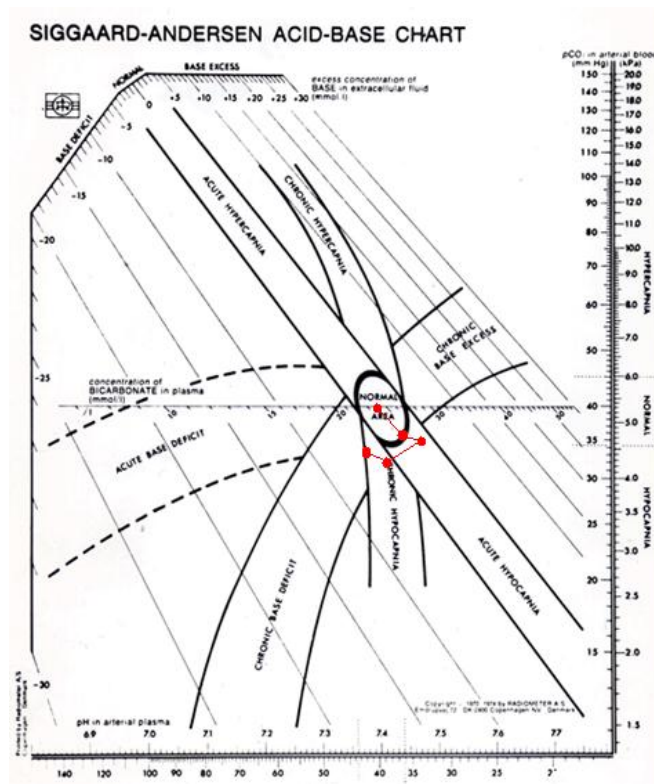
Voluntário 7

Sexo: Masculino Idade: 27 anos Grupo 2

Peso: 77 Kg Altura: 175 cm IMC: 25

Atividade: Ex atleta de futebol profissional.

Figura 21: Gráfico de equilíbrio ácido base do voluntário nº 7.



Fonte: Figura elaborada pelo autor.

O voluntário nº 7 apresenta hipocapnia crônica no 3º e 4º estágio do teste, intensidade de 150 e 200 watts de potência, representado pelo déficit de base e manutenção do pH e da concentração de bicarbonato dentro dos valores normais, indicando bom condicionamento físico mantido mesmo após a interrupção por mais de quatro anos da prática de futebol profissional (atividade mista aeróbia e anaeróbia).

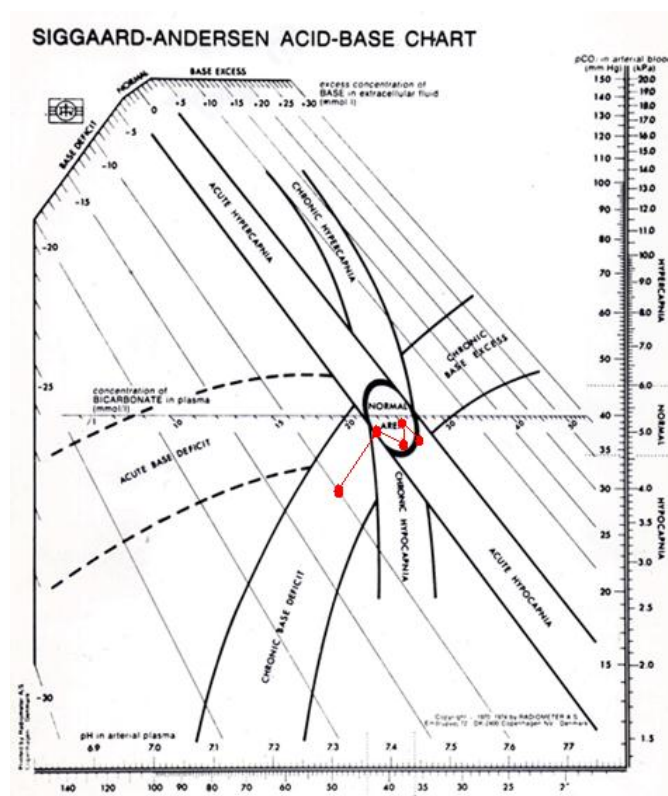
Voluntário 8

Sexo: Masculino Idade: 23 anos Grupo 2

Peso: 66 Kg Altura: 167 cm IMC: 24

Atividade: Praticante de Musculação 4 x semana

Figura 22: Gráfico de equilíbrio ácido base do voluntário nº 8.



Fonte: Figura elaborada pelo autor.

O voluntário nº 8 se mantém na área de normalidade durante os quatro primeiros estágios do teste, do repouso até a intensidade de 150 watts de potência, apresentando apenas no 5º estágio, intensidade de 200 watts de potência, acidose metabólica crônica indicado pelo pH menor que 7,35 e alteração da concentração de bicarbonato, o que demonstra bom condicionamento físico mesmo através da prática de musculação (atividade predominantemente anaeróbia).

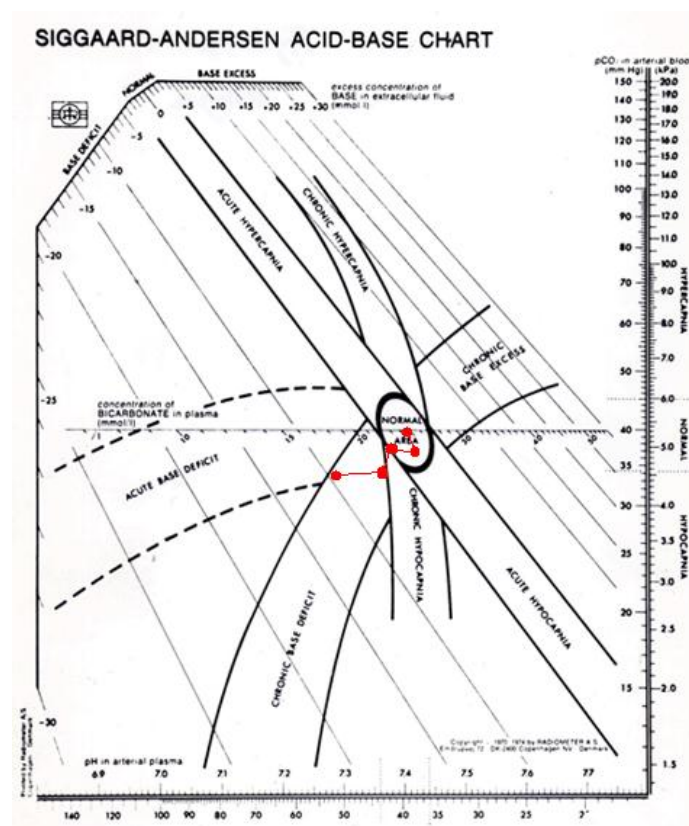
Voluntário 9

Sexo: Masculino Idade: 26 anos Grupo 2

Peso: 79,5 Kg Altura: 176 cm IMC: 26

Atividade: Praticante de ciclismo 3 x semana

Figura 23: Gráfico de equilíbrio ácido base do voluntário nº 9.



Fonte: Figura elaborada pelo autor.

O voluntário nº 9 se mantém na área de normalidade durante os três primeiros estágios do teste, do repouso até a intensidade de 100 watts de potência, apresentando no 4º e 5º estágio, intensidade de 150 e 200 watts de potência, acidose metabólica crônica indicado pelo pH menor que 7,35 e alteração da concentração de bicarbonato, o que demonstra bom condicionamento físico através da prática de ciclismo (atividade predominantemente aeróbia).

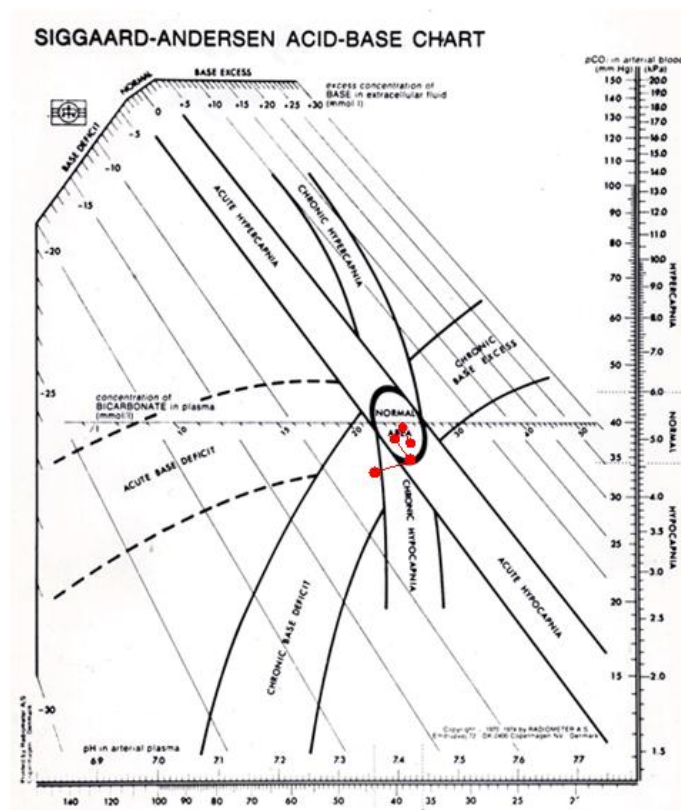
Voluntário 10

Sexo: Masculino Idade: 22 anos Grupo 2

Peso: 74 Kg Altura: 170 cm IMC: 26

Atividade: Praticante de pólo aquático 3 x semana

Figura 24: Gráfico de equilíbrio ácido base do voluntário nº10.



Fonte: Figura elaborada pelo autor.

O voluntário nº 10 se mantém na área de normalidade durante os quatro primeiros estágios do teste, do repouso até a intensidade de 150 watts de potência, apresentando apenas no 5º estágio, intensidade de 200 watts de potência, acidose metabólica crônica indicado pelo pH menor que 7,35 e alteração da concentração e bicarbonato, o que demonstra bom condicionamento físico através da prática do pólo aquático (atividade mista aeróbio-anaeróbia).

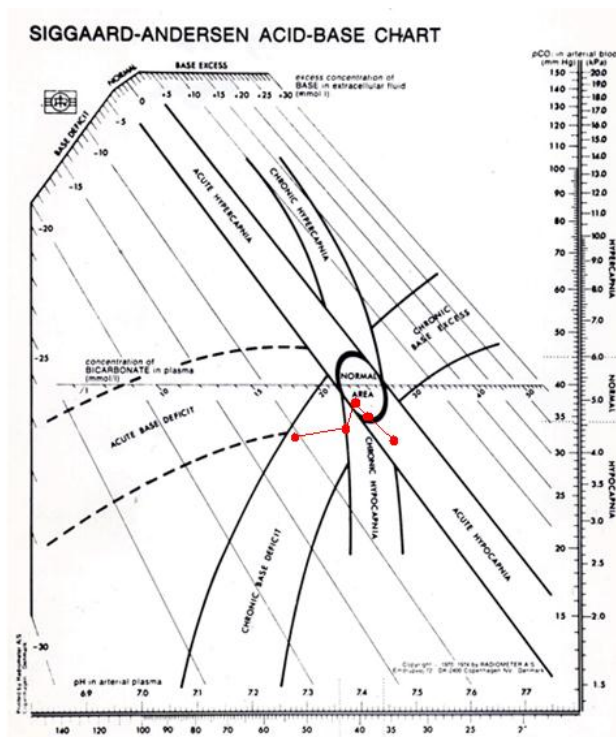
Voluntário 11

Sexo: Masculino Idade: 25 anos Grupo 2

Peso: 82 Kg Altura: 178 cm IMC: 26

Atividade: Praticante de Musculação 3 x semana

Figura 25: Gráfico de equilíbrio ácido base do voluntário nº11.



Fonte: Figura elaborada pelo autor.

O voluntário nº 11 apresenta hipocapnia aguda durante o 1º e 2º estágio, repouso e intensidade de 50 watts de potência, entrando na área de normalidade durante o 3º estágio do teste, intensidade 100 watts de potência, demonstrando que a atividade física leve pode ser responsável por trazer o organismo para os valores normais de homeostasia; Durante o 4º estágio, intensidade de 150 watts de potência, identifica-se um momento de transição entre hipocapnia crônica e acidose metabólica crônica observada no 5º estágio, intensidade de 200 watts de potência, indicado pelo pH menor que 7,35 e alteração da concentração e bicarbonato.

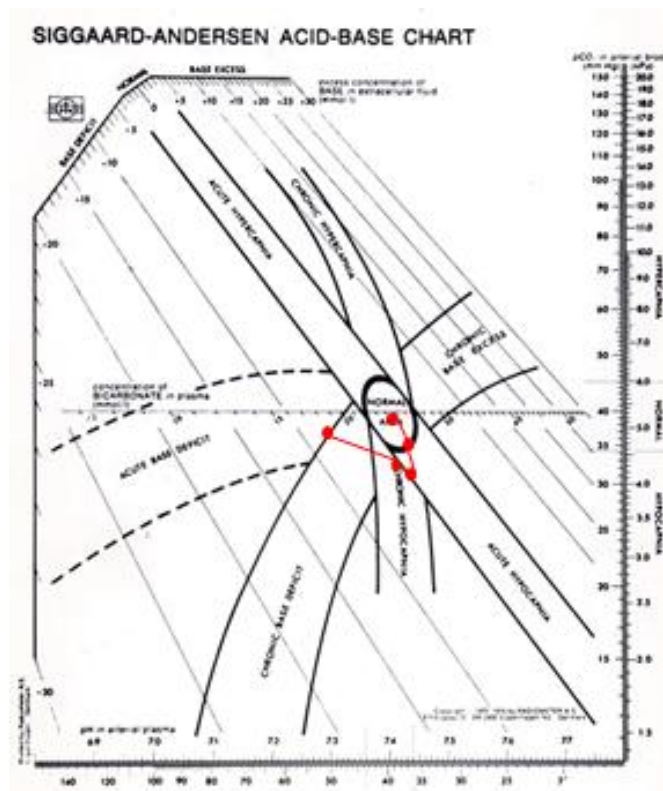
Voluntário 12

Sexo: Masculino Idade: 27 anos Grupo 2

Peso: 79 Kg Altura: 181 cm IMC: 24

Atividade: Praticante de corrida 4 x semana

Figura 26: Gráfico de equilíbrio ácido base do voluntário nº12.



Fonte: Figura elaborada pelo autor.

O voluntário nº 12 apresenta transição entre hipocapnia aguda e hipocapnia crônica no 3º e 4º estágio do teste, intensidade de 150 e 200 watts de potência, representado pela queda na pCO₂ e pelo ligeiro déficit de base e manutenção do pH e da concentração de bicarbonato dentro dos valores normais; Durante o 5º estágio, intensidade de 250 watts de potência, foi observado pH abaixo de 7,3 e alteração da concentração de bicarbonato, caracterizando acidose metabólica aguda e intenso esforço físico, o que indica bom condicionamento físico e de resistência através da prática de corrida (atividade predominantemente aeróbia).

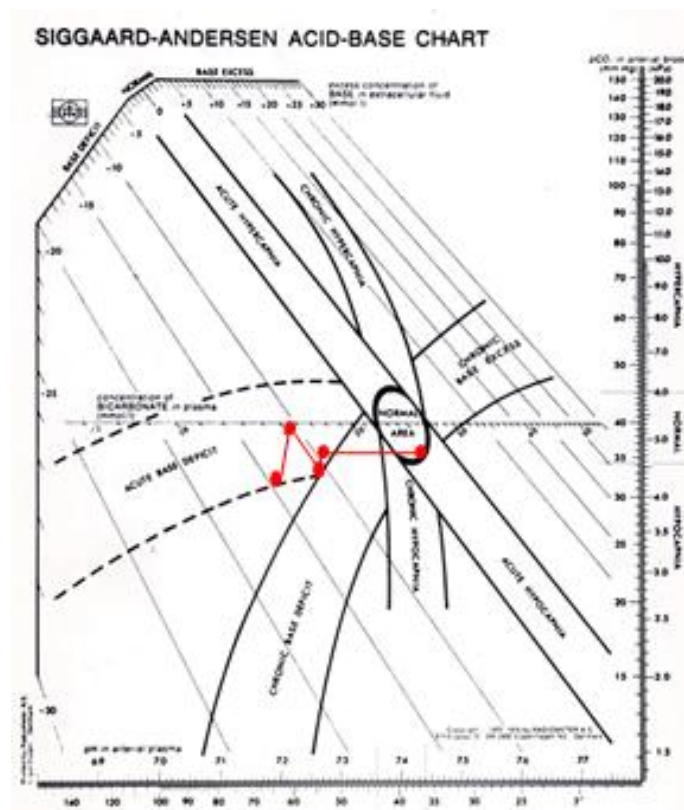
Voluntário 13

Sexo: Masculino Idade: 24 anos Grupo 2

Peso: 118 Kg Altura: 190 cm IMC: 33

Atividade: Praticante de Voleibol 2 x semana

Figura 27: Gráfico de equilíbrio ácido base do voluntário nº13.



Fonte: Figura elaborada pelo autor.

O voluntário nº 13 apresenta acidose metabólica aguda em todos os estágios de exercício físico, exceto na análise em repouso, evidenciado pelo pH menor que 7,3 e grande decaimento da concentração de bicarbonato, além de acentuado déficit de base a partir do estágio nº 3, intensidade de 100 watts de potência, demonstrando a não eficácia da frequência de atividade física realizada por semana.

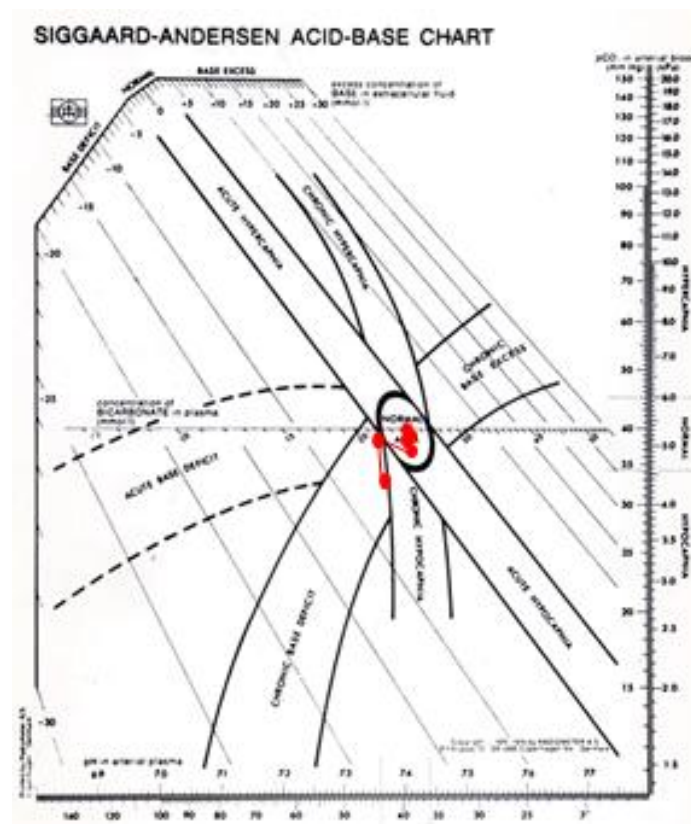
Voluntário 14

Sexo: Masculino Idade: 22 anos Grupo 3

Peso: 115 Kg Altura: 195 cm IMC: 30

Atividade: Praticante de Basquetebol 5 x semana

Figura 28: Gráfico de equilíbrio ácido base do voluntário nº14.



Fonte: Figura elaborada pelo autor.

O voluntário nº 14 apresenta acidose metabólica crônica apenas durante os estágios 5º e 6º, intensidade de 200 e 250 watts de potência, evidenciado pelo discreto déficit de base, pH menor que 7,35 e leve alteração da concentração e bicarbonato, indicando excelente condicionamento físico e resistência obtido pela prática do basquetebol (atividade mista aeróbio-anaeróbia).

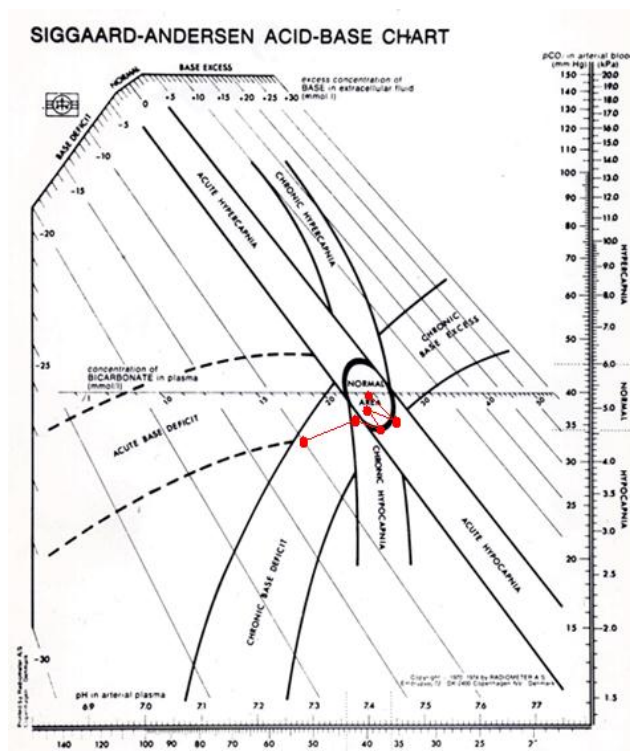
Voluntário 15

Sexo: Masculino Idade: 27 anos Grupo 3

Peso: 65 Kg Altura: 170 cm IMC: 22

Atividade: Praticante de ciclismo 5 x semana

Figura 29: Gráfico de equilíbrio ácido base do voluntário nº15.



Fonte: Figura elaborada pelo autor.

O voluntário nº 15 apresenta hipocapnia crônica no 5º estágio do teste, intensidade de 200 watts de potência, evidenciado pelo déficit de base menor que -2,0 mmol/L e apresenta acidose metabólica crônica apenas durante o último estágio nº 6, intensidade de 250 watts de potência, evidenciado pelo déficit de base, pH menor que 7,35 e diminuição da concentração e bicarbonato, indicando excelente condicionamento físico e resistência obtido pela prática do ciclismo (atividade predominantemente aeróbia).

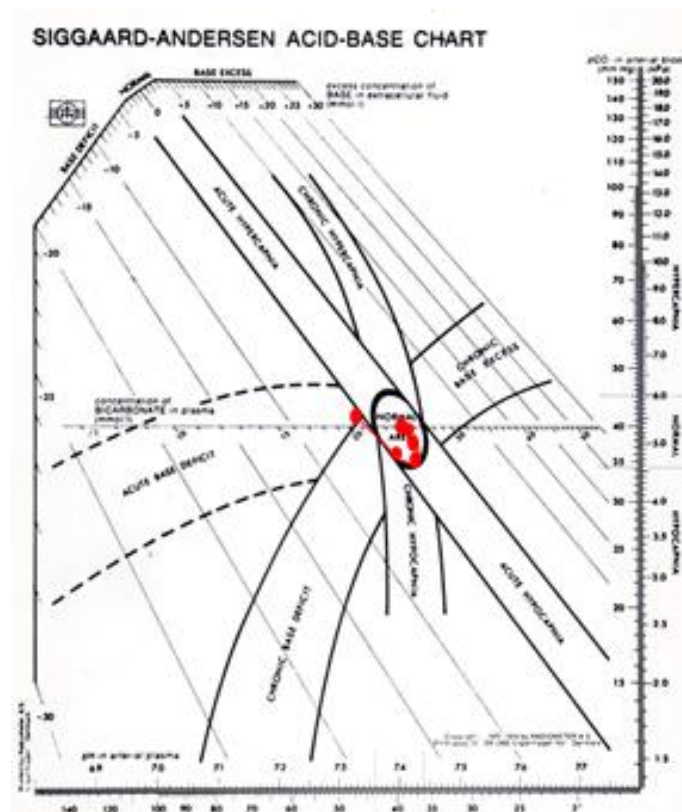
Voluntário 16

Sexo: Masculino Idade: 22 anos Grupo 3

Peso: 69 Kg Altura: 187 cm IMC: 20

Atividade: Praticante de corrida 5 x semana

Figura 30: Gráfico de equilíbrio ácido base do voluntário nº16.



Fonte: Figura elaborada pelo autor.

O voluntário nº 16 apresenta acidose metabólica aguda apenas durante o último estágio nº 6, intensidade de 250 watts de potência, evidenciado pelo déficit de base, pH menor que 7,35 e leve diminuição da concentração e bicarbonato, indicando excelente condicionamento físico e resistência obtido pela prática da corrida (atividade predominantemente aeróbia). Foi observado neste voluntário o melhor desempenho entre os atletas do grupo 3.

5. CONCLUSÕES

Os resultados apresentam comportamento fisiológico característico ao descrito na literatura diante do estresse físico causado pelo exercício incremental como acidose metabólica durante exercício físico intenso; Apresenta indícios de que a homeostasia corporal pode ser normalizada através de exercícios leves, com intensidade muito baixa; Demonstra através dos resultados individuais dos voluntários, os benefícios em relação ao condicionamento físico e a resistência adquirida, em relação tanto ao esporte praticado como principalmente a frequência de atividade realizada por semana, além de indicar a possibilidade da utilização de amostras de sangue capilar para elucidar o estado metabólico nesta situação de exercício físico progressivo, demonstrando segurança para obtenção de dados confiáveis na utilização do capilar produzido.

6. REFERÊNCIAS

CASTRO, A.C.L.C.; MIGUEL JUNIOR, A. **Estudando Equilíbrio Hidro-Eletrolítico e Ácido-Básico através de casos clínicos**. Campinas, SP: Editora Átomo, 2004.

COSTILL, D. et al. Acid-base balance during repeated bouts of exercise: Influence of bicarbonate. **International Journal of Sports Medicine**, v.5, p.228-31, 1984.

HULTMAN, E.; SAHLIN, K. Acid-base balance during exercise. **Exercise and Sport Science Reviews**, v.8, p.41-128, 1980.

JONES, N. L. Hydrogen ion balance during exercise. **Clinical Science**, v.59, p.85-91, 1980.

JUEL, C. et al. Regulation of pH in human skeletal muscle: adaptations to physical activity. **Acta Physiologica**, v.193, pg.17-24, 2008.

LEHNINGER, A.L.; NELSON, D.L.; COX, M.M. **Princípios de Bioquímica**. 4 ed. São Paulo: Sarvier, 2006.

LUNDSTROM, K.E. **Manual de pH e Gases do Sangue**. Denmark: Radiometer Medical, 2000.

BONING, D. et al. Causes of differences in exercise-induced changes of base excess and blood lactate. **Eur J Appl Physiol**, v.99, p.163–171, 2007.

BONING, D. et al. Extracellular bicarbonate and non-bicarbonate buffering against lactic acid during and after exercise. **Eur J Appl Physiol**, v.100, p.457–467, 2007.

MAASSEN, N.; BONING, D. Physiological “Side Effects” of Lactic Acid. **Deutsche Zeitschrift fur Sportmedizin**, v.59, p.292, 2008.

MAUGHAN, R.; GLEESON, M.; GREENHAFF, P.L. **Bioquímica do Exercício e do Treinamento**. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, 2000.

MAUGHAN, R.; GLEESON, M. **Bases Bioquímicas do Desempenho nos Esportes**. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan. 2007.

MCARDLE, W.D.; KATCH, F.I.; KATCH, V.L. **Fisiologia do Exercício: energia, nutrição e desempenho humano**. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, 2003.

NEGRÃO, C.E.; Barretto, A.C.P. **Cardiologia do exercício: do atleta ao cardiopata**. 2 ed. Barueri, SP: Manole, 2006.

PERONNET, F.; AGUILANIU, B. Lactic acid buffering, nonmetabolic CO₂ and exercise hyperventilation. **Respiratory Physiology & Neurobiology**, v.150, p.4–18, 2006.

POWERS, S.K.; HOWLEY, E.T. **Fisiologia do Exercício: teoria e aplicação ao condicionamento e ao desempenho**. 5 ed. Barueri, SP: Manole, 2005.

PUTMAN, C.T.; JONES, N.L.; HEIGENHAUSER, G.J.F. Effects of short-term training on plasma acid-base balance during incremental exercise in man. **J Physiol**, V.550, n.2, p.585-603, 2003.

RANDALL, D.J. et al. **Fisiologia Animal: mecanismos e adaptações**. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, 2008.

ROBERGS, R.A.; GHIASVAND, F.; PARKE, D. Explaining ph change in exercising muscle: lactic acid, proton consumption and buffering vs. strongion difference. **Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol**, v.291, p.235–237, 2006.

SILVERTHORN, D. U. **Fisiologia Humana**: uma abordagem integrada. Barueri, SP: Manole, 2003.

STRINGER, W.; CASABURI, R.; WASSERMAN, K. Acid-base regulation during exercise and recovery in humans. **Journal of Applied Physiology**, v.72, p.954-61, 1992.

VOET, D.; VOET, J.G.; PRATT, C.W. **Fundamentos de Bioquímica**. Porto Alegre, RS: Artmed, 2000.

WEINECK, J. **Biologia do Esporte**. 7 ed. Barueri, SP: Manole, 2005.

WILMORE J.H.; COSTILL D.L. **Fisiologia do Esporte e do Exercício**. Barueri, SP: Manole, 2001.

YUSOF, A. et al. Exercise-induced hemolysis is caused by protein modification and most evident during the early phase of an ultraendurance race. **Journal of Applied Physiology**, v.102, p.582-586, 2007.