

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE DESPORTOS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO FÍSICA**

**JULIANO DAL PUPO**

**ÍNDICES FISIOLÓGICOS E NEUROMUSCULARES RELACIONADOS À  
PERFORMANCE DE VELOCISTAS EM PROVAS DE 200 E 400 m RASOS**

**Dissertação de mestrado**

Florianópolis - SC  
2009

**JULIANO DAL PUPO**

**ÍNDICES FISIOLÓGICOS E NEUROMUSCULARES RELACIONADOS À  
PERFORMANCE DE VELOCISTAS EM PROVAS DE 200 E 400 m RASOS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação Física da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito final para obtenção do título de mestre em Educação Física.

Orientadora: Prof. Dr<sup>a</sup> Saray Giovana dos Santos

Florianópolis

2009

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**CENTRO DE DESPORTOS**

A dissertação: ÍNDICES FISIOLÓGICOS E NEUROMUSCULARES RELACIONADOS À PERFORMANCE DE VELOCISTAS EM PROVAS DE 200 E 400 m RASOS

Elaborada por: Juliano Dal Pupo

foi aprovada por todos os membros da banca examinadora e aceita junto ao Programa de Pós-Graduação em Educação Física da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito final para a obtenção do título de **Mestre em Educação Física**.

Florianópolis, 27 de fevereiro de 2009.

---

Prof. Dr. Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Educação Física

**Banca Examinadora:**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Saray Giovana dos Santos - UFSC (presidente/orientadora)

---

Prof. Dr. Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo - UFSC (titular)

---

Prof. Dr. Ivon Chagas da Rocha Junior – UFSC (titular)

---

Prof. Dr. Fabrizio Caputto – UFSC (suplente)

---

Prof. Dr. Renato Antônio Pereira Moro – UFSC (suplente)

## AGRADECIMENTOS

Neste momento, presto agradecimentos a todos que, de uma ou de outra forma, contribuíram para que eu pudesse alcançar mais um degrau nesta jornada acadêmica.

Primeiramente, a DEUS.

Aos familiares, meus pais Luiz e Iraci e minhas irmãs Sandra, Jussara e Ionara, dos quais sempre tive enorme apoio e carinho.

Aos professores: à minha orientadora Saray, pelo voto de confiança, pelas orientações e amizade. Ao Luiz Guilherme, que foi um dos idealizadores deste trabalho e possibilitou em grande parte a realização do mesmo. Agradecimento especial também ao professor Ivon, pelos conhecimentos adquiridos durante a graduação na UFSM que proporcionaram-me suporte agora no mestrado.

A todos os colegas do BIOMECC, pelas informações compartilhadas e amizades formadas.

Agradecimento especial à Dani, que esteve sempre ao meu lado prestando grande ajuda.

Aos ex-mestrandos do BIOMECC Luciano e Mateus, que me incentivaram quando ainda estava na UFSM em vir para a UFSC e concorrer ao mestrado.

Aos integrantes do LAEF, pelos auxílios durante as avaliações e também pelas amizades, em especial a Fran. Formamos uma parceria BIOMECC-LAEF, que continue.

Ao professor Carminatti da UDESC pelo empréstimo de materiais para coletas.

Aos demais colegas e professores de mestrado.

A todos os membros da rede CENESP, em especial aos professores Jolmerson e Moro, que sempre estiveram prestes a ajudar.

Aos técnicos e atletas catarinenses, inclusive a quem já não se encontra mais entre nós (o atleta Lucas Santana - *In Memoriam*).

Ao FINEP, financiador do projeto e também a CAPES, pela concessão das bolsas no segundo ano de mestrado.

A todos, muito obrigado!

## RESUMO

DAL PUPO, J. **Índices fisiológicos e neuromusculares relacionados à performance de velocistas em provas de 200 e 400 m rasos**. 2009. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Educação Física, UFSC, Florianópolis.

**Introdução:** A identificação de índices, tanto fisiológicos quanto neuromusculares, que possam ser utilizados na predição da performance, tem grande importância para a correta prescrição de cargas aplicadas durante o treinamento. Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi analisar as relações dos índices neuromusculares (SJ, CMJ, CJ, IEE e *sprint*<sub>20m</sub>) e dos índices anaeróbios (MAOD, LACmax) e aeróbios (VO<sub>2</sub>max, IVO<sub>2</sub>max e Tlim) com a performance de corredores em provas de 200 e 400 m rasos. **Métodos:** Participaram deste estudo 13 velocistas (idade: 20,6 ± 3,4 anos; tempo de prática: 5 ± 2,6 anos), do sexo masculino. As avaliações foram realizadas em quatro dias: no primeiro dia realizaram-se os testes de campo: *sprints* de 20 m e uma simulação de prova para determinar a performance nos 200 (P200) e 400 m rasos (P400), sendo subsequente coletado após as corridas amostras de sangue do lóbulo da orelha para determinação do pico de lactato (LACmax). No segundo dia realizou-se uma avaliação antropométrica e um protocolo de corrida incremental para a determinação do VO<sub>2</sub>max e da intensidade na qual o atleta alcança o VO<sub>2</sub>max (IVO<sub>2</sub>max). No terceiro dia os atletas realizaram os saltos verticais (SJ, CMJ, CJ) em uma plataforma de força, sendo determinada a altura de salto. Após intervalo recuperativo, realizou-se um teste para determinação do Tlim na IVO<sub>2</sub>max. O último dia de avaliações foi destinado para a realização do teste supra-máximo (120% do VO<sub>2</sub>max) e das corridas submáximas, relativos ao protocolo para determinação do MAOD. Utilizou-se estatística descritiva para apresentação das variáveis. Para determinar a correlação entre os índices e a performance nas corridas, aplicou-se a correlação linear de Pearson (nível de significância de 5%) e, a fim de verificar a contribuição das variáveis independentes (índices) nas variáveis dependentes (P200 e P400m), realizou-se uma análise de regressão múltipla. **Resultados:** Observou-se correlações significativas das variáveis neuromusculares SJ (r = -0,68), CMJ (r = -0,76), CJ (r = -0,64) e *sprints*<sub>20m</sub> (r = -0,70) apenas com a P200, já o IEE não se relacionou com nenhuma distância de prova. Quanto às variáveis anaeróbias, o MAOD correlacionou-se com a P200 (r = -0,56), enquanto que o LACmax apresentou correlação apenas com a P400 (r = -0,55). Nenhuma das variáveis aeróbias (VO<sub>2</sub>max, IVO<sub>2</sub>max e Tlim) correlacionou-se significativamente com a performance nas corridas. A análise de regressão múltipla revelou que os índices CMJ, MAOD e *sprints* explicaram 76% da variação da P200 m. Em relação aos 400 m, três índices também foram selecionados, o LACmax, VO<sub>2</sub>max e CMJ, para explicar 74% da performance nesta prova. **Conclusões:** As relações entre os índices neuromusculares e P200 indicam que quanto maior os níveis de potência muscular, melhor será a performance do atleta nesta prova. O melhor desempenho nos 200 m também está relacionado com os níveis de capacidade anaeróbia e, nos 400 m, correlacionado com a capacidade glicolítica dos atletas. Ficou evidenciado que os velocistas com melhor performance nas corridas não são aqueles que possuem melhores níveis de aptidão aeróbia. Conclui-se que fatores relacionados à capacidade anaeróbia e principalmente à potência muscular, explicam a P200, enquanto que fatores relacionados à capacidade glicolítica, consumo máximo de oxigênio e potência muscular explicam a P400.

**Palavras-chave:** velocistas, potência muscular, ciclo alongamento-encurtamento, potência aeróbia, capacidade anaeróbia.

## ABSTRACT

DAL PUPO, J. **Physiological and neuromuscular indexes related with 200- and 400-m sprint running performance**. 2009. Master's dissertation. Programa de Pós Graduação em Educação Física, UFSC, Florianópolis.

**Introduction:** The identification of indexes, so much physiologic as neuromusculares, that can be used in the prediction of the performance, has importance for the correct prescription of loads in the training. So, the purpose of this study was to analyze the relationship between neuromuscular indexes (SJ, CMJ, CJ, IEE e *sprint*<sub>20m</sub>), anaerobic indexes (MAOD, LACmax) and aerobic indexes with the 200- and 400-m sprint running performance. **Methods:** thirteen male sprinters (age:  $21.5 \pm 3.4$  years; time of practice:  $5 \pm 2.6$  years) participated in this study. Tests were performed in four days, as follow: in the first day, field test: 20-m sprint and a time trial run to determine the performance in 200-m (P200) and 400 m (P400). Subsequently were collected blood samples of the earlobe for determination of lactate peak (LACmax). On the second day: anthropometric measurements and athletes performed an incremental test to determination of the  $VO_2max$  and the intensity in which the athlete reaches the  $VO_2max$  ( $IVO_2max$ ). On the third day, the athletes performed vertical jumps (SJ, CMJ, CJ) on a force platform to determination the jump's height. After rest interval, a test to determination of the  $Tlim$  in  $IVO_2max$  was performed. The last day of was intended to realize of the supramaximal test (120% of  $VO_2max$ ) and submaximal test for determination of the MAOD. Descriptive statistics was used for presentation of the variables. To determine correlations between indexes and performance, the Pearson linear correlation (level of significance was set 5%) was used. To verify the contribution of independent variables (indexes) on dependent variables (P200 and P400m) multiple regression analysis was used. **Results:** Significantly correlations of the neuromuscular variables SJ ( $r = -0.68$ ), CMJ ( $r = -0.76$ ), CJ ( $r = -0.64$ ) and sprints<sub>20m</sub> ( $r = -0.70$ ) were observed only with the P200. The IEE is no significantly correlated to any distance races. About anaerobic variables, the MAOD was significantly correlated with the P200 ( $r = -0.56$ ), while the LACmax was significantly correlated only with the P400 ( $r = -0.55$ ). None aerobic variable ( $VO_2max$ , and  $IVO_2max$   $Tlim$ ) was significantly correlated with both races. According to the regression model, CMJ, MAOD and sprints indexes explaining by itself 76% of the variance on P200. In the 400 m, the LACmax,  $VO_2max$  and CMJ explaining by itself 74% of the performance in this race. **Conclusions:** the relationship between neuromuscular indexes and P200 indicate that the athletes with the best performance in races have higher levels of muscle power. The best performance in 200 m is also related to the levels of anaerobic capacity, and the P400 m, correlated with the glycolytic capacity of athletes. It was verify that best sprinters in the races are not those with higher levels of aerobic fitness. Finally, it is concluded that factors related to anaerobic capacity and especially the muscle power explain the P200, while factors related to the glycolytic capacity, maximum oxygen uptake and muscle power explain P400.

**Key-words:** sprinters, muscle power, stretching-shortening cycle, aerobic power, anaerobic capacity.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva da relação força-tempo em uma contração isométrica.....	23
Figura 2 - Curva da relação força-velocidade de Hill (1938).....	24
Figura 3 - Esquema ilustrativo da ocorrência do ciclo alongamento-encurtamento.....	30
Figura 4 - Representação da relação linear entre $VO_2$ e carga de trabalho, utilizada para estimar o consumo supra-máximo de $O_2$ .....	38
Figura 5 - Esteira rolante e analisador de gases acoplado ao corredor, utilizados nos testes laboratoriais.....	55
Figura 6 - Analisador eletroquímico YSI 2700 utilizado para as leituras das concentrações de lactato sanguíneo.....	56
Figura 7 - Plataforma de força utilizada na realização dos saltos verticais.....	57
Figura 8 - Esquema ilustrativo da realização do salto SJ.....	62
Figura 9 - Esquema ilustrativo da realização do salto CMJ.....	63
Figura 10 - Relação entre altura no SJ com a performance nos 200 m rasos.....	69
Figura 11 - Relação entre altura no SJ com a performance nos 400 m rasos.....	69
Figura 12 - Relação entre altura no CMJ com a performance nos 200 m rasos.....	69
Figura 13 - Relação entre altura no CMJ com a performance nos 400 m rasos.....	69
Figura 14 - Relação entre altura no CJ com performance nos 200 m rasos.....	70
Figura 15 - Relação entre altura no CJ com a performance nos 400 m rasos.....	70
Figura 16 - Relação entre o IEE e a performance nos 200 m.....	70
Figura 17 - Relação entre o IEE e a performance nos 400 m.....	70
Figura 18 - Relação entre o tempo no <i>sprint</i> <sub>20 m</sub> com a performance nos 200 m rasos..	71
Figura 19 - Relação entre o tempo no <i>sprint</i> <sub>20m</sub> com a performance nos 400 m rasos...	71
Figura 20 - Relação entre o MAOD com a performance nos 200 m rasos.....	72
Figura 21 - Relação entre o MAOD com a performance nos 400 m rasos.....	72
Figura 22 - Relação entre o LACmax com a performance nos 200 m rasos.....	73
Figura 23 - Relação entre o LACmax com a performance nos 400 m rasos.....	73
Figura 24 - Relação entre o $VO_{2max}$ com a performance nos 200 m rasos.....	74
Figura 25 - Relação entre o $VO_{2max}$ com a performance nos 400 m rasos.....	74

Figura 26 - Relação entre a $IVO_2\text{max}$ com a performance nos 200 m rasos.....	74
Figura 27 - Relação entre a $IVO_2\text{max}$ com a performance nos 400 m rasos.....	74
Figura 28 - Relação entre o $Tlim$ na $IVO_2\text{max}$ com a performance nos 200 m rasos.....	75
Figura 29 - Relação entre o $Tlim$ na $IVO_2\text{max}$ com a performance nos 400 m rasos.....	75



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores descritivos referentes às características dos atletas do estudo.....	53
Tabela 2 - Valores descritivos do tempo de prova apresentado pelos atletas nas provas de 200 e 400 m rasos.....	67
Tabela 3 - Valores descritivos dos índices neuromusculares e fisiológicos apresentados pelos atletas do estudo.....	68
Tabela 4 - Regressão múltipla entre os índices neuromusculares e fisiológicos com a performance nas provas de 200 e 400 m rasos.....	75

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CAE	Ciclo alongamento-encurtamento
CAn	Capacidade anaeróbia
CEPSH	Comitê de Ética e Pesquisa em Seres Humanos
CMJ	<i>Counter Movement Jump</i>
CJ	<i>Contínuos Jump</i>
CV	Coeficiente de variação
DP	<i>Drop Jump</i>
IEE	Índice de aproveitamento de energia elástica
EMG	Eletromiografia
IVO <sub>2</sub> max	Intensidade de exercício relativa ao consumo máximo de oxigênio
LACmax	Lactato máximo
[Lac]	Concentrações de lactato
LAn	Limiar anaeróbio
LCV	Limiar de compensação respiratória
MAOD	Máximo déficit acumulado de oxigênio
mmol.L <sup>-1</sup>	Concentração de lactato em milimolares por litro
ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup>	Mililitros de oxigênio consumido por minuto relativo a massa corporal
P200	Performance nos 200 m rasos
P400	Performance nos 400 m rasos
PC	Fosfocreatina
SJ	<i>Squat Jump</i>
TCLE	Termo de consentimento livre e esclarecido
Tlim	Tempo limite
UM	Unidade motora
VO <sub>2</sub> max	Consumo máximo de oxigênio
VO <sub>2</sub>	Consumo de oxigênio

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1 Contextualização Inicial</b> .....	<b>13</b>
<b>1.2 Objetivo Geral</b> .....	<b>17</b>
1.2.1 Objetivos Específicos .....	17
<b>1.3 Justificativa</b> .....	<b>17</b>
<b>1.4 Hipóteses do estudo</b> .....	<b>19</b>
<b>1.5 Definição de variáveis</b> .....	<b>19</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>22</b>
<b>2.1 A manifestação da força explosiva e potência no esporte</b> .....	<b>22</b>
2.1.2 O ciclo alongamento-encurtamento (CAE).....	29
2.1.3 Os saltos verticais como discriminadores da performance de corredores.....	33
<b>2.2 Índices relativos ao sistema anaeróbio de produção de energia</b> .....	<b>36</b>
2.2.1 Máximo déficit acumulado de oxigênio.....	38
2.2.2 Respostas do lactato sanguíneo em exercícios de alta intensidade .....	42
<b>2.3 Índices fisiológicos relativos ao sistema aeróbio de produção de energia</b> .....	<b>45</b>
2.3.1 Consumo máximo de oxigênio ( $VO_2max$ ).....	46
2.3.2 Intensidade relativa ao $VO_2max$ ( $IVO_2max$ ) e o tempo sustentado nesta intensidade ( $Tlim100%$ ).....	49
<b>3. MÉTODOS</b> .....	<b>53</b>
<b>3.1 Caracterização da pesquisa</b> .....	<b>53</b>
<b>3.2 Sujeitos do estudo</b> .....	<b>53</b>
<b>3.3 Instrumentos de medida</b> .....	<b>54</b>
3.3.1 Para obtenção das variáveis antropométricas.....	54
3.3.2 Para obtenção das variáveis fisiológicas.....	54
3.3.3 Para obtenção das variáveis neuromusculares.....	56
3.3.4 Para determinação da performance em pista.....	57
<b>3.4 Coleta de dados</b> .....	<b>57</b>
<b>3.5 Procedimentos para a coleta de dados</b> .....	<b>58</b>
3.5.1 Protocolos e tratamento dos dados.....	59
3.5.1.1 Protocolo de avaliação antropométrica .....	59
3.5.1.2 Protocolo de determinação do $VO_2max$ e da $IVO_2max$ .....	59
3.5.1.3 Protocolo de determinação do $Tlim$ a 100% da $IVO_2max$ .....	60
3.5.1.4 Protocolo de determinação do MAOD.....	60
3.5.1.5 Protocolo de saltos verticais.....	61
3.5.1.6 Protocolo para realização dos sprints.....	64

3.5.1.7 Protocolo para determinação da performance e LACmax.....	65
<b>3.6 Análise estatística .....</b>	<b>65</b>
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>67</b>
4.1 Valores descritivos das variáveis analisadas.....	67
4.2 Relação dos índices neuromusculares com a performance nos 200 e 400 m..	68
4.3 Relação dos índices anaeróbios com a performance nos 200 e 400 m .....	71
4.4 Relação dos índices aeróbios com a performance nos 200 e 400 m.....	73
4.5 Regressão múltipla das variáveis neuromusculares e fisiológicas com a performance nas provas de velocidade .....	75
<b>5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>77</b>
5.1 Índices neuromusculares e a performance nos 200 e 400 m .....	77
5.2 Índices anaeróbios e a performance nos 200 e 400 m.....	84
5.3 Índices aeróbios e a performance nos 200 e 400 m .....	91
5.4 Regressão múltipla das variáveis fisiológicas e neuromusculares com a performance.....	96
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>104</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>107</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>117</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Contextualização Inicial

A corrida, uma das modalidades mais clássicas do atletismo, tem sido amplamente estudada ao longo dos tempos, em seus vários aspectos, como no campo de estudo da biomecânica desportiva (MERO; KOMI, 1987; CAVANAGH, 1990; NOVACHECK, 1998; CORN; KNUDSON, 2003; STOFELLS et al., 2007) e da fisiologia do exercício (COSTIL et al., 1973; LACOUR et al., 1990; BILLAT et al., 1994a; HILL, 1999; DENADAI et al., 2004; NEVILL et al., 2008). Por meio de investigações nestas áreas de pesquisa é possível identificar os indicadores fisiológicos e biomecânicos capazes de prever a performance em cada prova atlética e determinar se um atleta obterá êxito em provas de potência ou de *endurance*.

Em eventos esportivos de alta intensidade, como nas corridas de velocidade, vários estudos apontam que os principais determinantes para o êxito de um atleta nessas provas estão relacionados à produção de elevados níveis de força e velocidade, determinantes da potência muscular (HENNESSY; KILTY, 2001; HARRINSON et al., 2004, MIGUEL; REIS, 2004; SMIRNIOTOU et al., 2008). A habilidade do atleta em gerar elevada potência está ligada, por sua vez, à fatores neuromusculares como a habilidade de recrutamento neural, o aproveitamento do ciclo alongamento-encurtamento (CAE) (BOSCO et al., 1981; VIITASALO; BOSCO, 1982; KOMI, 2000; MERO et al., 2001), além da taxa de liberação de energia por meio da via metabólica anaeróbia (GASTIN, 2001).

A potência muscular é um fenômeno complexo de difícil mensuração *in vivo*, sendo assim normalmente estimada por meio de saltos verticais (MARKOVIC et al., 2004). Um dos saltos utilizados para este fim é o denominado *Squat Jump* (SJ), no qual mensura-se a potência muscular utilizando somente a fase concêntrica do movimento, que reflete a habilidade de recrutamento neural do atleta (BOSCO, 1999). O desempenho no SJ possui boa correlação com *sprints*, tendo em vista que em ambas as situações, a ação concêntrica dos extensores do joelho é determinante na geração

de forças propulsivas (SLEIVERT; TAINGAHUE, 2004). Tais forças são consideradas de extrema importância na aceleração dos velocistas, principalmente na saída dos blocos de partida e nos trechos iniciais da corrida (MERO et al., 1992; SLEIVERT; TAINGAHUE, 2004). À medida que a distância aumenta, esta força parece perder protagonismo em favor da ação do CAE nos corredores (MARKOVIC et al., 2007, SMIRNIOTOU et al., 2008).

O CAE é uma ação muscular caracterizada por um pré-alongamento das fibras musculares na fase excêntrica do movimento, na qual são ativados os reflexos de estiramento e os elementos elásticos alongados, armazenando energia elástica que é normalmente reutilizada na contração concêntrica (KOMI, 2000). Este mecanismo proporciona aumento nos níveis de potência muscular (BOSCO et al., 1981; KOMI; GOLLHOFER, 1997).

A habilidade em utilizar o CAE pode ser estimada a partir de um salto realizado com contra-movimento (CMJ), que assim como o SJ, é considerado excelente indicador da potência muscular de membros inferiores. Contudo, o desempenho no CMJ pode estimar também o uso do CAE, já que a potência gerada pelos músculos nesta situação é potencializada pelo processo de alongamento-encurtamento e armazenamento de energia elástica. Do mesmo modo, a razão CMJ/SJ tem sido utilizada como um índice de aproveitamento de energia elástica (IEE), no entanto, parece não ser capaz de discriminar a performance de velocistas (HARRINSON et al., 2004). Smirniotou et al. (2008) verificaram que a associação em conjunto de índices neuromusculares, como SJ e CMJ, explica grande parte da performance nos 100 m, sendo que tais relações com as demais distâncias das provas de velocidade (200 e 400 m), ainda não foram muito exploradas.

Em relação aos sistemas metabólicos que sustentam os eventos de alta intensidade, Duffield (2004) e Spencer e Gatin (2001) verificaram que em corridas de velocidade de 200 m e 400 m o metabolismo anaeróbio (ATP-PC e glicólise) é amplamente predominante no fornecimento energético. O sucesso nestes eventos esportivos que requerem manutenção prolongada de elevada taxa de liberação de energia é em grande parte determinado pela quantidade máxima de energia

despendida no exercício a partir da utilização dos estoques anaeróbios, aláticos (ATP-PC) e láticos (glicólise) (GASTIN, 2001), ou seja, a capacidade desta via energética.

A capacidade anaeróbia (CAn) pode ser mensurada por diferentes métodos, sendo o máximo déficit acumulado de oxigênio (MAOD), desenvolvido por Medbo et al. (1988), um dos mais aceitos para este fim (NAKAMURA; FRANCHINI, 2006). O MAOD está mais associado à performance de velocistas em comparação à meio-fundistas, como relatado em investigações realizadas (SCOTT et al., 1990; CRAIG; MORGAN, 1998; FRIEDMANN et al., 1997). De acordo com Nevill et al. (2008) o MAOD possui forte correlação com a velocidade média nos 100 m (-0,87) e nos 400m (-0,80). Scott et al. (1990), entretanto, não encontraram relação significativa do MAOD com a performance de velocistas nos 400 m, não estando claro assim até que distância de prova ou duração de exercício essa relação se faz presente.

A quantificação das concentrações de lactato [Lac] obtido após exercícios de alta intensidade também tem sido freqüentemente usada como medida da taxa de liberação de energia do sistema anaeróbio (LACOUR et al., 1990; HAUTIER et al., 1994; HILL, 1999; De-OLIVEIRA et al., 2006). No entanto, o LACmax sugere apenas o quanto a glicólise foi solicitada, não permitindo nenhum indicativo do uso dos fosfagênios, o que limita quantificar a CAn de um indivíduo (GASTIN, 2001). Está relatado na literatura que este índice possui relação com a performance em eventos de curta/média duração e alta intensidade (RANSBOTTOM et al., 1994; HAUTIER et al., 1994; FRIEDMANN et al., 1997). De - Oliveira et al. (2006) verificaram que em corridas de velocidade com duração de 60 s a capacidade lática, estimada pelas [Lac], foi mais solicitada que em uma corrida máxima de 30 s. Resultados como estes podem fornecer um indicativo de qual distância de prova entre as corridas de velocidade é mais dependente desta aptidão, fator que pode prever a performance e ser utilizado para direcionar e controlar os treinamentos de caráter “látrico” de um velocista.

Juntamente com o sistema anaeróbio, o metabolismo aeróbio, apesar de possuir menor parcela de contribuição, também participa do metabolismo para o fornecimento de energia nas corridas de velocidade (HILL, 1999; DUFFIELD et al., 2004; DUFFIELD et al., 2005). Segundo Spencer e Gastin (2001) a contribuição aeróbia nos 200 m é de 29%, enquanto que nos 400 m ela chega a 43%. Pesquisas têm tradicionalmente

comprovado que índices aeróbios, como consumo máximo de oxigênio ( $VO_2\max$ ), apresentam forte correlação com a performance de corredores de *endurance* (DENADAI, 1996; DENADAI et al., 2004). Entretanto, em recente investigação (NEVILL et al., 2008) o  $VO_2\max$  apresentou moderada correlação com a velocidade média nos 100 m rasos ( $r = 0,51$ ) e esteve fortemente relacionado com a performance nos 400 m ( $r = 0,77$ ). Um importante achado do estudo mostrou que, quando o  $VO_2\max$  foi inserido com o MAOD em uma regressão múltipla, os mesmos explicaram 85% da variação da performance nos 400m, evidenciando que ambos os sistemas energéticos estão interagindo no fornecimento de energia durante este evento esportivo.

Além do  $VO_2\max$ , índices como a  $IVO_2\max$  (intensidade de exercício relativa ao consumo máximo de oxigênio) e o  $T_{lim}$  (tempo mínimo que pode ser sustentado na intensidade da  $IVO_2\max$ ) têm sido utilizados como indicadores de potência aeróbia, considerados inclusive preditores mais precisos da performance que o  $VO_2\max$  (BILLAT; KORALSZTEIN, 1996). Existem evidências que tais índices, a exemplo do  $VO_2\max$ , são bons preditores da performance em eventos de média e longa duração (BILLAT; KORALSZTEIN, 1996; BILLAT et al., 1996; DENADAI et al., 2004). Não há estudos na literatura relatando possíveis relações dos mesmos com as corridas de velocidade.

Conforme descrito acima, diversas investigações foram realizadas ao longo dos anos na tentativa de encontrar explicações para a performance de corredores. O desempenho em corridas de velocidade têm sido tradicionalmente relacionado à fatores referentes ao sistema anaeróbio e aspectos neuromusculares, sendo poucos estudos dedicados a investigar a contribuição do sistema aeróbio ou a contribuição destes aspectos em conjunto. Gatin (2001) ressalta que há uma interação entre os sistemas energéticos durante a realização de exercícios máximos como as corridas de velocidade, realçando a necessidade de investigações na tentativa de identificar quais são os índices que podem relacionar-se e contribuir na performance em diferentes distâncias das corridas de velocidade.

Com base nos pressupostos teóricos relatados e com a intenção de contribuir no correto direcionamento do treinamento é que formulou-se o seguinte problema? “Quais as relações (interdependência e contribuição) dos índices neuromusculares (SJ, CMJ,



CJ, IEE e *Sprint*<sub>20m</sub>) e dos índices referentes aos sistemas energéticos anaeróbio (MAOD, LACmax) e aeróbio (VO<sub>2</sub>max, IVO<sub>2</sub>max e Tlim) com a performance de corredores de velocidade em provas de 200 (P200) e 400 m rasos (P400)?

## 1.2 Objetivo Geral

Analisar as relações (interdependência e contribuição) dos índices neuromusculares (SJ, CMJ, CJ, IEE e *Sprint*<sub>20m</sub>) e dos índices referentes aos sistemas energéticos anaeróbio (MAOD, LACmax) e aeróbio (VO<sub>2</sub>max, IVO<sub>2</sub>max e Tlim) com a performance de corredores em provas de 200 e 400 m rasos.

### 1.2.1 Objetivos Específicos

- Caracterizar os atletas avaliados quanto à performance (tempo de prova) nos 200 e 400 m rasos;
- Identificar os índices neuromusculares SJ, CMJ e CJ, IEE e *sprint*<sub>20m</sub> e correlacioná-los com a performance nas provas 200 e 400 m rasos;
- Identificar os índices anaeróbios MAOD e LACmax e correlacioná-los com a performance nas provas de 200 e 400 m rasos;
- Identificar os índices aeróbios VO<sub>2</sub>max, IVO<sub>2</sub>max e Tlim e correlacioná-los com a performance nas provas de 200 e 400 m rasos;
- Identificar a contribuição das variáveis independentes (SJ, CMJ, CJ e *sprint*<sub>20m</sub>, MAOD, LACmax, VO<sub>2</sub>max, IVO<sub>2</sub>max e Tlim) nas variáveis dependentes (P200 e P400).

## 1.3 Justificativa

Existe um grande interesse de inúmeros pesquisadores da área desportiva em desenvolver e encontrar métodos precisos de treinamento, no intuito de obter o máximo rendimento dos atletas. Para isso, faz-se necessário evidenciar quais são os fatores ou variáveis que realmente determinam a performance nos eventos esportivos.

Em corridas de velocidade, tem-se tradicionalmente definido na literatura técnica-desportiva que os principais determinantes nestas provas estão relacionados à produção de força muscular, mais especificamente a uma combinação ótima entre força e velocidade, determinantes da potência (VITTORI, 1996; HARRINSON et al., 2004). Nesse sentido, a investigação da influência de fatores associados à produção de potência muscular é importante na tentativa de explicar a performance.

O sistema anaeróbio é considerado predominante no fornecimento de energia em eventos de alta intensidade, como as corridas de velocidade. No entanto, quantificar valores referentes a esta capacidade é considerado difícil, tendo em vista que torna-se necessário a utilização, muitas vezes, de métodos invasivos, além de não se conseguir por meio dos testes anaeróbios as produções aeróbias e anaeróbias de energia no exercício. Desse modo, verificar se o MAOD e o LACmax estão associados à performance nas provas de 200 e 400 m torna-se importante, pois poderá ser um indicador confiável da capacidade anaeróbia, indispensável para a avaliação de velocistas.

Índices relacionados ao sistema aeróbio, considerados até pouco tempo sem contribuição para as corridas de velocidade, têm sido ultimamente investigadas na tentativa de verificar as possíveis interferências nestas provas, ao exemplo de Gatin (2001), que relata que índices relacionados a tal sistema desempenham um papel importante para eventos de alta intensidade. Desta forma faz-se necessário investigar qual a relação destes índices com a performance de velocistas, analisados isoladamente e em associação com os demais índices. Nesse sentido, destaca-se a importância da utilização da análise de regressão múltipla, possibilitando investigar a contribuição conjunta destas variáveis com a performance. Outro aspecto relevante da presente investigação diz respeito a esta análise realizada em diferentes distâncias (200 e 400 m) das corridas de velocidade, visto que as mesmas possuem características diferenciadas no que se refere à estratégia e distribuição do esforço.

Este trabalho visa fornecer informações capazes de esclarecer quais as variáveis que melhor se relacionam e contribuem para a performance de corredores em provas de velocidade, servindo de referência para pesquisas futuras. Além disso, os dados provenientes de tal estudo, considerado de amplitude multidisciplinar, deverão ter

grande aplicação no que se refere à maior especificidade e cientificidade aos programas de treinamento elaborados por preparadores físicos e/ou treinadores de atletismo.

#### 1.4 Hipóteses do estudo

H1: As variáveis neuromusculares SJ, CMJ, CJ<sub>15s</sub> possuem correlação negativa e a variável *sprint*<sub>20m</sub> correlação positiva com a performance apenas nos 200 m;

H2: A variável anaeróbia MAOD possui correlação negativa com o tempo de prova nos 200 e 400 m rasos;

H3: A variável anaeróbia LACmax relaciona-se de modo positivo apenas com a performance nos 400 m rasos;

H4: Nenhuma das variáveis aeróbias possui correlação com a performance nos 200 e 400 m rasos;

H5: A performance nos 200 m rasos é explicada em sua maior parte por índices neuromusculares.

H6: Índices aeróbios, em associação com demais índices (anaeróbios e/ou neuromusculares) contribuem na explicação da performance nos 400 m rasos.

#### 1.5 Definição de variáveis

##### a) *Counter Movement Jump* (CMJ)

Conceitual: salto vertical realizado a partir de um contra-movimento, com a contribuição do ciclo alongamento-encurtamento (BOSCO, 1999).

Operacional: representará a altura máxima de elevação do centro de gravidade durante o salto realizado com contra-movimento, considerada indicadora da potência muscular do atleta associada à ocorrência do CAE.

##### b) *Squat Jump*

Conceitual: salto vertical realizado a partir de uma posição estática e semi-agachada, utilizando somente a ação muscular concêntrica (BOSCO, 1999).

Operacional: representará a altura máxima de elevação do centro de gravidade durante o salto realizado a partir de uma posição semi-agachada (ângulo do joelho= 90°), considerada indicadora da potência muscular e da habilidade de recrutamento neural do atleta.

c) *Contínuos Jump*

Conceitual: teste no qual são realizados saltos verticais de modo contínuo, objetivando avaliar as propriedades visco-elásticas dos músculos extensores do joelho e também investigar os processos metabólicos que sustentam a atividade muscular por um período de 5-60 s (BOSCO, 1999).

Operacional: representará a altura média de elevação do centro de gravidade relativa a todos os saltos com contra-movimento realizados de modo contínuo por um período de 15 s.

d) Índice de energia elástica (IEE)

Conceitual: representa a habilidade das estruturas músculo-tendíneas em otimizar a ação muscular por meio do ciclo alongamento-encurtamento (MC GUIGAN et al., 2006).

Operacional: será representado pela razão entre a altura no CMJ e a altura no SJ, expresso em percentual.

e) Máximo déficit acumulado de oxigênio (MAOD)

Conceitual/operacional: consiste na diferença entre a demanda acumulada de O<sub>2</sub> estimado além de 100% do VO<sub>2</sub>max e o VO<sub>2</sub> acumulado em um teste supra-máximo (MEDBO, 1988).

f) Lactato máximo (LACmax)

Conceitual: indicador da taxa de solicitação da glicólise anaeróbia durante exercícios anaeróbios de alta intensidade (GASTIN, 2001).

Operacional: será considerado o maior valor da concentração de lactato sanguíneo obtido até o 15º minuto de recuperação após realização das corridas de velocidade.

g) Consumo máximo de oxigênio ( $VO_2\text{max}$ )

Conceitual: representa a mais alta taxa no qual o oxigênio pode ser captado e utilizado pelo corpo durante o exercício máximo (BASSETT; HOWLEY, 2000).

Operacional: o  $VO_2\text{max}$  será o valor obtido no teste incremental em esteira rolante realizado no laboratório com base nos critérios propostos por Lacour et al. (1991).

h) Intensidade de exercício relativa ao  $VO_2\text{max}$  ( $IVO_2\text{max}$ )

Conceitual: a velocidade (corrida e natação) ou potência (ciclismo estacionário) na qual o  $VO_2\text{max}$  é atingido durante um teste incremental (BILLAT et al., 1995).

Operacional: a menor intensidade de exercício na qual ocorre o  $VO_2\text{max}$  durante o teste incremental em esteira rolante realizado no laboratório.

i) Tempo de exaustão a 100% da  $IVO_2\text{max}$  ( $T_{lim}$ )

Conceitual: tempo máximo que pode ser sustentado na intensidade relativa do  $VO_2\text{max}$  (DENADAI, 2000).

Operacional: tempo em que o atleta permanecerá correndo durante um teste em esteira rolante realizado no laboratório, sustentando uma carga retangular referente a 100 % da  $IVO_2\text{max}$ .

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Com a finalidade de fundamentar o estudo e subsidiar a discussão dos resultados, selecionaram-se os seguintes tópicos para compor o referencial teórico:

- A manifestação da força explosiva no esporte
  - Fatores neuromusculares intervenientes na potência muscular
  - O ciclo alongamento-encurtamento
  - Os saltos verticais como discriminadores da performance de corredores
- Índices relativos ao sistema anaeróbio de produção de energia
  - Máximo déficit acumulado de oxigênio
  - Respostas do lactato sanguíneo em exercícios de alta intensidade
- Índices fisiológicos relativos ao sistema aeróbio de produção de energia
  - Consumo máximo de oxigênio
  - Intensidade relativa ao  $VO_2\text{max}$  ( $IVO_2\text{max}$ ) e o tempo sustentado nesta intensidade.

### 2.1 A manifestação da força explosiva e potência no esporte

Neste capítulo serão abordados aspectos relativos à qualidade física potência muscular, relatando os principais mecanismos neuromusculares intervenientes na mesma e sua relação com as corridas de velocidade.

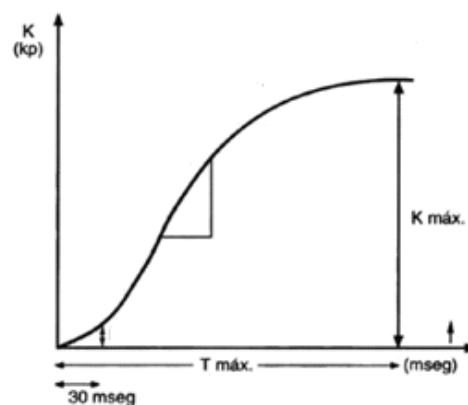
Observando-se os movimentos fundamentais das provas do Atletismo, percebe-se que a expressão da força muscular na forma rápida está presente na maior parte delas. Dentre estas modalidades, as corridas de velocidade são consideradas como amplamente dependentes desta aptidão (HENNESSY; KILTY, 2001; HARRINSON et al., 2004; BOSCO, 2007; SMIRNIOTOU et al., 2008), na qual a alta velocidade das contrações musculares do velocista irá permitir ao mesmo deslocar-se no menor tempo possível até o final de uma corrida.

Inicialmente é preciso entender o conceito deste complexo fenômeno que é a manifestação da força muscular na forma rápida. A denominada força explosiva e a

potência muscular são expressões comumente relacionadas à força rápida, mas segundo Carvalho e Carvalho (2006), dependem de fatores diferenciados.

De acordo com os autores supracitados, a força explosiva corresponde, de modo geral, a mais rápida manifestação de força no mínimo espaço de tempo. Esta aptidão depende de fatores relacionados à velocidade de contração muscular e da intensidade das descargas dos impulsos nervosos (HAKKINEN; KOMI, 1985). Analisando a relação força-tempo (fxt), ilustrado na figura 1, existe um momento em que a produção de força por unidade de tempo é mais elevada de todo o percurso da curva, estando expressa no declive mais acentuado da linha de força na curva de fxt (triângulo). Nesse espaço específico ocorrerá a força explosiva máxima.

Esta força é medida normalmente em situações isométricas, mas caso venha a ser medida em situações dinâmicas, observa-se que a máxima expressão da força explosiva se produz na fase estática precedente ao deslocamento. Neste último caso, a resistência imposta deve ser superior a pelo menos 30% da força máxima (CARVALHO; CARVALHO, 2006). Em síntese, para a força explosiva o determinante é o nível de força expressa e o tempo necessário para tal, independente de existir ou não movimento. Assim, normalmente nos movimentos explosivos não há grande aceleração ou velocidade de deslocamento de um segmento corporal, visto que as cargas empregadas são elevadas.

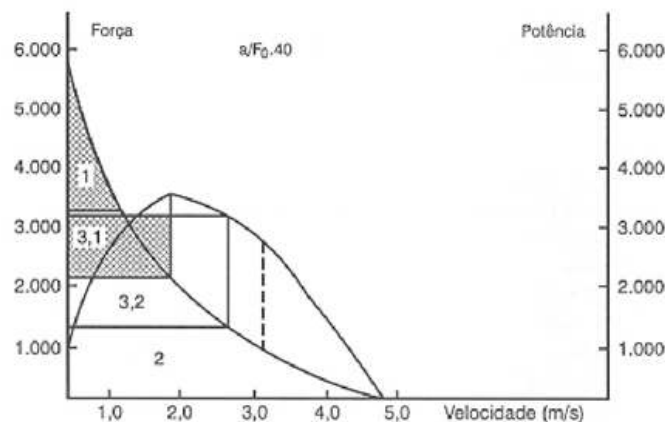


**Figura 1.** Curva da relação força-tempo em uma contração isométrica (adaptado por Carvalho e Carvalho, 2006)

Em relação à potência, a mesma é caracterizada como a taxa de realização de trabalho em determinado período, mais especificamente o produto da força pela velocidade, sendo a força provinda do torque máximo que um músculo ou grupo muscular podem gerar em determinada velocidade (KOMI, 2006). Neste caso, o determinante agora será a velocidade que o segmento vai atingir em determinado nível de força.

A relação força-velocidade ficou bem evidenciada a partir das investigações realizadas ainda na década de 30 por Hill (1938), na qual observou que o comportamento mecânico do músculo possui uma relação hiperbólica entre velocidade de contração e tensão desenvolvida. Com base nessa teoria percebe-se que quanto mais elevada é a carga a vencer, mais força tem que ser produzida pelos componentes contráteis dos músculos e menor será a velocidade de encurtamento destas estruturas e do segmento a ser movido. De acordo com Bosco (1985), a razão primária para tal fenômeno parece ser a perda da tensão no momento em que as pontes de actina-miosina se rompem no interior do componente contrátil, reconstituindo-se em condições de repouso. O segundo motivo é constituído pela viscosidade presente tanto no componente contrátil quanto no tecido conjuntivo.

A partir de tais relações entre  $f \times v$  é determinada a curva de potência, em forma de sino, que vai oscilar entre dois limites, tentando compatibilizar força e velocidade, que se opõem naturalmente (figura 2).



**Figura 2.** Curva da relação força-velocidade de Hill e de potência, adaptado por Carvalho e Carvalho (2006).



De acordo com Carvalho e Carvalho (2006), esta curva da relação  $fxv$  e de potência pode ser dividida em três zonas: a zona 1, sob influência principal da força máxima; a zona 2, considerada de velocidade máxima; e a zona 3, onde existe uma distribuição proporcional da força aplicada e a velocidade gerada. A combinação entre estes fatores na zona 3 permitir-se-á treinar ao mesmo tempo a força e velocidade em condições ótimas, possuindo um papel determinante do ponto de vista do desenvolvimento da potência (BOSCO, 2007).

Os valores concretos de força e velocidade nos quais se alcançam a máxima potência muscular ainda é um tema em discussão. Resultados do estudo de Baker et al. (2001) indicaram que a maior potência gerada em um salto vertical foi com cargas oscilando entre 48-63% de 1 RM no agachamento. Já Stone et al (2004) verificaram que a carga que gerava maior potência no salto *Squat Jump* foi de 10% de 1 RM no agachamento. Percebe-se assim uma indefinição quanto a esta questão.

A análise da atividade eletromiográfica (EMG) dos músculos do quadríceps durante os saltos verticais é uma ferramenta importante no entendimento deste fenômeno. A fim de verificar a relação entre atividade EMG e carga, Bosco et al. (1995) analisaram o comportamento EMG dos músculos do quadríceps femoral em situação isométrica e nos saltos verticais com cargas variando entre 30 e 90% de 1 RM. Na contração isométrica, verificou-se uma relação linear entre aumento da carga e a atividade EMG. Em contraste, durante o salto vertical com cargas, a atividade EMG sofre um aumento significativo quando passa de 40 a 50% da carga máxima. Superada esta carga, nota-se uma redução da ativação elétrica. Isso significa que com 50% da carga máxima já se verifica o recrutamento de todas as unidades motoras (UM) disponíveis, e, a partir daí, o aumento da tensão muscular pode ser realizado através do aumento da frequência de disparos das UM. De acordo com Bosco (2007), quando realiza-se exercícios com cargas baixas, há a possibilidade de modular a tensão através do recrutamento de unidades motoras ou pela frequência de descarga dos impulsos nervosos, enquanto que em cargas elevadas, consegue apenas modular a força pela frequência de disparos.

### 2.1.1 Fatores neuromusculares intervenientes na potência muscular

Fatores de natureza estrutural, mecânica e funcional determinam a força e a velocidade das contrações musculares, que implicarão diretamente na potência. Entre estes fatores podem ser citados a intensidade dos impulsos neurais, a sincronização e recrutamento das unidades motoras, o tipo de fibras musculares e as propriedades elásticas do conjunto músculo-tendíneo (BOSCO; KOMI, 1979; BOSCO et al., 1981; VIITASALO; BOSCO, 1982; ENOKA, 1997).

Em relação aos fatores neurais intervenientes na produção de força muscular, o mecanismo de ativação das unidades motoras (UMs) na contração muscular é considerado o principal responsável pela modulação da força. Uma unidade motora consiste de um nervo motor, que tem seu corpo cinzento e núcleo localizados na coluna espinhal, na qual se ramifica inervando várias fibras musculares. Quanto maior o número de UMs recrutadas e maior frequência de disparos, níveis mais elevados de força serão obtidos (KOMI, 2006). A frequência de disparos é o número de impulsos nervosos que as fibras musculares recebem em seu motoneurônio.

O recrutamento das UMs é realizado pelo princípio do tamanho e pelo nível de força e velocidade da ação. Quando se produz uma força submáxima, as UMs de pequeno tamanho ou de baixo limiar são recrutadas primeiro e, com o aumento progressivo da força ou em ações mais rápidas, as UMs maiores são ativadas, as quais inervam as fibras tipo Ila e IIb (ENOKA, 1997). Por outro lado, esse princípio do tamanho parece não ser observado nos movimentos explosivos, ocorrendo o chamado recrutamento seletivo, ou seja, o sistema neural possui a estratégia de recrutar, quando os movimentos forem intensos, diretamente as fibras rápidas (SALE, 1992). Entretanto, tal fenômeno não está totalmente esclarecido.

O papel dos reflexos neurais de estiramento também é considerado um fator importante na otimização da ação muscular. Os reflexos, que representam ações automáticas, são ativados por receptores sensoriais localizados nos músculos, os fusos musculares. Eles fornecem informações sobre a taxa de alteração de comprimento/velocidade, sendo que, quando um músculo é alongado, estes fusos detectam esta alteração, enviando um estímulo sensorial a nível medular. Como

resposta a ação dos motoneurônios eferentes estimulará o músculo a encurtar-se e o alongamento é interrompido (KOMI, 2006).

Os níveis de pré-ativação muscular também são considerados fatores importantes na potencialização da ação muscular. Mero et al. (2001) sugeriram que a pré-ativação do tríceps sural possui um importante papel em corridas máximas e sub-máximas. Para testar tal hipótese, velocistas e corredores de *cross-country* foram submetidos a realizar *sprints* de 10 a 40m e uma contração isométrica em flexão plantar máxima, sendo recolhido o sinal EMG dos músculos sóleo e gastrocnêmio, em ambas as situações. Os autores verificaram que a ativação EMG durante 80ms do início do contato com o solo foi maior que na própria contração isométrica, exaltando assim o papel da pré-ativação na ação muscular durante a corrida.

Dietz et al. (1979) apresentaram dados que mostram que os reflexos espinhais de pré-ativação, mensurado por meio de EMG no momento do contato no solo durante a corrida, estavam relacionados com o tempo de contato no solo durante a corrida em velocidades elevadas, mostrando que a ativação pré-contato é importante na preparação da ação muscular neste movimento de alta potência.

As propriedades neurais podem sofrer adaptações após treinamento de força e potência. Em estudo realizado por Häkkinen (1985), 10 sujeitos do sexo masculino foram submetidos a um treinamento de força explosiva por um período de 24 semanas. Os resultados obtidos mostraram que o treino de potência produziu consideráveis adaptações neurais, como o aumento da frequência de ativação das unidades motoras. Em outra investigação, Paavolainen et al. (1999) objetivaram verificar a influência do treinamento de potência em variáveis neuromusculares. Para isso, submeteram um grupo de corredores de *cross-country* a um treinamento específico de potência (multi-saltos e *sprints*), por um período de 9 semanas. Observou-se posteriormente que a variável neuromuscular  $V_{MART}$  (velocidade de corrida anaeróbia máxima) obteve significativa melhora, sendo atribuída às possíveis adaptações do sistema neural.

Apesar das evidências científicas indicarem que as propriedades neurais são determinantes na produção de força e potência, ainda não está evidenciado claramente até que ponto estes fatores são sensíveis ao treinamento ou se simplesmente são determinados pelo genótipo. Assim, surgem dificuldades na tentativa de aplicar o

conhecimento geral das propriedades da produção de potência muscular na otimização do desempenho humano.

Para gerar força e realizar trabalho, o impulso nervoso deve se difundir para as células musculares, em uma junção “neuromuscular”, em um mecanismo denominado sinapse. Ao interagir com o músculo, o potencial elétrico vai propagar-se via túbulos T pela fibra e ativar a formação das pontes cruzadas, que é a interação entre as cabeças de miosina e filamentos de actina, responsáveis pela contração muscular. A tensão formada pela interação das pontes cruzadas é transmitida aos ossos ou aponeuroses por meio dos tendões (BOSCO, 2007). Para determinado nível de ativação neural, a força muscular será proporcional ao número total de pontes cruzadas ativas em determinado período de tempo (ENOKA, 1997).

As propriedades e características das células (fibras) musculares capazes de gerar maiores níveis de força são fortemente determinadas pelo genótipo. Há várias décadas sabe-se que atletas de elite que competem em esportes de velocidade ou potência possuem a predominância de fibras musculares do tipo IIa e IIb. Estas fibras são recrutadas por UMs de maior limiar, apresentam alta velocidade de encurtamento e possuem maior diâmetro (BUCHTAL; SCHMALBRUCH, 1970). Tais fatores vão propiciar a capacidade de gerar força e potência e determinar se um atleta obterá êxito em provas de potência ou endurance.

Bosco e Komi (1979) verificaram que a habilidade dos músculos extensores do joelho em gerar potência é em grande parte determinada pela composição das fibras musculares. No referido estudo, os autores analisaram o desempenho no salto vertical *Squat Jump* (SJ) realizado sobre uma plataforma de força em dois grupos: um com indivíduos com percentual de fibras rápidas >60% e outro <40%, relativo à uma análise histológica do músculo vasto lateral. Verificou-se que a altura no SJ obtida pelo primeiro grupo (36,7 cm) foi superior ao segundo (33,8 cm). Os resultados ainda mostraram que o grupo com maior percentual de fibras rápidas conseguiu aplicar mais força na plataforma em menor espaço de tempo, o que possibilitou gerar maiores níveis de potência.

O treinamento de força explosiva parece provocar alterações nestas propriedades musculares, mostrando não serem determinadas exclusivamente pela

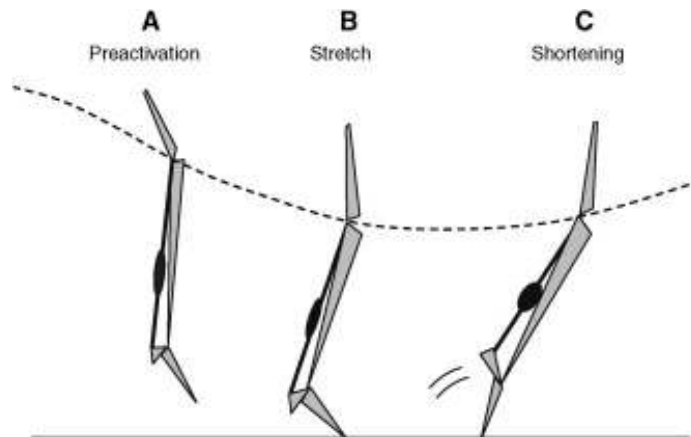
genética. Abernathy et al., (1994) verificaram que o treinamento de potência aumentou a atividade das enzimas glicolíticas e do glicogênio muscular, que atuam no suprimento energético para a contração muscular, além de alterações nas propriedades estruturais musculares. Mero et al. (1991) e Häkkinen et al. (1985) assumem que a hereditariedade fará uma seleção natural dos atletas, podendo determinar o sucesso esportivo, mas o treinamento poderá induzir mudanças estruturais nas fibras musculares, dependendo das características das mesmas.

A relação comprimento-tensão representa uma importante propriedade do músculo em atividades esportivas, tendo em vista que sua capacidade em produzir força é dependente do comprimento em que ele é mantido. Do mesmo modo, a relação força-velocidade do músculo esquelético também é uma propriedade importante capaz de descrever sua capacidade funcional, como relatado no item 2.1.1. Harrison et al. (2004) verificaram que corredores de velocidade apresentaram maiores valores de potência em alta velocidade quando comparados a corredores de endurance, sendo tais valores corrigidos pelo volume da coxa. Tais fatos são atribuídos ao tipo de treinamento diferenciado realizado pelos dois grupos de corredores e suas características neuromusculares intrínsecas.

### 2.1.2 O ciclo alongamento-encurtamento (CAE)

Um fator neuromuscular que tem sido apontado de grande importância para o desempenho de atletas é a utilização do fenômeno chamado ciclo alongamento-encurtamento (CAE). O CAE é uma ação muscular caracterizada por um pré- alongamento das fibras musculares na fase excêntrica do movimento, na qual são ativados os reflexos de estiramento e os elementos elásticos alongados, obtendo um armazenamento de energia elástica que é reutilizada na contração concêntrica (KOMI, 2000). Durante essas ações musculares há a produção de trabalho negativo, no qual tem parte de sua energia mecânica absorvida e armazenada na forma de energia potencial elástica nos elementos elásticos em série (FARLEY, 1997).

A corrida e os saltos são exemplos típicos de evento esportivo ou simples locomoção humana de como a força da gravidade induz ao alongamento muscular, ocasionando este processo de alongamento-encurtamento, como exemplificado na figura 3.



**Figura 3.** Em atividades como correr ou saltar, o impacto acontece quando ocorre o contato com o solo. Isto requer uma pré-ativação dos músculos como os flexores plantares e extensores do joelho para resistir ao impacto (A) e um alongamento muscular durante o contato (B), seguido por uma ação concêntrica (C), no chamado ciclo alongamento-encurtamento (adaptado de KOMI, 2006, p.201).

A ação do CAE tem um propósito bem definido, que é o aumento da potencialização muscular na fase final do movimento (ação concêntrica) quando comparado à ação concêntrica isolada. Está relatado na literatura que este mecanismo parece resultar no aumento da potência muscular (KOMI; BOSCO, 1978; BOSCO et al., 1981; BOSCO et al., 1982a; KOMI; GOLLHOFER, 1997; MERO et al., 2001).

A eficiência na utilização do CAE vai depender de uma série de fatores, tanto musculares quanto neurais. A estrutura mecânica do complexo músculo-tendão, especialmente o tendão, é considerada um dos fatores decisivos no desempenho da função muscular do CAE. A grande importância desta estrutura no CAE está diretamente ligada ao grau de *stiffness* do tendão. *Stiffness* foi definido por Gans (1982 apud UGRINOWITSCH; BARBANTI, 1998) como sendo a resistência oposta, pelo complexo músculo-tendão, à deformação devido a um alongamento rápido. Bosco

(1999) define como uma capacidade neuromuscular de desenvolver altos níveis de força e impor uma resistência ao alongamento muscular.

A importância da estrutura tendínea foi evidenciada no estudo de Finni et al. (2000), no qual evidencio-se que a maior potência gerada em um salto com contra-movimento foi com os níveis de ativação elétrica não-máximos. Isto sugere que os altos níveis de potência muscular gerados foram favorecidos pelo armazenamento da energia elástica nos tendões. Os autores concluíram que para o CAE ser efetivo, uma ativação muscular de alongamento é necessário, visto que assim geram-se condições para suportar altas tensões e alongar o tendão para armazenar energia elástica.

A influência da elasticidade tendínea na performance de atletas de potência foi investigada em um interessante estudo realizado por Kubo et al. (2000), na qual objetivou-se analisar o nível de alongamento do tendão e sua relação com a performance nas corridas de velocidade. Foram avaliados 10 velocistas do sexo masculino e 14 sujeitos para o grupo controle, com características antropométricas semelhantes. O alongamento do tendão dos músculos vasto lateral (VL) e gastrocnêmico (GM) foi determinado por meio do método de ultra-sonografia, durante uma ação isométrica com o joelho em extensão e flexão plantar máxima. Os resultados indicaram que a elasticidade das estruturas do tendão dos músculos VL e GM, em altos níveis de força, possui associação com o armazenamento e o subsequente uso de energia elástica durante exercícios que envolvem o uso do CAE, sendo esta associação similar nos velocistas e no grupo controle. Para os velocistas, no entanto, as estruturas do tendão do VL são mais “elásticas” que os controles, e esta elasticidade em altos níveis de produção de força pode influenciar a performance na corrida.

Kubo et al. (2006) examinaram os fatores elásticos, como a influência do *stiffness* do tendão e o *stiffness* articular, juntamente com a atividade EMG durante os saltos verticais CMJ e *Drop Jump* (DJ). No referido estudo, 23 sujeitos realizaram os saltos CMJ e DJ, sendo avaliados a performance de salto, o *stiffness* articular, estimado por uma equação matemática e o *stiffness* do tendão, mensurado via ultrasonografia computadorizada. Os resultados mostraram que o pré-alongamento muscular no CMJ e DJ foi relacionado com o *stiffness* do tendão, mas não com o *stiffness* articular. Os valores de EMG no CMJ em relação ao SJ durante a fase concêntrica, esteve

significativamente correlacionado com o pré-alongamento, embora esta relação não foi encontrada com o DP. De modo geral, a maior altura de salto no CMJ pode ser explicada tanto pela elasticidade do tendão quanto pelo aumento da ativação muscular, no entanto, a elasticidade do tendão parece ter um papel mais significativo no aumento na altura de salto no DP.

Além dos mecanismos músculo-elásticos, os fatores neurais têm sido relacionados com a potencialização do CAE (BOSCO et al., 1981; BOSCO et al., 1982a). De acordo com Komi e Gollhofer (1997), um CAE eficaz requer três condições fundamentais: pré-ativação muscular bem programada antes da fase excêntrica, fase excêntrica curta e rápida e por último, uma transição imediata entre as fases excêntrica e concêntrica.

Em relação à pré-ativação muscular antes do contato com o solo, Dietz et al. (1979) verificaram que os níveis de pré-ativação, mensurado por meio de EMG durante a corrida, estavam relacionados com o tempo de contato no solo dos atletas em velocidades elevadas, mostrando que a ativação pré-contato é importante na preparação da ação muscular neste movimento de alta potência. Assim, os músculos ao alongarem-se durante a fase excêntrica já estariam com níveis ótimos de ativação, o que poderia potencializar a ação do CAE.

Na fase excêntrica, o reflexo induzido pelo estiramento desempenha papel importante na geração de força durante a formação das pontes cruzadas, devido à rigidez elástica formada, o *stiffness* muscular (NIKOL; KOMI, 1998). Pode-se perceber assim que os reflexos contribuem na eficiência do comportamento motor, devido a uma rápida transição do complexo músculo-tendão, previamente ativado e alongado, para a fase final concêntrica.

A ação do CAE pode ser mensurada por meio de técnicas *in vivo*, utilizando transdutores de deformação ou metodologias com fibra ótica (KOMI, 2000). Estas técnicas são consideradas as mais precisas, no entanto, são bastante invasivas e caras, inviabilizando em grande parte seu uso. Como forma alternativa, o CAE tem sido amplamente estimado por meio do uso de métodos indiretos, como pelo desempenho nos saltos verticais, realizados com e sem contra-movimento.



No salto denominado *Squat Jump* (SJ), realizado a partir de uma posição estática e semi-agachada, é mensurado a potência muscular do atleta utilizando somente a fase concêntrica do movimento. A habilidade em recrutar o CAE pode ser estimada em um salto realizado com contra-movimento (CMJ) ou então pela diferença encontrada entre SJ e CMJ, sendo a mesma atribuída basicamente aos fatores elásticos, na ação do ciclo alongamento-encurtamento (BOSCO et al., 1981; BOSCO et al., 1982a; McBRIDE et al., 2008).

Esse mecanismo foi amplamente investigado e explorado pela equipe de pesquisadores formada por Paavo Komi, Carmelo Bosco e demais colaboradores. Um dos primeiros estudos realizados no intuito de avaliar tal fenômeno foi de Bosco et al. (1981), no qual 10 sujeitos masculinos saudáveis foram submetidos a realizar os saltos SJ e em seguida o CMJ. Verificou-se aumento significativo nos valores de força e potência na fase concêntrica do CMJ em comparação ao SJ. Essa maior performance foi atribuída às mudanças no complexo músculo-tendíneo, acúmulo de energia elástica e de reflexos de estiramento, fatores estes responsáveis pela otimização do CAE.

Nessa mesma perspectiva, Bosco et al. (1982a) em investigação semelhante, submeteram cinco sujeitos a realizarem o SJ (somente a ação concêntrica) e logo após o CMJ (ação concêntrica precedida da excêntrica). Neste estudo foram monitorados a atividade EMG dos músculos gastrocnêmio e sóleo. Corroborando o estudo anterior, o melhor desempenho nos saltos foi obtido no CMJ, além de a atividade EMG ter sido potencializada durante a fase concêntrica neste salto quando comparado ao SJ. Assim, o aumento da performance no CMJ foi atribuído à combinação da utilização da energia elástica no CAE e da potencialização da ativação muscular.

### 2.1.3 Os saltos verticais como discriminadores da performance de corredores

A habilidade em utilizar o CAE e em gerar altos níveis de potência de modo eficiente é considerado um fator crítico em muitos esportes. Uma grande diversidade de investigações tem sido realizadas por cientistas do esporte para examinar os fatores relacionados à potência muscular e os efeitos do CAE na performance atlética de

corredores (HENNESSY; KILTY, 2001; HARRINSON et al., 2004; SLEIVERT; TAINGAHUE, 2004; MIGUEL; REIS, 2004; SMIRNIOTOU et al., 2008). Nesse sentido, o uso dos saltos verticais SJ e CMJ apresenta-se como um dos métodos mais utilizados para esse fim, sendo considerados válidos e de grande confiabilidade (MARKOVIC et al., 2004).

No SJ, a altura adquirida ou a potência produzida são atribuídas somente a ação muscular da fase concêntrica do movimento (BOSCO et al., 1999). Neste salto, a altura de elevação do centro de gravidade é consideravelmente inferior à obtida no CMJ. Uma das explicações para isso é a ocorrência do CAE neste último, potencializando a ação muscular por meio da energia elástica acumulada e aos reflexos de estiramento (BOSCO et al., 1981; KOMI, 2000).

Procurando responder especificamente a questão: “por que a altura de salto no CMJ é maior que no SJ?”, Bobbert e Casius (2005) propuseram um modelo mecânico para explicar tal fato. A explicação para o aumento da performance no CMJ em relação ao SJ parece ser que na primeira situação é permitido aos músculos construir um estado ativo de pré-contração na qual há uma alta fração de pontes cruzadas formadas e força gerada antes do encurtamento. Assim, os músculos ativos são capazes de produzir mais trabalho no início do movimento. Resultados do estudo de McBride et al. (2008) indicaram que a maior altura no salto CMJ em relação ao SJ está associado com o aumento nos níveis de pré-ativação e ativação muscular na fase excêntrica. Estas características específicas que diferenciam o SJ e CMJ estão relacionados com a performance de corredores, conforme citações a seguir.

O desempenho no SJ, que reflete basicamente a habilidade de recrutamento neural do atleta, possui boa correlação com o desempenho em *sprints*, tendo em vista que em ambas as situações a ação concêntrica dos músculos extensores do joelho é considerada determinante na geração de forças propulsivas (SLEIVERT; TAINGAHUE, 2004). Tais forças são de extrema importância na aceleração dos velocistas, principalmente na saída dos blocos de partida e nos trechos iniciais da corrida (MERO; KOMI, 1994).

A razão CMJ/SJ foi proposta como um indicador da utilização do CAE (McGUIGAN et al., 2006), porém, ela parece não discriminar diferentes grupos de

corredores, como evidenciado na investigação de Harrison et al. (2004). No referido estudo, corredores velocistas e fundistas foram avaliados realizando os saltos verticais SJ e CMJ, sendo a razão encontrada entre eles semelhante para os dois grupos, indicando que, tanto velocistas quanto fundistas, conseguem utilizar o CAE. No entanto, os valores de altura e potência obtidos no CMJ, salto que envolve o aproveitamento do ciclo alongamento-encurtamento, foram estatisticamente superiores no grupo de velocistas, sugerindo ser a melhor variável capaz de diferenciar atletas de *endurance* com os de potência.

A influência de diferentes variáveis neuromusculares nas corridas de velocidade foi investigada em estudo realizado por Miguel e Reis (2004), no qual relacionou-se o desempenho em saltos verticais com a performance na corrida. Participaram da pesquisa um grupo de 15 corredores, especialistas na prova de 400 m e considerados heterogêneos quanto a performance. Os atletas realizaram três diferentes tipos de saltos verticais: o CMJ, que representou a potência máxima, 15 saltos “reativos”, para estimar o *stiffness* muscular (resistência ou rigidez imposta pelo tendão a uma deformação causada por um alongamento rápido) e, por último, 30 saltos contínuos com contra-movimento (30CMJ), expressando a capacidade de resistir à produção de potência. Os resultados obtidos indicaram que o desempenho no CMJ foi uma variável que se relacionou significativamente com os 400 m ( $r=-0,68$ ). A variável 30CMJ foi a mais fortemente correlacionada com esta prova ( $r=-0,75$ ), sendo considerada pelos autores a manifestação de força mais importante para um quatrocentista. Quando estas variáveis foram incluídas juntas para identificar a associação com a performance nos 400 m, encontrou-se associação ainda mais significativa, com  $r = -0,76$ . De acordo com os autores, estas associações puderam ser diagnosticadas em função do grupo ser considerado heterogêneo quanto á performance.

Corroborando os relatos dos estudos supra-citados, Henessy e Kilty (2001) verificaram que a altura de salto no CMJ possui correlação significativa com a performance nas corridas de velocidade. No referido estudo, 17 velocistas do sexo feminino de nível competitivo foram submetidas a realizar o salto com contra-movimento (CMJ) e *sprints* máximos de 30 m, além das corridas para determinação da performance nas distâncias de 100 e 300 m. Os resultados obtidos indicaram haver

associação significativa do CMJ com os *sprints* ( $r = -0,60$ ) e com 100 m ( $r = -0,64$ ) e 300 m rasos ( $r = -0,55$ ). Tais resultados confirmam que a altura de salto no CMJ é um índice capaz de discriminar a performance de corredores velocistas.

Em recente estudo, Smirniotou et al. (2008) analisaram a relação conjunta de vários parâmetros de força-potência com a performance na corrida de 100 m rasos. Vinte e cinco jovens velocistas realizaram os saltos verticais SJ, CMJ, DP (*Drop Jump*), repetidos *Jumps* (RJ) e uma corrida de 100 m, à máxima intensidade. Além do desempenho nestes, foram calculados o tempo de reação nos blocos (RT), a razão entre SJ/CMJ e a velocidade média nos trechos de 0-10m, ( $V_0 - V_{10}$ ), 10-30 m ( $V_{10} - V_{30}$ ), 30-60 m ( $V_{30} - V_{60}$ ) e dos 60-100m ( $V_{60} - V_{100}$ ). Uma análise de regressão múltipla *stepwise* mostrou que a  $V_0 - V_{10}$  depende basicamente do SJ e DP;  $V_{10} - V_{30}$  depende somente do SJ e os trechos de  $V_{30} - V_{60}$  e  $V_{60} - V_{100}$  são dependentes basicamente do CMJ. A análise estatística revelou que 46,5% da variabilidade na performance nos 100 m pode ser explicada pelas variáveis de força e potência analisadas. A conclusão do estudo foi que a performance nesta prova é fortemente dependente de tais fatores neuromusculares, sendo o SJ ou CMJ os melhores preditores.

## 2.2 Índices relativos ao sistema anaeróbio de produção de energia

O sistema anaeróbio é caracterizado por um conjunto de vias metabólicas capaz de fornecer energia sem a presença de oxigênio na célula, na chamada hipóxia muscular. A fonte imediata de energia provém da hidrólise do ATP muscular. Como esta concentração de ATP existe em baixa concentração na célula, existem dois processos anaeróbios de produção energética que irão satisfazer a demanda: o primeiro, denominado alático, envolve reações químicas muito simples como a quebra dos fosfatos de alta energia, a chamada fosfocreatina (PCr), que junto com os estoques de ATP celular provém energia rápida para exercícios explosivos e de alta intensidade. O segundo, denominado láctico, envolve a utilização da via glicolítica anaeróbia, com a quebra incompleta de glicose muscular para a produção de energia. A partir deste

metabolismo formar-se-á subprodutos ou resíduos metabólicos, entre os quais o ácido láctico, que será posteriormente tamponado resultando no lactato ou oxidado na via aeróbia (GASTIN, 2001).

Os eventos esportivos de alta intensidade, como as corridas de velocidade, são classificados como altamente anaeróbios, sendo fortemente dependente da potência e capacidade deste sistema (SPENCER; GASTIN, 2001; DUFFIELD, 2004). A potência anaeróbia pode ser definida como o máximo de energia liberada por unidade de tempo pelas fontes de ATP-PC e da glicólise anaeróbia, enquanto que a capacidade anaeróbia pode ser definida como a quantidade total de energia disponível nesse sistema. Tais fontes de energia proporcionam a realização de exercício de alta intensidade, porém, por serem limitadas, a rápida redução dos estoques de ATP-PC e o acúmulo de lactato com concomitante redução no pH poderá interromper o exercício ou diminuir a quantidade de trabalho realizado (GASTIN, 2001).

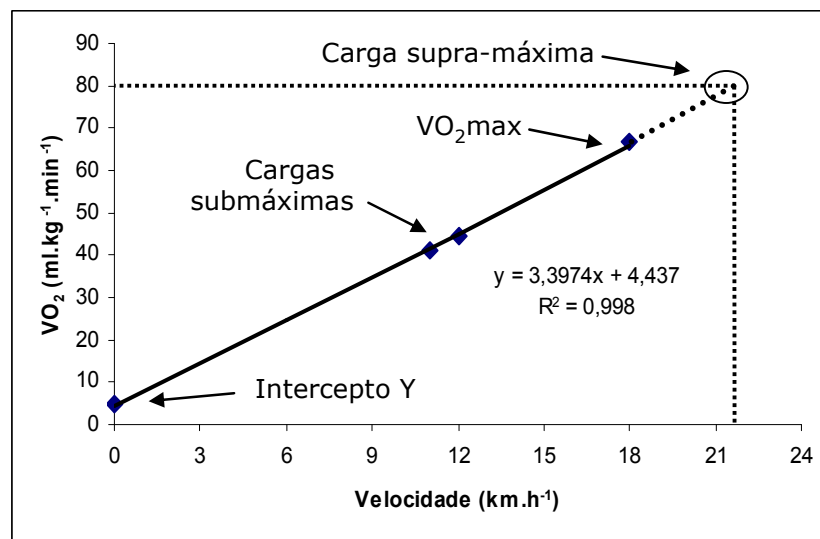
Considerado um importante índice na avaliação de atletas, a capacidade anaeróbia normalmente é mensurada através da quantificação do desempenho mecânico em exercício supramáximo (acima do  $VO_2$  max), sendo o teste de Wingate, um dos mais utilizados. Medições diretas também podem ser realizadas, utilizando, por exemplo, a biópsia muscular ou ressonância magnética para quantificar o as concentrações de ATP muscular. No entanto, o uso de tais técnicas muitas vezes torna-se inviável, principalmente nas medições diretas, por serem procedimentos invasivos e/ou caros. Outra limitação apontada, relacionado aos testes mecânicos supra-máximos diz respeito a dificuldade em separar e definir quantitativamente a contribuição dos sistemas energéticos aeróbio e anaeróbio durante o teste (NAKAMURA; FRANCHINI, 2006).

Nesse sentido, mensurações diretas do déficit de oxigênio têm sido apontadas como uma técnica eficaz de quantificar tal capacidade. A seguir, será descrito sobre dois índices anaeróbios, o máximo déficit acumulado de oxigênio (MAOD) e o lactato máximo (LACmax), suas características, aplicações, limitações e relações com a performance nas corridas.

### 2.2.1 Máximo déficit acumulado de oxigênio

Tendo em vista tais limitações descritas anteriormente e problemas encontrados nos tradicionais testes para medir capacidade anaeróbia, sugeriu-se o uso do método denominado máximo déficit acumulado de oxigênio (MAOD), inicialmente proposto por Medbo et al. (1988) e atualmente considerado um dos testes mais aceitos para este fim.

De acordo com os procedimentos originais de Medbo (1988), o MAOD consiste no estabelecimento de uma relação linear entre carga de trabalho e consumo de oxigênio, sob condições submáximas, com intensidades entre 35-100% do  $\text{VO}_2\text{max}$ . A relação linear é então extrapolada para cargas supra-máximas, para a estimativa da demanda energética maior que a correspondente ao  $\text{VO}_2\text{max}$  (ver figura 4).



**Figura 4:** Representação da relação linear entre  $\text{VO}_2$  e carga de trabalho, utilizada para estimar o consumo supra-máximo de  $\text{O}_2$ , indicado pelo círculo.

Testes supra-máximos com cargas retangulares na faixa entre 110-125% do  $\text{VO}_2\text{max}$ , com durações entre 1,5 e 10 minutos, costumam ser utilizados para induzir à exaustão, utilizado na estimativa do MAOD. A demanda de  $\text{O}_2$  acumulada em teste supra-máximo é dada pela multiplicação da demanda de  $\text{O}_2$  extrapolada pelo tempo de exercício até a exaustão. A diferença entre a demanda acumulada de  $\text{O}_2$  e o  $\text{VO}_2$  acumulado no teste, resultará no máximo déficit acumulado de oxigênio (MAOD).

É importante lembrar que, metodologicamente, o cálculo do MAOD pelos procedimentos de Medbo et al. (1988) baseia-se em dois pressupostos importantes: 1) a demanda de  $O_2$  pode ser estimada a partir da extrapolação linear do  $VO_2$  do estado estável de cargas submáximas e; 2) a demanda de  $O_2$  é constante durante o teste retangular na carga supra- $VO_{2max}$ .

Como forma de provar a natureza anaeróbia do teste, Medbo et al. (1988) submeteram os sujeitos de seu estudo, que foram adultos saudáveis, a um teste para determinação do MAOD sob condições de hipóxia, com redução da concentração inspirada de  $O_2$  para 13,5%, simulando uma altitude de 3500m. O protocolo foi composto por no mínimo 10 testes sub-máximos, com cargas entre 35-100% do  $VO_{2max}$ , em normoxia, além de um teste supra-máximo em condições de hipoxia. Realizou-se o cálculo do MAOD, de acordo com o descrito no parágrafo anterior, e verificou-se que apenas o  $VO_{2max}$  e a tolerância ao exercício sofreram prejuízos, sendo mantidos inalterados os valores do MAOD. Isso reforça e comprova a validade deste teste para medir capacidade anaeróbia.

Neste mesmo estudo, Medbo et al. (1988) preocupou-se em verificar até que ponto o MAOD aumenta com a duração do exercício. Para isso, submeteu os avaliados a realizar testes supra-máximos com exaustão para 15 e 30 s e 1, 2 e 4 min. Os resultados mostraram que o MAOD alcança o valor máximo em exercícios de 2 min. Em concordância com tal fato, as concentrações de lactato mensuradas após tais exercícios, considerado indicador da atuação do metabolismo anaeróbio, apresentaram os maiores picos nos exercícios de até 2 min. Os autores comentam que este fato pode ser explicado pela ação e contribuição da glicólise anaeróbia no fornecimento energético, já que a quantidade de energia do sistema anaeróbio é dependente da duração do exercício.

Ransbottom et al. (1994), em um dos objetivos de seu estudo, objetivaram verificar a reprodutibilidade do cálculo do MAOD. Para isso, 12 corredores realizaram, em dois diferentes dias, um teste de exaustão máxima em esteira rolante, na mesma velocidade. A duração do tempo de exaustão foi, em média, 10 s maior no segundo dia de teste, porém tal diferença não se revelou significativa. Essa leve diferença no tempo de exaustão não resultou em nenhuma diferença significativa no cálculo do MAOD

( $65,2 \pm 10,9$  vs  $66,3 \pm 12,5$   $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ), mostrando ser um teste reprodutível na intenção de avaliar a capacidade anaeróbia.

Diversos estudos têm sido realizados na intenção de verificar em quais eventos esportivos o MAOD possui melhor poder discriminatório. Em trabalho bastante interessante, Scott et al. (1991) com o objetivo de verificar a validade do MAOD em diferentes corredores, avaliou 12 atletas de nível nacional, entre eles velocistas, meio-fundistas e fundistas, na qual calculou o MAOD por meio de um método alternativo, utilizando apenas três testes sub-máximos. Os autores verificaram que o MAOD discriminava a capacidade anaeróbia de corredores fundistas, com valor de  $56,9 \text{ ml.kg}^{-1}$ , que não diferiu do grupo controle sedentário ( $56,1 \text{ ml.kg}^{-1}$ ), mas inferiores aos valores encontrados para os velocistas ( $78,3 \text{ ml.kg}^{-1}$ ) e meio-fundistas ( $74,2 \text{ ml.kg}^{-1}$ ). Estes resultados indicam que a maior capacidade anaeróbia é dos velocistas, sendo esta atribuída a alguns fatores como um maior número de fibras e contração rápida (MERO et al., 1991) e maior capacidade glicolítica nestes indivíduos. Neste mesmo estudo, verificou-se que o tempo nos 300 m, corrida tipicamente de velocidade, foi uma variável que conseguiu distinguir os três grupos de atletas, sendo maior nos velocistas. O desempenho nesta corrida correlacionou-se significativamente com o MAOD e outros testes anaeróbios, mostrando-se assim um bom indicador da capacidade anaeróbia de corredores.

Em função disso, o MAOD possui maior associação com eventos de curta duração, como nas corridas de velocidade.

Ramsbottom et al. (1994) investigaram em 14 sujeitos, a relação do MAOD, mensurado em exercício a 120% do  $\text{VO}_2\text{max}$ , com a performance nas corridas de 100, 400 e 800 m rasos. Verificaram-se fortes correlações negativas do MAOD com o tempo na prova de 100 m ( $r = -0,88$ ) e nos 400 m rasos ( $r = -0,82$ ). Já nos 800 m rasos, corrida de caráter mista, com contribuição dos sistemas aeróbio e anaeróbio para produção de energia (SPENCER; GASTIN, 2001), a correlação encontrada foi moderada ( $r = -0,61$ ).

Resultados bastante semelhantes foram obtidos na investigação de Nevill et al. (2008), na qual analisaram a relação do MAOD com estas mesmas distâncias de prova (100, 400 e 800 m rasos). Participaram do estudo 14 sujeitos (10 homens e 4 mulheres), de diferentes níveis competitivos. O MAOD foi calculado de acordo com os



procedimentos originais sugeridos por Medbo et al. (1988). Fortes correlações significativas foram encontradas entre o MAOD com a velocidade média nos 100 m ( $r = 0,86$ ) e 400 m ( $r = 0,80$ ), enquanto que com os 800 m esta relação foi mais moderada ( $r = 0,61$ ), mas significativa a  $p < 0,05$ . Neste mesmo estudo, a variável aeróbia analisada  $VO_2\text{max}$  correlacionou-se fortemente com a performance nos 800 m, sugerindo que, provas com distâncias próximas a 800 m, a potência aeróbia parece ser mais determinante para a performance. Corroborando o estudo anterior, os resultados de Nevill et al. (2008) suportam a idéia que a importância do fornecimento energético via metabolismo anaeróbio diminui à medida que a distância da corrida aumenta.

A relação do MAOD com a prova de 800 m foi especificamente investigada por Craig e Morgan (1998), sendo a amostra do estudo constituída por corredores meio-fundistas homogêneos em termos de performance. Foram realizados quatro testes em esteira rolante, para determinar o  $VO_2\text{max}$ , o valor de consumo de oxigênio em duas velocidades sub-máximas e o valor de consumo de intensidade supra-máxima. A partir destes valores, calculou-se, por meio de uma extrapolação linear, os valores do MAOD. Além disso, uma corrida máxima de 800 m foi realizada em pista. Os resultados mostraram não haver correlação significativa do MAOD com a performance nos 800 m, evidenciando que a capacidade anaeróbia parece não ser a principal determinante desta prova.

O MAOD tem sido relacionado com outros testes de capacidade anaeróbia, como o teste máximo de corrida anaeróbia ( $V_{\text{MART}}$ ) (MAXWELL; NIMMO, 1996), potência e capacidade anaeróbia mensurada por meio do teste de Wingate e trabalho mecânico em esteira rolante (SCOTT et al., 1990). Com base nestas evidências, o MAOD é apontado na literatura como bom preditor da capacidade anaeróbia e apresenta fortes relações com eventos de curta duração. Além disso, parece ser sensível aos efeitos do treinamento (TABATA et al., 1996), fator este importante para o controle da performance atlética.

Apesar de ser o padrão ouro da medida da capacidade anaeróbia, o método proposto por Medbo et al. (1988) para o cálculo do MAOD sofre algumas críticas. A principal delas é em relação à possível não linearidade existente entre consumo de oxigênio e carga de trabalho em intensidades submáximas, relação essa extrapolada

para prever o  $VO_2$  em intensidade supra-máximas, de acordo com o pressuposto 1. Segundo Ransbottom et al. (1994), uma das causas que podem interferir na linearidade entre consumo de  $O_2$  e carga de trabalho é que, em cargas acima de 75% do  $VO_{2max}$  as concentrações de lactato aumentam, interferindo na cinética de consumo e aumentando o componente anaeróbio no exercício. Desta forma, ao adotar tal método certa cautela deve ser tomada na escolha das intensidades submáximas.

### 2.2.2 Respostas do lactato sanguíneo em exercícios de alta intensidade

Como relatado anteriormente, a energia liberada pela fonte anaeróbia durante exercícios de alta intensidade pode provir dos estoques de ATP-PC (alático) e da glicólise (lático). A quantificação das concentrações de lactato [Lac] pós-exercício tem sido utilizada por pesquisadores como medida da taxa de liberação de energia anaeróbia. No entanto, as [Lac] sugerem apenas o quanto a glicólise foi solicitada, o que limita quantificar a capacidade anaeróbia (CAN) de um indivíduo, visto que esta depende também da energia provinda da via alática (GASTIN, 2001).

Altos valores de [Lac] sanguíneo verificado após um esforço máximo indicam elevada taxa de participação da glicólise anaeróbia, o que pode estar associado à CAN do indivíduo, visto que mais energia (ATP) foi liberada para a contração muscular. Embora as [Lac] no sangue indiquem a solicitação da glicólise, alguns fatores limitam a possibilidade de haver relação das [Lac] com tal capacidade. Entre eles, a variabilidade na taxa de remoção, na qual a concentração encontra picos em tempos variados após o exercício e o fato dela não refletir a produção muscular de lactato (JACOBS; KAISER, 1982; JACOBS, 1986), podem comprometer a análise. Além disso, as [Lac] não permitem nenhuma indicação sobre a utilização do sistema de fosfagênios, ficando exclusivamente como preditor da capacidade anaeróbia láctica (GASTIN, 2001).

O pico de lactato (LACmax) obtido pós-exercícios de alta intensidade tem sido utilizado como indicativo da capacidade glicolítica. Uma revisão de diversos estudos apresentado por Jacobs (1986) evidenciam o fato que as respostas do lactato em

exercícios supramáximos são indicadores sensíveis da adaptação ao treinamento de velocidade, e está correlacionado com a performance em exercícios supra-máximos.

Diversos estudos realizados tem sugerido relações entre produção de lactato com performance em eventos de curta e média duração. Na tentativa de investigar qual o tempo de exercício máximo que possui maior relação com a [Lac], De-Oliveira et al., (2006) avaliaram oito corredores velocistas de elite, que realizaram corridas máximas em pista de 30 e 60s, sendo recolhidas amostras de sangue até o 10º minuto após o exercício. Os autores verificaram associação significativa da maior concentração de lactato somente com a distância percorrida na corrida de 60s (aproximadamente 470m). Isso demonstra que a glicólise ficou mais tempo ativa no fornecimento de energia, sendo exercícios com duração próximo a um minuto mais dependente do metabolismo láctico. Para a corrida de 30s, pressupõe-se que a potência e capacidade alática tenham maior importância.

Nessa mesma perspectiva de investigação, Hautier et al. (1994) relacionou a capacidade glicolítica de velocistas, estimada pelas concentrações de lactato pós-exercício, com a performance em provas de 100 e 200 m. O grupo de atletas avaliado foi composto por 12 velocistas de nível nacional. Não foram encontradas correlações significativas da performance nas provas com as [Lac] obtidas 5 min após as corridas. Esses achados reforçam a idéia apresentada no parágrafo anterior, mostrando que em eventos como os 100 e 200 m, os atletas utilizam predominantemente o sistema anaeróbio alático para fornecimento de energia, não permitindo assim fazer associações com a produção de lactato.

Análises das concentrações de lactato sanguíneo pós-exercício também foram realizadas em estudo de Lacour et al. (1990a), que teve como objetivo correlacionar a capacidade glicolítica com a velocidade sustentada em provas de 400, 800 e 1500 m rasos. Neste estudo foram avaliados 17 atletas de alto nível (11 masculinos e 6 femininos). Os resultados obtidos revelaram haver associação significativa da velocidade sustentada na prova com as concentrações de lactato obtidas após os 400 m nos atletas ( $r = 0,85$ ) e nas atletas ( $r = 0,79$ ); nos 800 m rasos esta relação também foi significativa, tanto no sexo masculino ( $r = 0,80$ ) assim como no feminino ( $r = 0,71$ ). Nos 1500 m, não foram encontradas relações significativas entre velocidade e o pico de

lactato, em ambos os sexos. Tais resultados demonstram que a capacidade glicolítica anaeróbia, estimada pelas produções de lactato, é uma aptidão importante para atletas de provas consideradas “láticas”, como 400m, podendo também estender-se aos 800m rasos.

Objetivando comparar a capacidade glicolítica de diferentes grupos de corredores, Friedmann et al. (1997) mensuraram, em corredores de 400 m e de *endurance*, o pico de concentração de lactato (LACmax) após exercício intenso em esteira ( $v=18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ), além da análise das concentrações de amônia ( $\text{NH}_3$ ) e o valor do MAOD. Os resultados obtidos mostraram que o MAOD ( $87.3 \pm 8.1$  vs  $59.7 \pm 11.8 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) e o LACmax ( $19.5 \pm 2.4$  vs  $15.2 \pm 1.9 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) foram significativamente maiores nos corredores de 400 m que nos de *endurance* ( $p < 0.001$ ). Além disso, o LACmax correlacionou-se positivamente com as demais variáveis, MAOD ( $r=0,68$ ;  $p<0,05$ ) e  $\text{NH}_3$  ( $r=0,66$ ;  $p<0,05$ ). Tendo em vista a relação com o MAOD, o LACmax pareceu ser um bom indicador da capacidade anaeróbia nesta situação. Conclui-se que as diferenças de capacidade glicolítica e anaeróbia entre os dois grupos de corredores foram claramente evidenciadas pela variável LACmax assim como pelo MAOD, mostrando ser capaz de discriminar atletas de potência com atletas de *endurance*.

Os valores de [Lac] sanguíneo obtidos pós-exercício máximo também se mostraram correlacionados com o MAOD em estudo realizado por Ransbottom et al. (1994). As amostras de sangue no referido estudo foram recolhidas após o 1º e 3º minuto de recuperação de uma corrida realizada em esteira rolante em intensidade relativa à 120% do  $\text{VO}_2\text{max}$ . O MAOD foi calculado a partir da diferença entre o consumo de oxigênio acumulado no teste a 120% e o valor de consumo estimado para esta carga de trabalho. As correlações encontradas entre MAOD e as [Lac] obtidas após 1 e 3 minutos do final da corrida foram de 0,80 ( $p < 001$ ) e 0,73 ( $p < 0,010$ , respectivamente).

A associação das [Lac] com outros testes anaeróbios também foi investigada por Scott et al. (1990), no qual relaciono-se a concentração da variável metabólica obtida 5 minutos pós-exercício supra- $\text{VO}_2\text{máx}$  com o MAOD e com a capacidade e potência anaeróbia, mensurada por meio do teste de Wingate. Foram avaliados 12 corredores, velocistas e meio-fundistas. Os resultados mostraram haver associação significativa das

[Lac] 5min pós-exercício com potência e capacidade anaeróbia ( $r = 0,69$  e  $0,64$ , respectivamente), porém apenas uma tendência de associação com o MAOD ( $r = 0,58$ ) foi observado.

De acordo com os estudos supracitados, parece que as [Lac] quantificadas pós-exercício tem se mostrado como boa indicadora da taxa de utilização do sistema anaeróbio láctico, sempre tomando as devidas precauções citadas anteriormente. Os altos valores de concentração de lactato pós-exercício não garantem exclusivamente, entretanto, bom desempenho do atleta em um exercício de alta intensidade. Ao mesmo tempo em que ocorre elevação nas [Lac] de lactato muscular, haverá diminuição significativa do pH intracelular, reduzindo as funções das enzimas glicolíticas e consequentemente comprometendo o fornecimento energético (ATP) desta via (HOGAN et al., 1995). Assim, a tolerância ao pH elevado também parece ser um fator importante para a performance.

### **2.3 Índices fisiológicos relativos ao sistema aeróbio de produção de energia**

O sistema aeróbio de produção de energia envolve a combustão de carboidratos e/ou gorduras para produção de ATP, com a presença de oxigênio nas reações do metabolismo celular. Uma alta aptidão aeróbia está relacionada com a habilidade de um indivíduo em captar oxigênio pelos pulmões e absorver tais moléculas pelas células (DENADAI, 1999). Foi assumido por muito tempo que o sistema aeróbio responde lentamente à demanda energética em exercícios de alta intensidade, possuindo inexpressiva contribuição nestes eventos. Contudo, este ponto de vista parece estar mudando, tendo em vista que recentes estudos evidenciaram um significativo papel do metabolismo aeróbio em exercícios tradicionalmente taxados como anaeróbios (HILL, 199; SPENCER; GASTIN, 2001; DUFFIELD et al., 2005). A seguir, serão apresentados alguns índices do sistema aeróbio, abordando suas características e relações com a performance.

### 2.3.1 Consumo máximo de oxigênio (VO<sub>2</sub>max)

O VO<sub>2</sub>max é considerado um dos principais indicadores da aptidão cardiorespiratória de um indivíduo. O mesmo representa a mais alta taxa no qual o oxigênio pode ser captado e utilizado pelo corpo durante o exercício máximo (BASSETT; HOWLEY, 2000). Conceitualmente, o VO<sub>2</sub>max pode ser definido como o nível máximo de captação pelos pulmões, transporte pelos vasos sanguíneos e a absorção do oxigênio pelas células, com a finalidade de produção de energia durante o exercício (DENADAI, 1999).

No esporte, ele é o índice fisiológico que melhor representa a potência aeróbia, ou seja, é uma medida da quantidade máxima de energia que pode ser produzida pelo metabolismo aeróbio em uma determinada unidade de tempo (DENADAI et al., 2004).

Os valores de VO<sub>2</sub>max apresentam grande variação entre indivíduos que possuem diferentes níveis de aptidão aeróbia. Em jovens sedentários e aparentemente saudáveis, os valores de VO<sub>2</sub>max geralmente variam entre 40 e 50 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> (DENADAI, 1996). Entretanto, estes valores chegam a ser 1,5 a 2 vezes maior em corredores, nadadores e ciclistas (DENADAI, 1995). Os altos valores de VO<sub>2</sub>max observados em competidores de endurance são, provavelmente, resultantes de uma combinação de aspectos relacionados à genética e à especificidade do treinamento.

As melhores correlações entre VO<sub>2</sub>max e a performance tem sido encontradas em grupos heterogêneos de corredores de *endurance*. Em estudo realizado em corredores com grande heterogeneidade nos valores de VO<sub>2</sub>max (54,8 - 81,6 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>), relacionou-se os valores de VO<sub>2</sub>max com a *performance* na prova de 10 milhas. Os resultados mostraram haver uma alta correlação ( $r = - 0,91$ ) entre o VO<sub>2</sub>max e o tempo de corrida nessa distância (COSTILL et al., 1973). Em contrapartida, Denadai (1996) afirma que uma baixa correlação existe entre o VO<sub>2</sub>max e a *performance* em indivíduos altamente treinados, possivelmente em virtude do VO<sub>2</sub>max nem sempre se modificar com o treinamento ou destreinamento.

Como descrito anteriormente, as pesquisas realizadas tem tradicionalmente comprovado que os índices relacionados ao sistema aeróbio apresentam forte correlação com a performance em provas de média e longa duração (DENADAI et al.,

2004; DENADAI, 1996). No entanto, nas corridas de velocidade ainda não foram evidenciadas claramente qual a relação destas variáveis com a performance, tendo em vista que está relatado na literatura que existe uma parcela de contribuição do sistema aeróbio nestas provas, apesar serem predominantemente anaeróbias (DUFFIELD, 2004; SPENCER; GASTIN, 2001; GASTIN, 2001). O tradicional ponto de vista que o sistema aeróbio teria um papel insignificante no exercício de alta intensidade parece estar sendo revisto entre cientistas e técnicos desportivos.

Poucos estudos têm procurado investigar a relação de fatores aeróbios com a performance em provas de curta duração. Em dois estudos bastante semelhantes, Ransbottom et al. (1994) e Nevill et al. (2008) relacionaram o  $VO_2\text{max}$  com a performance nas distâncias de 100, 400 e 800 m rasos. Em relação ao primeiro estudo, realizado com 14 sujeitos, os resultados encontrados mostraram haver fortes correlações do  $VO_2\text{max}$  com a performance nos 800 m ( $r = -0,92$ ;  $p < 0,01$ ). Quando relacionada com a performance nas corridas de velocidade, o  $VO_2\text{max}$  apresentou correlação significativa com a velocidade média nos 400 m ( $r = -0,78$ ), e não-significativa com os 100 m ( $r = 0,52$ ). Resultados bastante semelhantes foram obtidos no estudo de Nevill et al. (2008), no qual foram avaliados também 14 sujeitos, de diferentes níveis competitivos, nas mesmas distâncias de prova do estudo anterior. As relações encontradas entre o  $VO_2\text{max}$  e a performance foi de 0,51, 0,77 e 0,92 para as provas de 100, 400 e 800 m rasos, respectivamente. Tais resultados sugerem que a performance, até mesmo em provas de curta duração, como os 100 m, possui determinada relação com consumo máximo de oxigênio e esta relação vai aumentando à medida que aumenta a distância da prova.

A importância do consumo de oxigênio nos eventos anaeróbios foi evidenciada em um estudo realizado por Bogdanis et al. (1996), que objetivou verificar a contribuição dos sistemas aeróbio e anaeróbio durante a realização de *sprints* repetidos. Oito sujeitos realizaram dois *sprints* de 30 s em um ciclo ergômetro, realizando-se medidas de PC e de  $VO_2$  logo após os mesmos. Verificou-se que após realização do 2º *sprint*, houve significativa redução das fontes PC, resultando em uma queda de 45% nas fontes anaeróbias, porém reduzindo apenas 18% o trabalho realizado no 2º *sprint*. Esta baixa queda parece ter sido parcialmente compensada pelo

aumento no  $VO_2$  no 2º *sprint* em relação ao 1º. Nesse sentido, atribui-se importância ao sistema aeróbio no fornecimento de energia para sustentar o trabalho realizado em situações de depleção das fontes anaeróbias. As relações apresentadas por Nevil et al. (2008) e Ransbotton et al. (1994) entre  $VO_{2max}$  e a performance nas corridas de velocidade podem ser atribuídas a fatores ligados a esse fenômeno.

Essa idéia da importância do consumo de oxigênio ao final de exercícios anaeróbios é reforçada no estudo realizado por Spencer e Gatin (2001), no qual foram analisados em 9 velocistas de alto nível a participação relativa dos sistemas aeróbio e anaeróbio nas corridas de 200 e 400 m, utilizando o método do déficit acumulado de oxigênio. Os resultados mostraram que a contribuição do sistema aeróbio nas provas de 200 e 400 m vai aumentando à medida que se aproxima o fim da prova. Durante os 400 m simulados, que teve duração média de 50 s, os autores observaram que próximo aos 30 s a predominância no fornecimento de energia passava do sistema anaeróbio para o aeróbio, no qual os atletas chegaram a alcançar um percentual de consumo de oxigênio de 90% do  $VO_{2max}$  ao final da prova. Esses dados reforçam então a importância do sistema aeróbio nestas provas.

Aspectos relacionados ao consumo de oxigênio em intensidade submáximas foram investigados por Matt Green et al. (2003) em atletas anaeróbios e os comparou com atletas aeróbios. Em tal investigação, foram avaliados sujeitos masculinos e femininos, atletas de diferentes modalidades esportivas, divididos em três grupos: aeróbio ( $VO_{2max} > 65 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  para homens e  $> 60 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  para mulheres); anaeróbio (futebolistas, decatletas e corredores), além de um grupo de indivíduos destreinados. Para avaliar variáveis relativas ao consumo máximo de oxigênio, que foi  $VO_{2max}$  e o valor do limiar de compensação ventilatório (RCT) relativo de consumo de oxigênio, realizou-se um teste incremental de esteira. Os resultados obtidos mostraram que os valores de  $VO_{2max}$  são maiores nos competidores aeróbios que os destreinados, enquanto o grupo anaeróbio ficou entre estes grupos. Entretanto, os valores relativos de RCT mostraram-se similares entre competidores aeróbios e anaeróbios. Os menores valores de  $VO_{2max}$  no grupo anaeróbio em relação ao aeróbio é explicado em função da aplicação de apenas moderados estímulos ao sistema cardiorespiratório e ao metabolismo aeróbio durante o treinamento daquele grupo. O



treinamento anaeróbio, entretanto, induz à adaptações periféricas, como maior recrutamento de fibras rápidas, alta frequência glicolítica e a grande produção de lactato, fatores esses que explicam elevados valores de limiar na intensidade do limiar ventilatório. Conseqüentemente, os altos valores de LCV nos competidores anaeróbios podem indicar um aumento na habilidade em tamponar a acidez muscular por meio da ventilação.

Embora os limites impostos pela genética e os moderados estímulos aplicados ao sistema aeróbio pelos velocistas, Matt Green, et al. (2003) destacam que tais atletas podem possuir valores modestos de  $VO_2\text{max}$ , devido a predominância do sistema de oxigênio ou metabolismo aeróbio durante os períodos de recuperação entre as repetições anaeróbias de alta intensidade realizadas. Um bom condicionamento aeróbio proporcionará aos velocistas breve recuperação entre estímulos, podendo suportar maiores cargas de trabalho.

### 2.3.2 Intensidade relativa ao $VO_2\text{max}$ ( $IVO_2\text{max}$ ) e o tempo sustentado nesta intensidade ( $T_{lim100\%}$ )

Embora o  $VO_2\text{max}$  seja o parâmetro fisiológico que melhor expressa a aptidão cardiorespiratória do indivíduo (BASSET; HOWLEY, 2000; DENADAI et al., 2004), ele tem apresentado pouco poder discriminatório da performance em atletas de elite (GRECO, 2003). Os índices referentes ao sistema aeróbio que tem sido apontado como preditores mais precisos da performance refere-se à intensidade do exercício (velocidade ou potência) relativa ao consumo máximo de oxigênio ( $IVO_2\text{max}$ ) e o tempo mínimo sustentado nesta intensidade, denominado tempo limite ( $T_{lim100\%}$ ).

A  $IVO_2\text{max}$ , também chamada de  $vVO_2\text{max}$ , ou seja, a velocidade associada ao consumo máximo de oxigênio, é definida como a mínima velocidade na qual ocorre o  $VO_2\text{max}$  durante um protocolo incremental (BILLAT; KORALSZTEIN, 1996). Segundo os autores, a  $vVO_2\text{max}$  explica diferenças individuais na performance que demais índices como  $VO_2\text{max}$  e o limiar anaeróbio (LAN), sozinhos, não conseguem explicar. A  $IVO_2\text{max}$  e o  $T_{lim100\%}$  são variáveis que têm apresentado validade (HILL; ROWELL,

1996) , além de alta reprodutibilidade (BILLAT et al., 1994a), sendo utilizados na predição da performance em provas de média e longa duração.

A relação destes índices com a performance em eventos de média e longa duração foi investigada por Denadai et al. (2004). No referido estudo, foram avaliados corredores bem treinados de meio fundo e fundo, no qual realizaram as corridas na distancia de 1500 e 5000 m e dois testes laboratoriais na esteira, um incremental e outro para determinação do Tlim100%. Os resultados mostraram que o VO<sub>2</sub>max não explicou a variação da performance em nenhuma das distancias. Entretanto, o Tlim100% e a IVO<sub>2</sub>max explicaram 88% da performance nos 1500 m, mostrando assim que tal prova parece ser dependente da potência aeróbia.

O Tlim, ao contrário do VO<sub>2</sub>max, é capaz de discriminar a performance de corredores de endurance considerados homogêneos quanto à performance. Billat et al. (1994a), ao avaliar um grupo de 8 corredores homogêneos de sub-elite de longa distância, verificou que o Tlim sustentado na intensidade do VO<sub>2</sub>max não relacionou-se com o VO<sub>2</sub>max e a IVO<sub>2</sub>max, porém, relacionou-se com a velocidade sustentada na prova de meia maratona, 21,1km ( $r = 0,71$ ) e com a velocidade correspondentes ao limiar anaeróbio expresso em % do VO<sub>2</sub>max ( $r = 0,74$ ).

Em outra investigação realizada (BILLAT et al., 1994b) foram avaliados 38 corredores fundistas de elite, também homogêneos quanto à performance. Os resultados de tal investigação mostraram que o Tlim100% esteve negativamente correlacionado com a IVO<sub>2</sub>max ( $r = -0,36$ ,  $p < 0,05$ ) e VO<sub>2</sub>max ( $r = -0,34$ ,  $p < 0,05$ ), mas positivamente com o LAn ( $r = 0.37$ ,  $p < 0.05$ ). Esses resultados evidenciam que quanto maior a intensidade na qual o indivíduo alcança o VO<sub>2</sub>max, menor é tempo sustentado exercitando-se em tal intensidade, estando de acordo com o modelo proposto por Monod e Scherrer apud Billat et al. (1994b) acerca da relação Tlim vs velocidade.

A elaboração e prescrição do treinamento utilizando a IVO<sub>2</sub>max e o Tlim100% tem sido um assunto central de diversos estudos. Billat et al. (1999) tem sugerido treinamento intervalado de alta intensidade para melhoria da potência aeróbia, realizando séries de cinco repetições, em intensidade a 100% do IVO<sub>2</sub>max e duração de 60% do Tlim, ou então, 60% da IVO<sub>2</sub>max, com a mesma duração do exercício.

Quando o  $T_{lim}$  é utilizado para melhoria da potência aeróbia, deve-se considerar qual foi o tempo de sustentação e o tempo necessário para alcançar o  $VO_2max$ . Isso deve ser levado em consideração tendo em vista o estudo realizado por Hill et al. (1997), no qual investigaram o tempo sustentado a 92% e 100% da  $IVO_2max$ . Concluiu-se que em ambas as situações foi possível alcançar o  $VO_2max$ , porém, o tempo necessário para isso foi menor à 100%. Assim, se a intenção é alcançar o consumo máximo de oxigênio, intensidades de 92% da  $IVO_2max$  parecem já ser suficientes. A duração do estímulo nestas intensidades também é importante quando a intenção é alcançar o  $VO_2max$ , levando em consideração que Hill et al. (1997) verificaram que nenhum dos atletas avaliados alcançou o  $VO_2max$  a 60% do  $T_{lim}$ , sugerindo que esta duração não é adequada para a prescrição da duração do estímulo na intenção de atingir o consumo máximo de  $O_2$ . Desta forma, os autores sugerem que a utilização do tempo necessário para atingir o  $VO_2max$  ( $T_{AVO_2max}$ ) para a prescrição da duração do exercício pode ser mais precisa que o  $T_{lim100\%}$ .

Apesar de ser considerado um indicador da potência aeróbia, o  $T_{lim100\%}$  possui dependência também do metabolismo anaeróbio. Isso foi demonstrado em um interessante estudo realizado por Faina et al. (1997), no qual avaliaram atletas de natação, ciclismo e remo. Na ocasião foram mensuradas as variáveis  $VO_2max$ , o  $T_{lim}$  na  $IVO_2max$  e o MAOD, sendo aplicado testes de correlação entre as mesmas. Os resultados encontrados mostraram que o  $T_{lim}$  não se correlacionou com o  $VO_2max$ , mas o principal achado deste estudo está na relação significativa encontrada entre o  $T_{lim100\%}$  com o MAOD. Como o MAOD é uma medida fidedigna da capacidade anaeróbia (MEDBO et al., 1988), esta relação sugere uma dependência do metabolismo anaeróbio no tempo sustentado no  $IVO_2max$ . Nesse sentido, os autores sugerem que tal variável pode ser utilizada também como indicadora da capacidade anaeróbia láctica.

Outra evidência da participação do metabolismo anaeróbio no  $T_{lim100\%}$  é a grande variabilidade existente entre indivíduos de mesmo  $IVO_2max$  (BILLAT et al., 1994a). De acordo com estudo de revisão elaborado por Billat e Koralsztein (1996), existe um coeficiente de variação de até 25% entre indivíduos com a mesma  $IVO_2max$ . Essa variação pode ser parcialmente explicada por meio da participação do

componente anaeróbio no metabolismo durante o exercício realizado nessa intensidade, visto que a velocidade no LAn possui correlação com o  $T_{lim100\%}$  (BILLAT et al., 1994a).

Exercitar-se na  $IVO_{2max}$  vem a ser considerado como um estímulo de alta intensidade, por estar exigindo 100% da taxa de liberação energética da via aeróbia, além de requisitar também energia via fonte anaeróbia, como sugerido por Faina et al. (1997). Dessa forma, Noakes (1988) afirma que fatores neuromusculares, como a potência muscular, possam estar relacionados e ser determinantes na  $IVO_{2max}$ . Billat et al. (1999) relataram que o  $T_{lim100\%}$  pode servir de referência para a determinação da duração do exercício de alta intensidade, sugerindo talvez uma tendência de associação com a performance de corridas de velocidade.

### 3. MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da pesquisa

Levando em consideração os objetivos deste estudo, esta pesquisa pode ser classificada como aplicada quanto à sua natureza, visto que objetiva gerar conhecimentos de aplicação prática, e quantitativa quanto à abordagem do problema (SANTOS, 2008). Do ponto de vista de seus objetivos, trata-se de uma pesquisa descritiva do tipo correlacional, pois segundo Thomas e Néelson (2002), em tais tipos de pesquisa examina-se o relacionamento entre certas variáveis, como no presente estudo, no qual se analisará a relação de variáveis fisiológicas e neuromusculares com a performance. Segundo o autor, nestas situações não é possível presumir relação causa-efeito.

#### 3.2 Sujeitos do estudo

Participaram desta pesquisa 13 corredores de velocidade das provas de 200 e 400 m rasos, do sexo masculino, com mínimo de dois anos de treinamento na modalidade. Os atletas eram federados no estado de Santa Catarina e participavam de competições a nível estadual e nacional. As características do grupo estão descritas na tabela 1.

**Tabela 1.** Valores descritivos referentes às características dos atletas do estudo.

	<b>Idade (anos)</b>	<b>MC (kg)</b>	<b>Estatura (cm)</b>	<b>Comp. do MI (cm)</b>	<b>Gordura (%)</b>	<b>Tempo de prática (anos)</b>
Média	20,6	68,31	175,35	92,54	8,41	4,8
DP	3,4	5,47	5,98	1,63	1,70	2,2
CV	0,16	0,08	0,03	0,02	0,20	0,20

MC: massa corporal; MI: membro inferior

A seleção dos atletas do estudo foi do tipo intencional não probabilística, tendo como critério para seleção os 15 melhores índices (tempos) em tais provas, relativas à última temporada, conforme dados disponibilizados pela Federação Catarinense de Atletismo. O atleta deveria estar neste ranque em pelo menos uma das provas (200 ou 400 m).

### 3.3 Instrumentos de medida

#### 3.3.1 Para obtenção das variáveis antropométricas

As medidas antropométricas de massa corporal e estatura foram realizadas utilizando-se uma balança digital da marca Toledo com precisão de 100g e um estadiômetro com precisão de 1 mm, respectivamente. Para as medidas de dobras cutâneas, utilizou-se um plicômetro da marca *Cescorf*®, com precisão de 1 mm. Os procedimentos utilizados para realizar as mensurações antropométricas seguiram os protocolos definidos em Petroski (2007). A densidade corporal foi estimada a partir de uma equação específica para atletas do sexo masculino proposta por Jackson e Pollock (1978), a qual leva em consideração a medida de sete dobras cutâneas (tricipital, peitoral, subscapular, abdominal, suprailíaca, coxa média e panturrilha). A partir da densidade, estimou-se o percentual de gordura (%G) por meio da equação de Siri (1961).

#### 3.3.2 Para obtenção das variáveis fisiológicas

Foram realizados os seguintes testes laboratoriais:

- a) Teste incremental para determinação do  $VO_2\max$  e  $IVO_2\max$ ;
- b) Tempo limite a 100% do  $VO_2\max$  ( $T_{lim}$  100%);
- c) Tempo limite a 120% do  $VO_2\max$  e testes submáximos para determinação do MAOD.

Tais testes foram realizados em uma esteira rolante (IMBRAMED MILLENUM SUPER ATL 10.200), utilizando um analisador de gases portátil COSMED, modelo K4 b<sup>2</sup>, visualizados na figura 5, que mede a troca de gás respiração a respiração, sendo o

fluxo e o volume do ar expirado medidos por uma turbina digital bidirecional que assegura uma grande exatidão dentro de uma escala larga de fluxo (até  $20 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ ). O sistema o K4b<sup>2</sup> foi calibrado antes de cada teste para assegurar as medidas exatas do ar ambiente, do gás do cilindro, da turbina e do *delay*, de acordo com as recomendações do fabricante (COSMED SRL).



**Figura 5.** Esteira rolante e analisador de gases acoplado ao corredor, utilizados nos testes laboratoriais.

Um analisador eletroquímico (precisão de 2 %) YSI 2700 modelo STAT SELECT (figura 6) foi utilizado para a análise das concentrações de lactato sanguíneo pós-performance em pista, com a finalidade de determinar a variável LACmax. Uma amostra de sangue foi coletada no lóbulo da orelha por meio de um capilar heparinizado, sendo posteriormente armazenada em microtúbulos de polietileno com tampa (tipo *ependorff*). O aparelho foi calibrado antes da realização da leitura por meio do uso de uma solução de concentração conhecida ( $0,50 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ), como determina o fabricante (YSY Incorporate).



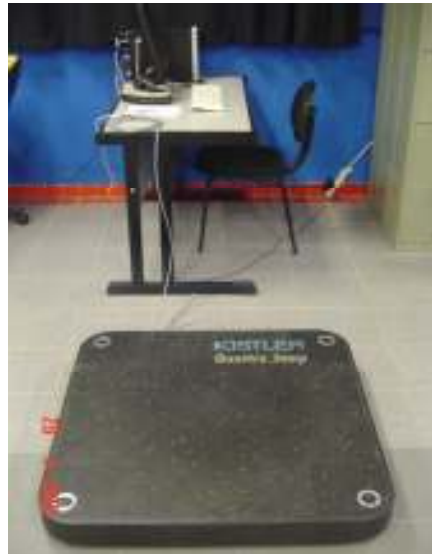
**Figura 6.** Analizador eletroquímico YSI 2700 utilizado para as leituras das concentrações de lactato sanguíneo

O monitoramento da frequência cardíaca (FC) nos teste de esteira foi realizado por meio de um freqüencímetro (*Polar*) incorporado no analisador de gases, permitindo o registro e o armazenamento do comportamento da FC sincronizadamente ao  $VO_2$ .

### 3.3.3 Para obtenção das variáveis neuromusculares

Com a finalidade de avaliar índices neuromusculares referentes à potência muscular de membros inferiores dos atletas, os mesmos realizaram uma série de saltos verticais, denominados *Squat Jump* (SJ), *Counter movement Jump* (CMJ) e *Contínuos Jump* (CJ), citados em Bosco (1999), todos com índice de fidedignidade de 0,94 e 0,97 para especificidade. Para tais testes utilizou-se uma plataforma de força *Quattro Jump*, modelo 9290AD (Kistler Instrument Corp, Winterthur, Switzerland), que consiste em uma plataforma portátil, do tipo piezelétrica, que efetua medidas da força vertical (figura 7). As informações adquiridas foram transmitidas via cabo a um computador na frequência de 500 Hz.





**Figura 7.** Plataforma de força utilizada na realização dos saltos verticais

Os *sprints* de 20 m foram realizados em uma pista de atletismo, sendo o tempo cronometrado por meio de duas fotocélulas eletrônicas *Speed Test 4.0* (CEFISE).

#### 3.3.4 Para determinação da performance em pista

Para obter o tempo das provas (performance), os atletas simularam as corridas de 200 e 400 m rasos, em uma pista de atletismo de carvão. Utilizaram-se cronômetros da marca *Casio* para registro manual do tempo da prova.

### 3.4 Coleta de dados

Os dados foram coletados junto ao Laboratório de Esforço Físico (LAEF), no Laboratório de Biomecânica (BIOMEC) e na pista de atletismo, localizados no Centro de Desportos (CDS) da UFSC, durante os períodos de outubro/novembro de 2007 e maio/junho de 2008. A bateria de testes era realizada em um total de quatro dias (quinta a domingo), no período vespertino. Todas as avaliações foram previamente agendadas.

### 3.5 Procedimentos para a coleta de dados

Antes de iniciarem os procedimentos para a coleta de dados, os atletas que participaram do estudo foram esclarecidos sobre os objetivos e os métodos da pesquisa, para então assinarem o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), conforme exigências do Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CEPSH) da Universidade Federal de Santa Catarina (projeto aprovado e protocolado no CEPSH sob o número 319/07).

As avaliações foram organizadas da seguinte maneira:

- a) no primeiro dia foram realizados os teste de campo. Primeiramente, os atletas realizaram três *sprints* máximos de 20 m, em uma pista de atletismo. Subseqüentemente, os atletas realizaram uma simulação das provas de 200 e 400 m rasos, nesta ordem, em uma pista atlética, a fim de determinar a performance nestas provas.
- b) no segundo dia realizou-se uma avaliação antropométrica para futura caracterização da amostra. Em seguida, os atletas foram submetidos a um protocolo de corrida incremental para a determinação do  $VO_2\text{max}$  e  $IVO_2\text{max}$ , em esteira rolante.
- c) no terceiro dia os atletas foram submetidos aos protocolos de saltos verticais para a determinação da potência muscular e na seqüência, após aproximadamente uma hora de intervalo, realizaram o teste para determinação do  $Tlim$  a 100% do  $VO_2\text{max}$ .
- d) o último dia de avaliações foi destinado para a realização do teste supra-máximo (120% do  $VO_2\text{max}$ ) e das corridas submáximas, relativos ao protocolo para determinação do MAOD.

Os testes foram realizados com intervalo mínimo de 24 h, sempre respeitando o mesmo horário do dia para a realização. Todos participantes foram orientados a não realizar treinamentos intensos nos dias de coletas e comparecerem alimentados e hidratados para realização das avaliações.

### 3.5.1 Protocolos e tratamento dos dados

#### 3.5.1.1 Protocolo de avaliação antropométrica

Os procedimentos utilizados para realizar as mensurações antropométricas seguiram os protocolos definidos em Petroski (2007). A avaliação foi realizada antes da de qualquer esforço físico prévio dos atletas. A densidade corporal (DC) foi estimada a partir da equação específica para atletas do sexo masculino proposta por Jackson e Pollock (1978), a qual leva em consideração a medida de sete dobras cutâneas. A partir da densidade corporal do sujeito determinou-se o percentual de gordura (%G) por meio da equação de Siri (1961), conforme equações a seguir.

$$DC = 1,112 - 0,00043499 * (\Sigma 7 \text{dobras}) + 0,00000055 * (\Sigma 7 \text{dobras})^2 - 0,00028826 * (\text{idade})$$

Onde,  $\Sigma 7 \text{dobras}$  = peitoral + axilar média + tríceps + subescapular + abdômem + supra-íliaca anterior + coxa

$$\%G = [(4,95/DC) - 4,50] * 100$$

#### 3.5.1.2 Protocolo de determinação do $VO_2\text{max}$ e da $IVO_2\text{max}$

Para a determinação do  $VO_2\text{max}$  foi utilizado um protocolo de cargas progressivas realizado em esteira rolante (IMBRAMED, modelo 10.200). A velocidade inicial de corrida foi de 11  $\text{km.h}^{-1}$  e 1 % de inclinação, com incrementos de 1  $\text{km.h}^{-1}$  a cada 3 min, até a exaustão voluntária. Entre cada estágio acontecerá um intervalo de 30 s para coleta de sangue do lóbulo da orelha para a dosagem do lactato sanguíneo (BILLAT et al., 2000). O  $VO_2$  foi mensurado respiração a respiração durante todo o procedimento a partir do gás expirado (COSMED, modelo K4b<sup>2</sup>) com os dados reduzidos a médias de 15s. O  $VO_2\text{max}$  foi considerado como o maior valor obtido durante o teste nestes intervalos de 15 s. Para verificar se durante o teste os indivíduos atingiram o  $VO_2\text{max}$ , foram adotados os critérios propostos por Taylor et al. (1955) e

Lacour et al. (1991). A  $IVO_2\text{max}$  foi considerada como sendo a menor intensidade de exercício na qual ocorreu o  $VO_2\text{max}$  (BILLAT et al., 1996; BILLAT et al., 1999).

### 3.5.1.3 Protocolo de determinação do Tlim a 100% da $IVO_2\text{max}$

Para a determinação do Tlim foi utilizado um protocolo de cargas contínuas em esteira rolante (IMBRAMED, modelo 10.200). Inicialmente os indivíduos realizaram uma corrida de 7 min a  $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  com fins de aquecimento. Posteriormente, após um intervalo recuperativo de 5 min, a esteira foi ajustada a uma velocidade na qual o atleta alcançou o  $VO_2\text{max}$ , ou seja, equivalente a 100% do  $VO_2\text{max}$ . Os indivíduos foram estimulados verbalmente a manter o esforço até a exaustão voluntária máxima. O  $VO_2$  foi mensurado continuamente respiração a respiração durante todo o protocolo a partir do gás expirado (COSMED, modelo K4 b<sup>2</sup>). O Tlim foi considerado como o tempo total de esforço mantido na  $IVO_2\text{max}$ , sendo o mesmo expresso em segundos.

### 3.5.1.4 Protocolo de determinação do MAOD

O primeiro passo para determinar o MAOD consistiu no estabelecimento de uma relação linear individual entre demanda de  $O_2$  e intensidade do exercício, sob condições sub-máximas. O protocolo para o cálculo do MAOD foi o proposto por Hill (1996) adaptado a partir do protocolo original de Medbo (1988), envolvendo a realização de apenas quatro testes.

Realizou-se um teste de exaustão máximo a uma velocidade supramáxima, relativa a 120% da  $IVO_2\text{max}$  (Tlim 120%), em esteira rolante a 1% de inclinação, sendo o mesmo precedido de duas corridas de intensidades sub-máximas: primeiro 7 minutos correndo a  $11 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  (intensidades entre 55 a 68% da  $IVO_2\text{max}$ ) e em seguida, após 3 minutos de intervalo, mais 7 minutos, agora a  $12 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  (60 a 75% da  $IVO_2\text{max}$ ). Após isso, houve um período recuperativo de 5 minutos, restabelecendo o consumo de  $O_2$  de repouso, para então o atleta correr até a exaustão máxima, em uma intensidade correspondente a 120% da  $IVO_2\text{max}$ . Esta carga deveria ser sustentada por um período de pelo menos 2 minutos, tempo mínimo preconizado por Medbo et al. (1988) para que

o MAOD atinja os valores máximos. Os atletas deste estudo permaneceram na esteira entre 126 e 204 s). O consumo de oxigênio foi mensurado continuamente respiração a respiração durante todo o protocolo a partir do gás expirado (COSMED, modelo K4 b<sup>2</sup>) e expresso pela média a cada 15 s. Para as intensidades de corrida submáximas (11 e 12 km.h<sup>-1</sup>), a média de consumo do último minuto de cada estágio representou o VO<sub>2</sub> daquela carga de trabalho.

Para estabelecer a relação linear entre demanda de O<sub>2</sub> e carga de trabalho, foram utilizados 4 valores: dois de consumo submáximos (11 e 12 km.h<sup>-1</sup>), o valor de VO<sub>2</sub>max, obtido por meio do teste incremental realizado anteriormente, de acordo com descrito no item 3.5.1.2, além de uma constante de um intercepto Y, comum a todos os indivíduos (5 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>), de acordo com o preconizado pelo procedimento 3 de Medbo (1988), que representa o consumo de oxigênio de repouso.

A partir desta relação linear estabelecida entre velocidade e os valores de consumo até ao equivalente a 100% do VO<sub>2</sub>, extrapolou-se esta relação para estimar a demanda energética para cargas maiores que a correspondente ao VO<sub>2</sub>max, que neste caso foi 120%. A diferença entre a demanda de oxigênio estimada e o consumo de oxigênio mensurado no teste Tlim 120%, integrado em todo período do exercício, resultou no MAOD.

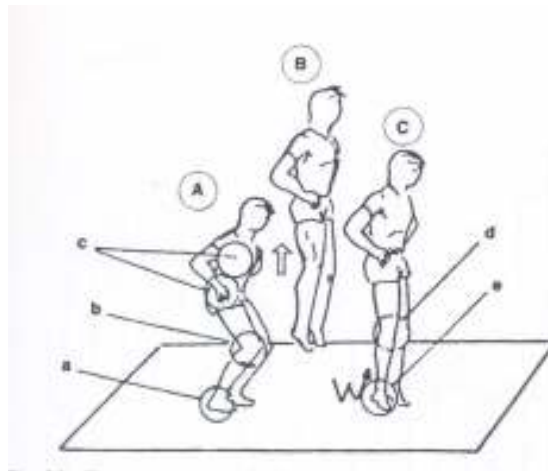
### 3.5.1.5 Protocolo de saltos verticais

Foram realizados três diferentes protocolos de saltos verticais, o SJ, CMJ e CJ. Abaixo são descritos os protocolos, de acordo com Bosco (1999).

#### a) *Squat Jump* (SJ)

O SJ é realizado usando somente a ação concêntrica dos músculos agonistas do movimento, como os extensores do joelho, estimando a potência muscular e a habilidade de recrutamento neural do atleta. O protocolo estabelece que o sujeito deva realizar um salto vertical a partir de uma posição estática com o ângulo do joelho em aproximadamente 90°, com o tronco o mais vertical possível e as mãos na cintura. O

salto deve ser executado sem contra-movimento, ou seja, não acelerar o centro de gravidade (CG) para baixo (ver figura 8).



**Figura 8.** Esquema ilustrativo da realização do salto SJ (BOSCO, 1999, p.20).

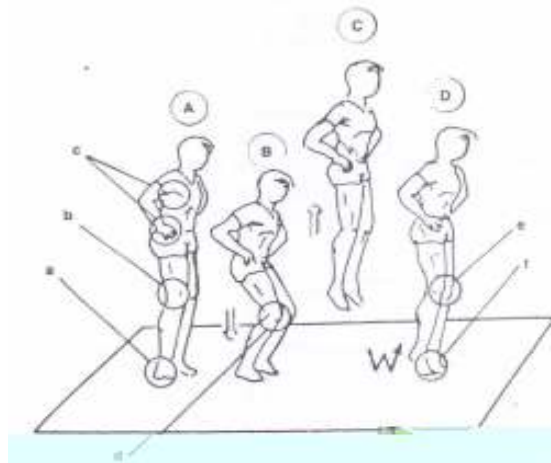
- |                                     |          |   |
|-------------------------------------|----------|---|
| A) Posição inicial                  | B) Salto | C) Aterrissagem   |
| a- pés na plataforma                |          | d- ângulo do joelho em 180° no momento do contato com o solo. |
| b- ângulo do joelho ao redor de 90° |          | e- tornozelo em extensão                                      |
| c- mãos mantidas na cintura         |          |   |

#### b) *Counter Movement Jump* (CMJ)

No CMJ é realizado um salto vertical com contribuição do ciclo alongamento-encurtamento, objetivando estimar a potência muscular associada com o aproveitamento da energia elástica dos músculos agonistas do movimento.

Neste protocolo o indivíduo realizou os saltos verticais a partir de uma posição em pé, com as mãos na cintura, sendo o mesmo precedido por um contra-movimento. Este consiste em uma aceleração para baixo do CG, flexionando os joelhos até próximo aos 90°. Durante o salto, o tronco deverá manter-se o mais vertical possível (figura 9).

NO CMJ, os músculos agonistas do movimento como os extensores do joelho são alongados durante a descida (fase excêntrica), na qual as estruturas elásticas são alongadas ocorrendo acúmulo de energia elástica que poderá ser reutilizada na subida (fase concêntrica), no processo denominado ciclo alongamento-encurtamento.



**Figura 9.** Ilustrativo do salto CMJ (BOSCO, 1999, p.68).

- A) sobre a plataforma com o joelho estendido ( $180^\circ$ ) e as mãos na cintura
- B) ângulo do joelho próximo a  $90^\circ$
- C) joelho em completa extensão no salto
- D) quanto tocar o solo, o ângulo do joelho deve estar ao redor de  $180^\circ$

### c) *Continuos Jump* (CJ)

Este teste consistiu na execução de saltos com contra-movimento, de modo contínuo, por um período de 15 s. O objetivo do mesmo foi avaliar, além dos aspectos neuromusculares, também a capacidade anaeróbia do sistema metabólico que sustenta a atividade muscular durante este esforço de alta intensidade.

Como nos demais saltos, o sujeito deve manter o tronco mais vertical possível e as mãos no quadril, com o ângulo do joelho sempre próximo aos  $90^\circ$  ao final da fase de descida.

A partir destes testes foram analisadas duas variáveis:

- altura de salto (h): a medida de h representou o desempenho do atleta nos saltos verticais SJ, CMJ e CJ, considerada a melhor indicadora da potência muscular de membros inferiores dos atletas (BOSCO et al., 1982b).

A altura de salto foi calculada pelo software *Quatro Jump*, da Kistler, por meio do método de integração dupla. A partir dos valores de força (medida obtida pela plataforma), massa corporal do indivíduo e velocidade inicial conhecida (que deve ser igual a zero), a velocidade instantânea foi obtida. Para obter h, basta apenas saber a

variação da velocidade, ou seja, o impulso gerado durante a fase propulsiva do salto, de acordo com a equação:

$$h = \int (V(t) - V_0) dt$$

Onde: V = velocidade final;  $V_0$  = velocidade inicial; dt = deslocamento no tempo

- Índice de energia elástica (IEE): esta variável foi usada para estimar o aproveitamento de energia elástica dos músculos, obtida por meio da comparação entre os saltos SJ e CMJ, de acordo com a seguinte equação:

$$IEE(\%) = (h_{CMJ} / h_{SJ} * 100\%) - 100\%$$

Onde:  $h_{CMJ}$  = altura obtida no salto CMJ;  $h_{SJ}$  = altura obtida no salto SJ

Foram realizadas três tentativas para os saltos SJ e CMJ, sendo considerada para análise a média das mesmas. No protocolo CJ, realizou-se apenas uma tentativa, tendo em vista ser um teste mais exaustivo, o que poderia gerar um quadro de fadiga. Utilizou-se para análise a altura média relativa a todos os saltos realizados no período de 15 s.

#### 3.5.1.6 Protocolo para realização dos *sprints*

Os atletas realizaram três *sprints* máximos de 20 m em uma pista de atletismo com piso de carvão. Os *sprints* foram realizados de modo “lançado”, ou seja, os corredores tiveram 15 m para acelerar antes da marca inicial dos 20 m. O tempo foi cronometrado por meio de duas fotocélulas eletrônicas conectadas a um *timer* eletrônico. Os atletas utilizaram sapatos com pregos, específicos para este tipo de pista. Realizou-se um aquecimento prévio, constituído por 5 min de corrida a baixa intensidade (trote), seguido por 3 exercícios de corrida progressiva (aproximadamente 40 m). Foi considerado para análise o melhor tempo entre as três tentativas.



### 3.5.1.7 Protocolo para determinação da performance e LACmax

A fim de determinar a performance (tempo) nas provas de 200 (P200) e 400 m rasos (P400), os atletas correram tais distâncias em uma pista de atletismo de carvão com dimensões oficiais, simulando uma competição. Inicialmente foi realizado os 200 m e, após um tempo de recuperação de pelo menos 4 h, os 400 m rasos. Solicitou-se aos atletas que corresse em intensidade máxima de esforço, sendo os mesmos incentivados verbalmente durante a corrida. Todos utilizaram sapatos com pregos, específicos para este tipo de pista e realizaram um aquecimento prévio, conforme realizado de costume pelo atleta durante uma competição. A saída para as corridas foi realizada com blocos de partida. Por fins de segurança, os tempos foram registrados por pelo menos dois cronometristas e, caso ambos os valores estivessem semelhantes, utilizava-se a média deles para análise.

A fim de determinar o pico de lactato após cada prova (LACmax), foram coletadas amostras de 25  $\mu$ L de sangue do lóbulo da orelha com auxílio de um capilar heparinizado, após o 7<sup>o</sup>, 9<sup>o</sup>, 11<sup>o</sup>, 13<sup>o</sup> e 15<sup>o</sup> minuto de recuperação, com os atletas sentados durante todo período. O sangue foi armazenado em microtúbulos de polietileno com tampa (tipo *ependorff*), sendo posteriormente realizada a análise histoquímica em um analisador YSI 2700 (modelo STAT SELECT). O LACmax foi considerado o valor de pico da concentração de lactato obtido durante o período de recuperação.

## 3.6 Análise estatística

Utilizou-se estatística descritiva de medidas de tendência central (média) e de variabilidade (desvio padrão e coeficiente de variação) para apresentação dos resultados. A fim de verificar se os dados possuíam distribuição normal, aplicou-se o teste de *Shapiro-Wilk*, o qual confirmou a normalidade dos mesmos. Para determinar a correlação entre os índices analisados, aplicou-se a correlação linear do produto momento de *Pearson*, com um intervalo de confiança de 95%. Por último, a fim de verificar a contribuição das variáveis independentes (índices fisiológicos e

neuromusculares) na variável dependente (performance nas provas de 200 e 400m), realizou-se uma análise de regressão linear múltipla, utilizando o método *Forward* para seleção de variáveis, adotando um nível de significância de 0,15 para a inclusão das variáveis no modelo. Este nível de significância (0,15) é considerado mais pertinente quando há um número reduzido de sujeitos avaliados.

## 4. RESULTADOS

Inicialmente estão apresentados, por meio de tabelas, os valores descritivos referentes às variáveis fisiológicas e neuromusculares analisadas, além da caracterização dos atletas quanto à performance (tempo obtido em cada prova de velocidade). Na seqüência, gráficos de dispersão estão apresentados a fim de mostrar a correlação existente dos índices analisados com a performance. Por último, os resultados da análise de regressão múltipla estão expostos na tabela 4.

### 4.1 Valores descritivos das variáveis analisadas

Abaixo estão apresentados os valores descritivos das variáveis neuromusculares, fisiológicas e da performance dos atletas avaliados. Na tabela 2, os mesmos foram caracterizados quanto à performance (tempo de prova) nos 200 e 400 m rasos.

**Tabela 2.** Valores descritivos do tempo de prova apresentado pelos atletas nas provas de 200 e 400 m rasos.

	200 metros (s)	400 metros (s)
Média ± DP	23,3 ± 0,81	52,3 ± 1,42
Mínimo	22,1	49,6
Máximo	24,5	54,5
CV (%)	3	3

A seguir, na tabela 3, estão caracterizados os valores dos índices neuromusculares (SJ, CMJ, CJ, IEE e *sprint*<sub>20m</sub>) e índices fisiológicos anaeróbios (MAOD e LACmax) e aeróbios (VO<sub>2</sub>max, IVO<sub>2</sub>max e Tlim), obtidos pelos atletas deste estudo.

**Tabela 3.** Valores descritivos das variáveis neuromusculares e fisiológicas apresentadas pelos atletas do estudo.

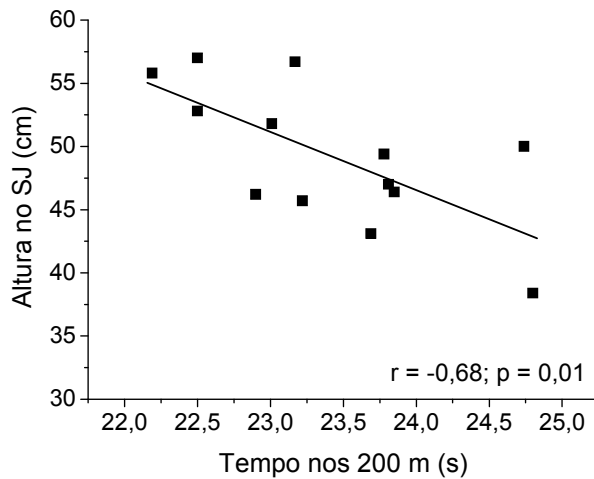
Variáveis	Média	DP	CV (%)
SJ (cm)	49,25	5,54	11
CMJ (cm)	53,11	6,02	11
CJ (cm)	46,65	4,63	10
IEE (%)	6,37	3,90	60
<i>Sprint</i> <sub>20m</sub> (s)	2,178	0,06	3
LACmax 200m (mmol.L <sup>-1</sup> )	14,87	2,12	14
LACmax 400m (mmol.L <sup>-1</sup> )	18,08	2,08	11
MAOD (ml.kg <sup>-1</sup> )	60,01	3,89	7
VO <sub>2</sub> max (ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	64,72	5,58	9
IVO <sub>2</sub> max (km.h <sup>-1</sup> )	17,23	1,17	7
Tlim100% (s)	370,69	49,55	13

#### 4.2 Relação dos índices neuromusculares com a performance nos 200 e 400 m

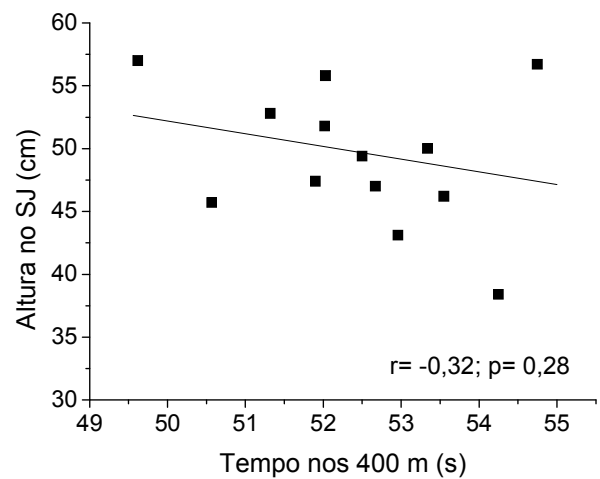
As variáveis neuromusculares analisadas neste estudo foram o desempenho (altura de salto) no SJ, CMJ e CJ, o índice de aproveitamento de energia elástica (IEE) e o desempenho (melhor tempo) em *sprints* de 20 m. Tais variáveis foram correlacionadas com a performance nas corridas de 200 e 400 m (tempo de prova).

Em relação aos saltos verticais, observou-se correlação significativa do SJ com performance nas provas de velocidade, de modo negativo ( $r = -0,68$ ;  $p = 0,01$ ) com os 200 m (figura 10), porém não-significativa com os 400 m ( $r = -0,32$ ;  $p = 0,28$ ), conforme figura 11. A mais forte correlação encontrada foi do CMJ com a P200 m (figura 13), obtendo-se uma correlação negativa com  $r = -0,76$ ; ( $p = 0,01$ ). Quando relacionada com a P400 m (figura 14), obteve-se valor não-significativo ( $r = -0,32$ ;  $p = 0,01$ ). Resultados

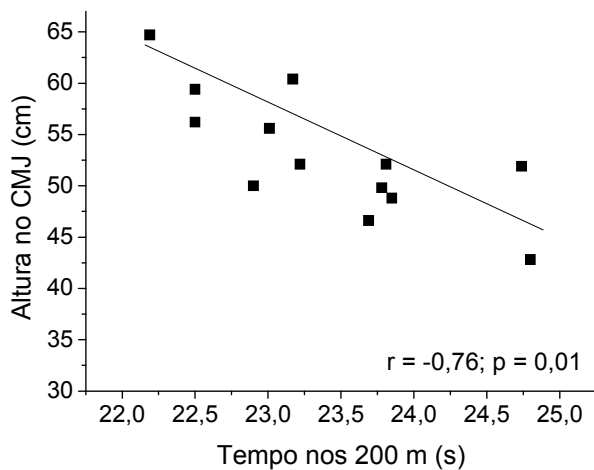
semelhantes foram obtidos em relação ao CJ, no qual verificou-se correlação significativa apenas a P200 m ( $r = -0,64$ ;  $p = 0,01$ ) e não-significativa com a P400 m ( $r = -0,23$ ;  $p = 0,44$ ), conforme visualizados nas figuras 14 e 15, respectivamente. As correlações negativas indicam que quanto maior a altura de salto (maior potência), menor foi o tempo de prova (melhor performance).



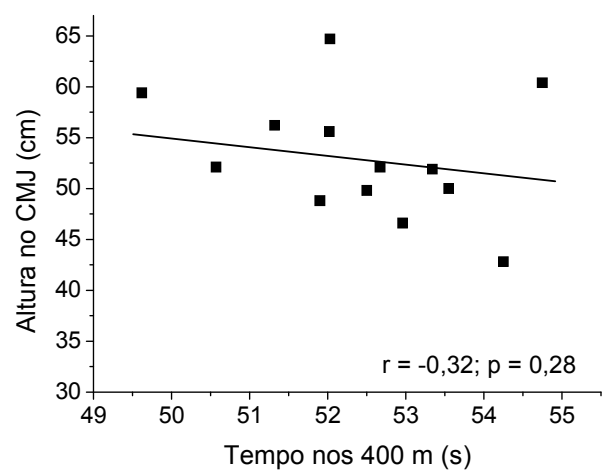
**Figura 10.** Relação entre altura no SJ com a performance nos 200 m rasos



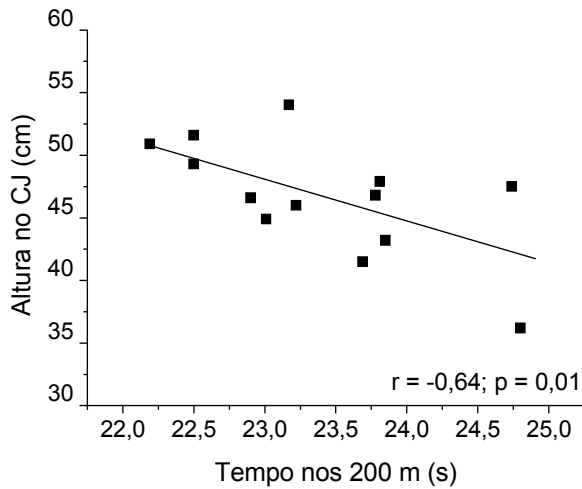
**Figura 11.** Relação entre altura no SJ com a performance nos 400 m rasos



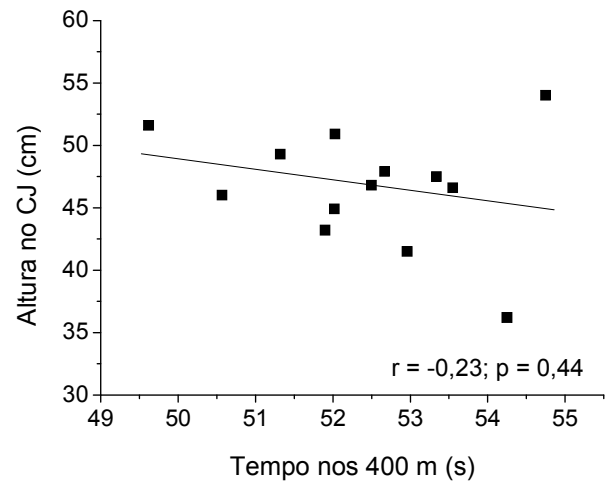
**Figura 12.** Relação entre altura no CMJ com a performance nos 200 m rasos



**Figura 13.** Relação entre altura no CMJ com a performance nos 400 m rasos

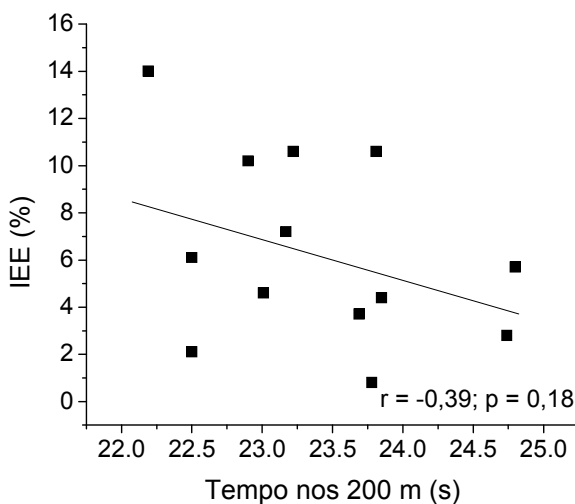


**Figura 14.** Relação entre altura no CJ com a performance nos 200 m rasos

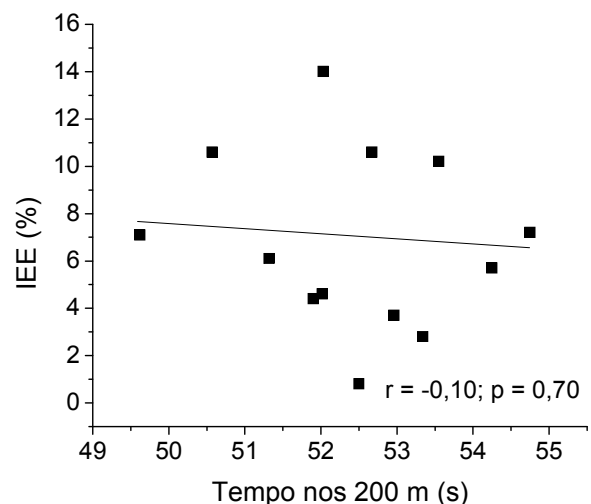


**Figura 15.** Relação entre altura no CJ com a performance nos 400 m rasos

Em relação ao índice de aproveitamento de energia elástica (IEE), não se observou correlações significativas do mesmo com a performance nos 200 m ( $r = -0,39$ ;  $p = 0,18$ ) e 400 m rasos ( $r = -0,10$ ;  $p = 0,70$ ), visualizado nas figuras 16 e 17, respectivamente.

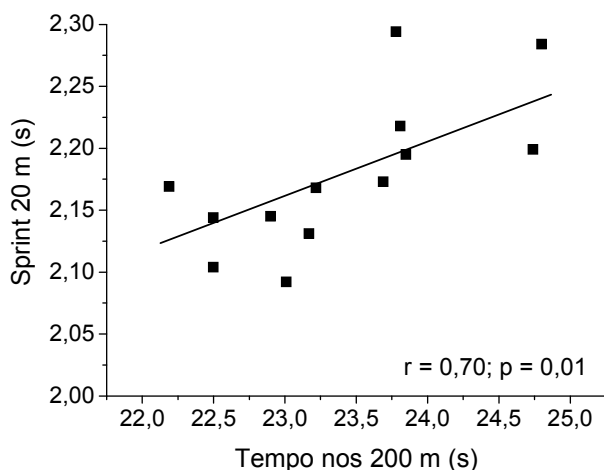


**Figura 16:** Relação entre o IEE e a performance nos 200 m

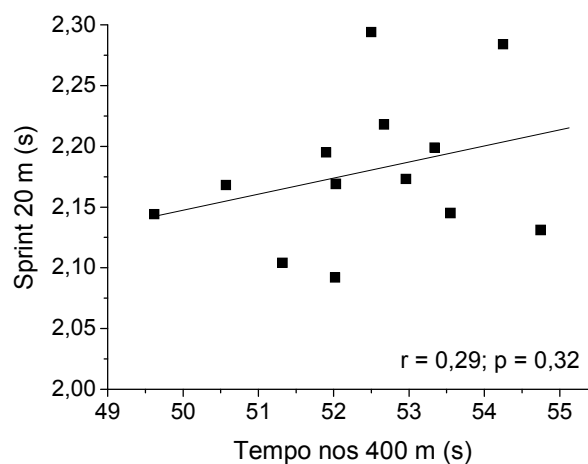


**Figura 17:** Relação entre o IEE e a performance nos 400 m

O desempenho nos *sprints* de 20 m esteve correlacionado positivamente com a performance nos 200 e 400 m, porém, assim como nos saltos verticais, tal relação foi significativa apenas com a P200 ( $r = 0,70$ ;  $p = 0,01$ ) e não-significativa com a P400 ( $r = 0,29$ ;  $p = 0,32$ ), conforme figuras 18 e 19, respectivamente. Como se pode observar pela figura 18, esta relação indica que os atletas com melhores tempos em 20 m possuem melhor performance nos 200 m.



**Figura 18.** Relação entre o tempo no *sprint* 20 m com a performance nos 200 m rasos



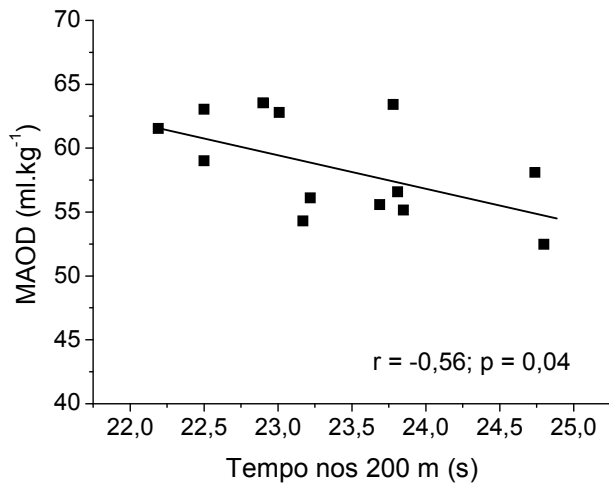
**Figura 19.** Relação entre o tempo no *sprint* 20 m com a performance nos 400 m rasos

A partir dos resultados apresentados neste item 4.2, rejeita-se  $H_0$  e aceita-se  $H_1$ , tendo em vista que foram encontradas correlações negativas das variáveis neuromusculares CMJ, SJ e CJ e positiva do *sprint*<sub>20m</sub> com a performance dos velocistas apenas nos 200 m rasos.

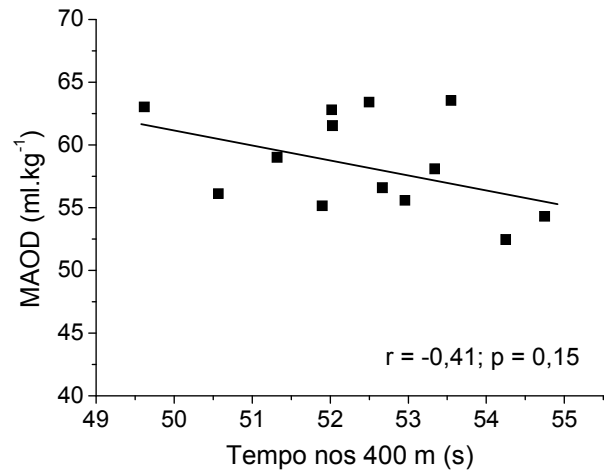
### 4.3 Relação dos índices anaeróbios com a performance nos 200 e 400 m rasos

Conforme apresentado na figura 20, o MAOD mostrou-se significativamente correlacionado, de modo negativo, com a performance nos 200 m ( $r = -0,56$ ;  $p = 0,04$ ), indicando que os atletas que possuem os melhores tempos nesta prova são os que possuem maior capacidade anaeróbia. Quanto aos 400 m (figura 21), a correlação

encontrada foi não significativa ao nível de 95% de confiança ( $r = -0,41$ ;  $p = 0,15$ ). Tendo em vista tais resultados, rejeita-se parcialmente  $H_0$  da segunda hipótese ( $H_2$ ) deste estudo, na medida em que o MAOD relaciona-se apenas com a P200.



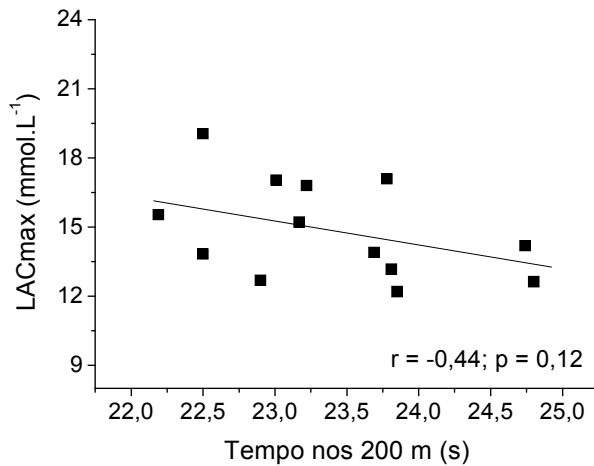
**Figura 20.** Relação entre o MAOD com a performance nos 200 m rasos



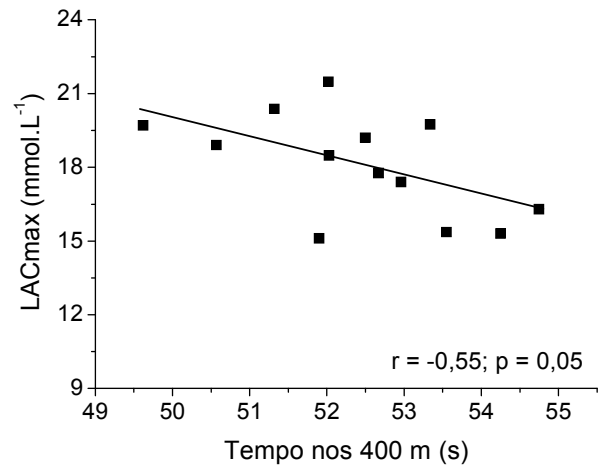
**Figura 21.** Relação entre o MAOD com a performance nos 400 m rasos

Outro índice referente ao sistema anaeróbio analisado neste estudo foi o pico de lactato (LACmax) obtido no período de recuperação após as corridas. Ao contrário do MAOD, este índice esteve correlacionado significativamente com a performance na prova de 400 m ( $r = -0,55$ ;  $p = 0,05$ ), (figura 23) e não significativamente com os 200 m ( $r = -0,44$ ;  $p = 0,12$ ) (figura 22). Tal correlação negativa indica que os atletas que obtiveram os maiores picos de lactato foram os de melhores performances na corrida, o que leva a rejeitar  $H_0$  e aceitar a  $H_3$  desta investigação.





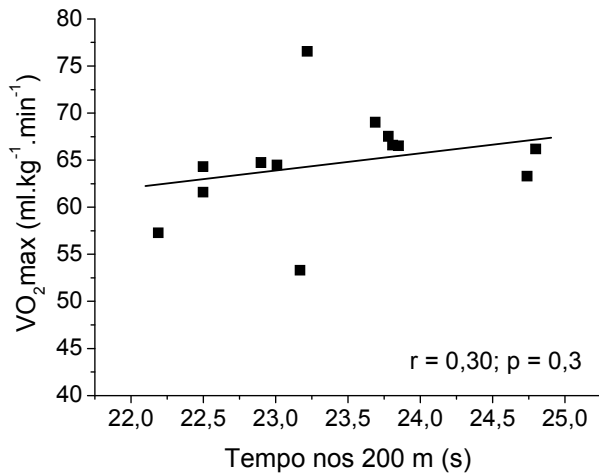
**Figura 22.** Relação entre o LACmax com a performance nos 200 m rasos



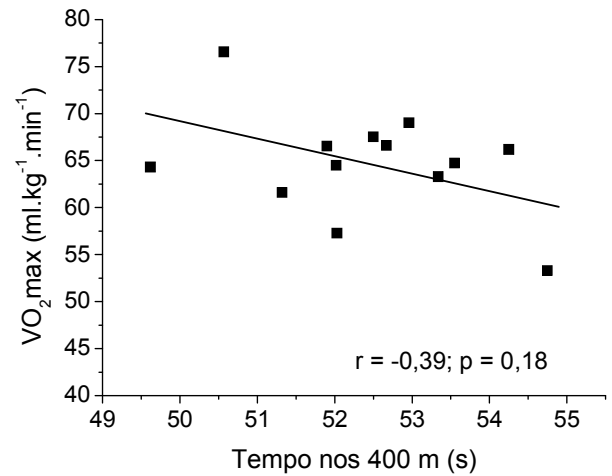
**Figura 23.** Relação entre o LACmax com a performance nos 400 m rasos

#### 4.4 Relação dos índices aeróbios com a performance nos 200 e 400 m rasos

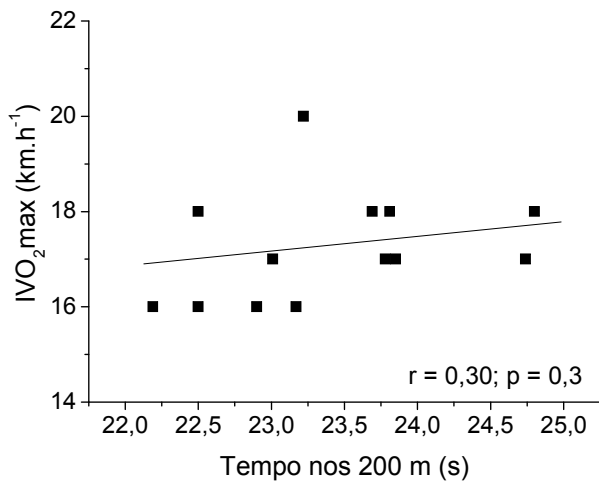
Os índices utilizados neste estudo como indicadores da aptidão aeróbia foram o  $VO_2\max$ , a  $IVO_2\max$  e o  $Tlim100\%$ . A correlação do produto momento de *Pearson* apontou que nenhuma destas variáveis esteve correlacionada significativamente com as diferentes distâncias das corridas de velocidade (200 e 400 m), apresentadas entre as figuras 24 a 29. Observou-se, no entanto, uma tendência de correlações negativas das variáveis aeróbias com os 400 m, o que indicaria haver possíveis relações destas variáveis somente com tal distância de prova. O  $VO_2\max$  foi quem apresentou maior tendência de correlação com a P400 (figura 25), apesar de ser não significativa ( $r = -0,39$ ;  $p = 0,18$ ). Tal correlação indicaria que os atletas com melhores tempos na prova de 400 m estariam relacionadas com os maiores valores de consumos de oxigênio. A partir de tais dados confirma-se a  $H_0$  e rejeita-se a hipótese alternativa  $H_4$ , tendo em vista não haver relações das variáveis aeróbias com a performance dos velocistas.



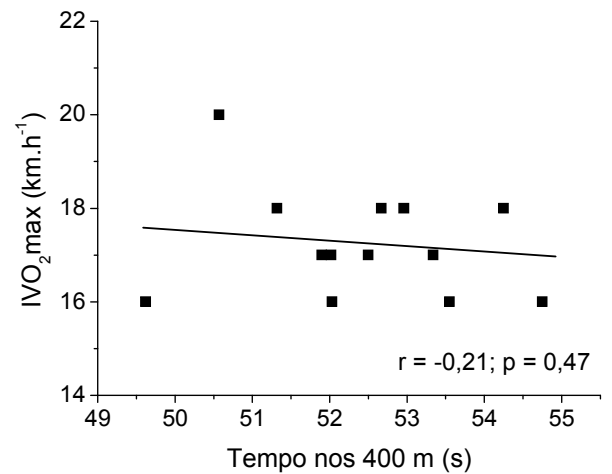
**Figura 24.** Relação entre o  $VO_2\text{max}$  com a performance nos 200 m rasos



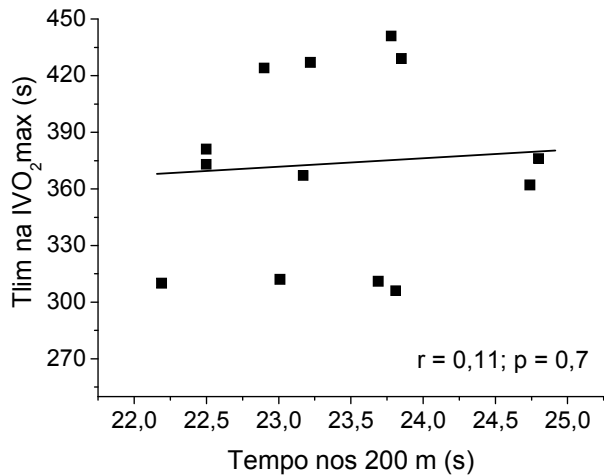
**Figura 25.** Relação entre o  $VO_2\text{max}$  com a performance nos 400 m rasos



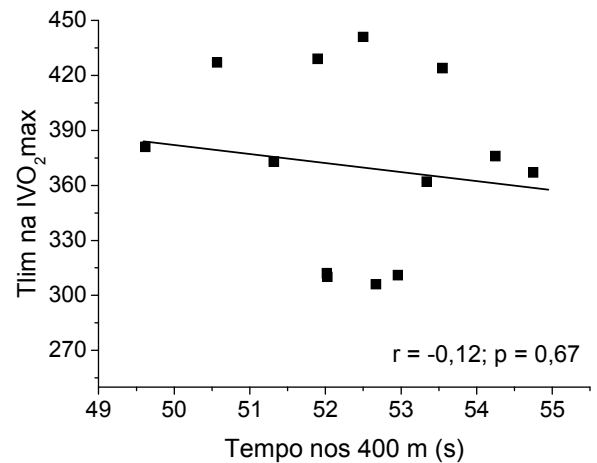
**Figura 26.** Relação entre a  $IVO_2\text{max}$  com a performance nos 200 m rasos



**Figura 27.** Relação entre a  $IVO_2\text{max}$  com a performance nos 400 m rasos



**Figura 28.** Relação entre o Tlim na IVO<sub>2</sub>max com a performance nos 200 m rasos



**Figura 29.** Relação entre o Tlim na IVO<sub>2</sub>max com a performance nos 400 m rasos

#### 4.5 Regressão múltipla das variáveis neuromusculares e fisiológicas com a performance nas provas de velocidade

A fim de responder ao último objetivo específico, está apresentado na tabela 4, a regressão múltipla de todas variáveis com a performance nos 200 e 400 m rasos.

**Tabela 4.** Regressão múltipla entre os índices neuromusculares e fisiológicos com a performance nas provas de 200 e 400 m rasos.

Distância da prova	Variável independente	R <sup>2</sup> (%)
200 m	CMJ	59
	CMJ + MAOD	68
	CMJ + MAOD + <i>Sprints</i>	76
400 m	LACmax	31
	LACmax + VO <sub>2</sub> max	44
	LACmax + VO <sub>2</sub> max + CMJ	74

De acordo com os resultados obtidos pela análise de regressão múltipla, verificou-se que o CMJ foi o índice que, sozinho, explicou a maior parte da variação da performance dos 200 m (59%), rejeitando assim  $H_0$  e aceitando a  $H_5$  deste estudo. O indicador de capacidade anaeróbia, o MAOD, foi a segunda variável selecionada pelo modelo, na qual aumentou o coeficiente de explicação da P200 para 68%. A última variável selecionada foi o *sprint*<sub>20m</sub>, que junto com as outras duas variáveis, conseguiram explicar 76% da variação da performance dos velocistas nos 200 m rasos.

Em relação aos 400 m, o primeiro índice selecionado na regressão foi um indicador de capacidade glicolítica, o LACmax, explicando 31% da variação da P400. Subseqüente, o VO<sub>2</sub>max foi selecionado, aumentando para 44% tal explicação. Por último, o índice neuromuscular CMJ, quando inserido com as demais variáveis no modelo, aumentou para 74% a variação da P400. A partir destes resultados pode-se rejeitar  $H_0$  e aceitar  $H_6$ , visto que há contribuição de índices do sistema aeróbio, anaeróbio e neuromusculares na performance dos 400 m rasos.

## 5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nos tópicos a seguir, será discutido acerca da caracterização da performance dos atletas e das variáveis fisiológicas e neuromusculares, apresentadas no item 4.1, além das relações e contribuições destas variáveis na performance das corridas de 200 e 400 m, descritas nos itens 4.2 a 4.5.

### 5.1 Índices neuromusculares e a performance nos 200 e 400 m rasos

A habilidade em gerar altos níveis de potência e utilizar de forma eficiente os componentes músculo-elásticos é considerada um fator preponderante em muitos esportes, como as corridas de velocidade.

As correlações encontradas neste estudo entre as variáveis neuromusculares SJ e CMJ com a performance nos 200 m vem a confirmar que o êxito nesta corrida está diretamente relacionado à produção de elevados níveis de força e velocidade, determinantes da potência muscular. Isso pode ser afirmado visto que o SJ e CMJ são os índices que melhor expressam a máxima produção de potência muscular pelos músculos extensores do joelho (BOSCO et al., 1982b). As relações entre tais índices e a performance de velocistas já estão relatadas em várias investigações realizadas por cientistas do esporte, nos quais examinaram os fatores relacionados à potência muscular e os efeitos do CAE na performance atlética de corredores (HENNESSY; KILTY, 2001; HARRINSON et al., 2004; SLEIVERT; TAINGAHUE, 2004; MIGUEL; REIS, 2004; SMIRNIOTOU et al., 2008).

O desempenho no salto SJ é atribuído à ação muscular concêntrica dos músculos extensores do joelho e à habilidade de recrutamento neural dos atletas (BOSCO, 1999). Tais características parecem ser mais preponderantes para a performance nos 200 m rasos, tendo em vista a correlação encontrada no presente estudo, indicando que quanto maior a altura obtida no salto SJ, menor é o tempo de prova (melhor performance) obtida pelos atletas.

A potência máxima produzida no SJ mostrou-se moderadamente correlacionada com o desempenho em *sprints* com distâncias de 5 m ( $r = -0,64$ ) (SLEIVERT; TAINGAHUE, 2004), 20 m ( $r = -0,47$ ) (HAKKINEN, 1989) e 60 m ( $r = -0,63$ ) (BOSCO; KOMI, 1981). Recentemente Smirniotou et al. (2008) também verificaram que a velocidade média nos primeiros 30 m de uma corrida de 100 m está relacionada com o desempenho no salto vertical SJ. Estas relações indicam que a ação concêntrica dos músculos extensores do joelho requisitadas no SJ também é considerada determinante na geração de forças propulsivas durante a realização de *sprints*. Tais forças são de extrema importância na aceleração dos velocistas, principalmente na saída dos blocos de partida e nos trechos iniciais da corrida (MERO; KOMI, 1992), objetivando alcançar a máxima velocidade.

Apesar de o treinamento ser capaz de provocar mudanças significativas nos níveis de potência (MARKOVIC et al., 2007), a habilidade dos músculos extensores do joelho em gerar potência no SJ é em grande parte determinada por fatores genéticos, como a composição das fibras musculares. Um dos primeiros estudos a evidenciar tal fato foi realizado por Bosco e Komi (1979), no qual analisaram o desempenho no SJ realizado sobre uma plataforma de força em dois grupos: um com indivíduos com percentual de fibras rápidas  $>60\%$  e outro  $<40\%$ , relativo ao músculo vasto lateral. Verificou-se que a altura no SJ obtida pelo primeiro grupo (36,7 cm) foi superior ao segundo (33,8 cm). Os resultados ainda mostraram que o grupo com maior percentual de fibras rápidas conseguiu aplicar mais força na plataforma em menor espaço de tempo, o que possibilitou gerar maiores níveis de potência mecânica. Deste modo, a predominância de fibras rápidas mostra-se como um fator importante para o desempenho dos velocistas.

O índice neuromuscular que esteve mais fortemente correlacionado com a performance nos 200 m rasos foi o CMJ ( $r = -0,76$ ), porém não foi correlacionado significativamente com os 400 m. Assim como o SJ, o CMJ é considerado excelente indicador da potência muscular de membros inferiores. Contudo, o desempenho em tal salto pode estimar também a habilidade de utilização da energia elástica acumulada durante o CAE. A razão disso é que durante o CMJ ocorre uma ação muscular excêntrica precedida da concêntrica, no qual há o alongamento das estruturas músculo-

tendíneas, armazenando energia elástica que poderá ser reutilizada na contração concêntrica (KOMI, 2000). Os saltos e as corridas são exemplos típicos de eventos esportivos de como a força da gravidade induz ao alongamento muscular, ocasionando este processo de alongamento-encurtamento.

Correlações entre CMJ e a performance em corridas de velocidade foram também verificadas em investigação realizada por Henessy e Kilty (2001). No referido estudo, 17 velocistas do sexo feminino realizaram o salto com contra-movimento (CMJ) e corridas para determinação da performance nas distâncias de 100 e 300 m. Os resultados obtidos indicaram que o CMJ esteve relacionado significativamente com a performance das atletas nos 100 m ( $r = -0,64$ ) e 300 m rasos ( $r = -0,55$ ). No presente estudo, apesar das distâncias de provas investigadas não serem as mesmas, observou-se correlação significativa do CMJ apenas com a prova de 200 m, cujas características são semelhantes aos 100 m, que exigem o desprendimento da velocidade máxima ou próxima à máxima em todo percurso da prova (VITTORI, 1996). Estas relações entre CMJ com a performance nos 100 e 200 m indicam que esta última é dependente da potencia muscular e do aproveitamento da energia elástica dos atletas. Na corrida de maior distância (300 m) investigada por Henessy e Kilty (2001), tais características neuromusculares também parecem ser importantes para a performance na mesma, visto a correlação significativa encontrada com o CMJ, o que não pode ser observado na prova de velocidade de maior distância analisada no presente estudo, os 400 m rasos.

Em recente estudo, Smirniotou et al. (2008) analisaram a relação do CMJ e outros índices neuromusculares, o SJ, DP (*Drop Jump*) e RJ (*repetidos jumps*) com a velocidade média por trechos ao longo dos 100 m rasos, em um grupo de vinte e cinco jovens velocistas. Os resultados indicaram que o desempenho nos primeiros metros da corrida (V0 – V10) esteve relacionado com o SJ e DP e que dos 10 - 30 m, a velocidade média neste espaço relacionou-se apenas ao SJ. A partir dos 30 m, (V30 – V60 e V60 – V100), a performance mostrou-se relacionada com o CMJ. Corroborando os achados de Henessy e Kilty (2001) citados no parágrafo anterior, a performance nos 100 m mostrou-se fortemente dependente de fatores neuromusculares como o CMJ ou SJ, semelhante ao que foi encontrado no presente estudo para a prova dos 200 m rasos.

Percebe-se que as variáveis SJ e CMJ, que representam a maior produção de potência muscular pelos músculos extensores do joelho (BOSCO et al., 1982b), são significativamente relacionadas com corridas de velocidade em distâncias curtas, como observado na presente investigação e nos estudos supra-citados. Essa relação é justificada pelo fato que em tais provas exige-se a obtenção e manutenção de velocidade máxima em todo percurso (VITTORI, 1996), o que será possibilitado pela alta potência nas contrações musculares, permitindo ao velocista realizar passadas vigorosas e deslocar-se no menor tempo possível até a linha de chegada de uma corrida.

Miguel e Reis (2004) verificaram, ao contrário dos resultados da presente pesquisa, correlações significativas do CMJ também com a P400 em um estudo em que foram avaliados 15 corredores de 400 m, considerados heterogêneos quanto a performance. Os sujeitos realizaram além do CMJ, 30 saltos contínuos com contra-movimento (30CMJ), expressando a capacidade de resistir à produção de potência (*strength endurance*). Os resultados obtidos indicaram que o desempenho no CMJ, ao contrário do presente estudo, foi uma variável que se relacionou significativamente com os 400 m ( $r = -0,68$ ). A variável 30CMJ foi a mais fortemente correlacionada com esta prova ( $r = -0,75$ ), sendo considerada a manifestação de força mais importante para um corredor de 400 m. De acordo com os autores, estas associações puderam ser diagnosticadas em função do grupo ser considerado heterogêneo quanto a performance.

Esse fato pode explicar a não relação entre CMJ e P400 observada no presente estudo, visto que, utilizando os critérios de Gomes (1990), o grupo foi considerado homogêneo ( $CV = 3\%$ ) quanto ao tempo de prova, conforme tabela 1. Outra explicação possivelmente pode ser pelas características da prova de 400 m, que é classificada como de “resistência de velocidade” (VITTORI, 1996), no qual demanda do atleta a capacidade em manter velocidades quase máximas por um determinado período de tempo, que no caso deste estudo foi, em média, 52 s. Nessa situação fatores relacionados à capacidade anaeróbia e potência aeróbia terão maior relação com esta prova, conforme resultados de Nevill et al. (2008) e os encontrados no presente estudo, apresentados a seguir. Contudo, cabe ressaltar que o CMJ, apesar de não estar



relacionado individualmente com P400, ele possui uma parcela de contribuição na performance do corredor nesta prova quando inserido juntamente com demais variáveis, o que será discutido posteriormente neste trabalho.

O índice  $CJ_{15s}$  foi outra variável neuromuscular correlacionada com a P200 no atual estudo. O desempenho neste teste, que foi representado pela altura média em 15 s de saltos contínuos, pode diagnosticar, além dos níveis de potência e propriedades visco-elásticas dos músculos, também a chamada “*strength endurance*”, determinada pela capacidade do sistema metabólico que sustenta o trabalho muscular em eventos de curta duração e alta intensidade (BOSCO, 1999). A correlação significativa encontrada neste estudo ( $r = -0,64$ ;  $p = 0,01$ ) do CJ com a P200 justifica-se pelas características da prova. Segundo Gatin (2001), em esforços máximos de curta/média duração, a exemplo dos 200 m, uma alta taxa de liberação de energia anaeróbia, principalmente provinda das fontes aláticas, é necessária para produção de elevados níveis de potência.

Correlação entre o CJ e P400 poderia talvez ter sido diagnosticada no presente estudo caso realizado o CJ com maior tempo de execução. Bosco (1999) relata que múltiplos saltos com duração de 30 s até 1 min podem estimar a capacidade do sistema glicolítico láctico, o que possivelmente estaria mais associado com eventos de duração próximo a 1 min, como os 400 m rasos. Tal fato pode ser observado na investigação de Miguel e Reis (2004), na qual a variável 30CMJ, caracterizada pela realização contínua de 30 saltos com contra-movimento, correlacionou-se significativamente com a performance nos 400 m.

Em relação ao IEE, índice proposto como um indicador da utilização do CAE (McGUIGAN et al., 2006), não observou-se no presente estudo correlações significativas do mesmo com a performance nas corridas de velocidade. De acordo com Harrison et al. (2004), o IEE, obtido pela razão entre SJ/CMJ, parece não discriminar diferentes grupos de corredores. Em estudo realizado pelos autores supra-citados, corredores velocistas e fundistas foram avaliados realizando os saltos verticais SJ e CMJ, sendo a razão encontrada entre eles semelhante para os dois grupos, indicando que, tanto velocistas quanto fundistas, conseguem utilizar da mesma forma o CAE. No entanto, os valores de altura e potência obtidos no CMJ, salto que envolve o ciclo

alongamento-encurtamento, foram estatisticamente superiores no grupo de velocistas, sugerindo ser a melhor variável capaz de diferenciar atletas de *endurance* com os de potência.

Com base nestas afirmações de Harrison et al. (2004) e nos dados do presente estudo, pode-se afirmar que o IEE apenas indica se está ocorrendo ou não o aproveitamento de energia elástica, mas o mesmo não consegue distinguir atletas de diferentes características (potência ou *endurance*). Nesse sentido, o desempenho no CMJ pode ser considerado mais fidedigno para tal fim, visto que é um bom indicador do aproveitamento da energia elástica pela ocorrência do CAE, além de estar já comprovada a sua relação com a performance de velocistas (HENNESSY; KILTY, 2001; MIGUEL; REIS, 2004; SMIRNIOTOU et al., 2008).

Tendo em vista a importância do CAE na performance dos velocistas, faz-se necessário elucidar um pouco mais sobre os fatores que influenciam este fenômeno, no qual é determinado tanto por propriedades musculares quanto neurais.

Entre os aspectos músculo-tendíneos, a estrutura mecânica do tendão é considerada decisiva no desempenho da função muscular do CAE, devido principalmente ao grau de *stiffness* do mesmo. Isso foi evidenciado em estudo realizado por Kubo et al. (2006), no qual verificou-se que os níveis de pré-alongamento muscular durante os saltos CMJ e DP estavam relacionados positivamente com o *stiffness* do tendão calcâneo, mensurados via ultrasonografia computadorizada em 23 sujeitos. De acordo com os autores, a elasticidade do tendão, juntamente com o aumento da ativação EMG, propiciaram condições ideais para o aproveitamento do CAE.

A importância deste componente muscular na performance de velocistas foi descrita por Locatelli (1996), que verificou que o *stiffness* estava relacionado com a capacidade de manutenção da velocidade durante uma corrida de velocidade. Kubo et al. (2000) também constataram que a influência do componente de elasticidade dos tendões é um importante fator na performance de corredores velocistas. Tal conclusão foi obtida a partir de estudo no qual foi avaliado, por meio do método de ultrasonografia, o nível de alongamento do tendão de velocistas e sua influência no desempenho em corridas de velocidade. Os resultados indicaram que a elasticidade dos tendões dos músculos vasto lateral e gastrocnêmio em altos níveis de produção de

força poderiam estar associados com o armazenamento da energia elástica e a subsequente utilização desta energia durante exercícios que envolvem o CAE, como nas corridas. Finni et al.(2000) reforçam a importância da elasticidade, relatando que uma ativação de alongamento muscular é necessária para otimizar o CAE, visto que geram-se condições para suportar altas tensões e alongar o tendão para armazenar energia elástica.

Além dos mecanismos músculo-elásticos, os aspectos neurais, como os reflexos de estiramento, têm sido relacionados com a potencialização do CAE. Durante o alongamento muscular, o reflexo induzido pelo estiramento desempenha papel importante na formação das pontes cruzadas para a geração de força, devido à rigidez elástica (*stiffness* muscular) de reduzida amplitude formada (NIKOL; KOMI, 1998; BOBBERT; CASIUS, 2005). Os reflexos contribuem na eficiência do comportamento motor, devido a uma rápida transição do complexo músculo-tendão, da fase excêntrica, previamente ativado e alongado, para a fase final concêntrica (KOMI; GOLLOFER, 1997).

Os níveis de pré-ativação muscular antes do contato com o solo também são considerados fatores importantes na potencialização muscular do CAE. Dietz et al. (1979) apresentaram dados que mostram que os níveis de pré-ativação, mensurado por meio de EMG durante a corrida, estavam relacionados com o tempo de contato no solo dos atletas em velocidades elevadas, mostrando que a ativação pré-contato é importante na preparação da ação muscular neste movimento de alta potência. Assim, os músculos ao alongaram-se a durante a fase excêntrica já estariam com níveis ótimos de ativação, o que poderia potencializar a ação do CAE.

A última variável neuromuscular analisada neste estudo foi o desempenho nos *sprints*, considerado um índice neuromuscular que representa características de força e velocidade (NUMELLA et al., 2006) ou os níveis de potência muscular do atleta (MARKOVIC et al., 2007). De acordo com resultados do presente estudo, houve uma correlação significativa positiva ( $r = 0,70$ ) dos *sprints*<sub>20m</sub> com a performance dos velocistas na corrida de 200 m (figura 18, p. 70). Tais dados remetem a idéia de que os atletas com bom desempenho em tiros de 20 m possuem bons níveis de potência, o que é um fator preponderante nesta prova de velocidade.

Tendo em vista as correlações obtidas entre os saltos verticais e *sprints* com a P200 e P400, pode-se afirmar, de modo geral, que fatores neuromusculares como os níveis de potência muscular e o aproveitamento da energia elástica acumulada no CAE são mais preponderantes para a performance nos 200 m que nos 400 m rasos.

## 5.2 Índices anaeróbios e a performance nos 200 e 400 m rasos

Os eventos esportivos de alta intensidade, como as corridas de velocidade, são classificados como predominantemente anaeróbios (SPENCER; GASTIN, 2001; DUFFIELD, 2004). A taxa de liberação e a quantidade total de energia disponível neste sistema (capacidade anaeróbia - CAn) são determinantes para estes eventos que requerem o desenvolvimento de altos níveis de potência (GASTIN, 2001).

Estimativas desta capacidade têm sido realizadas por meio de mensurações diretas do déficit acumulado de oxigênio (MAOD), no qual indica que quanto maior tal déficit em um exercício máximo, maior é a CAn do atleta.

Entre corredores de diferentes características (velocidade ou *endurance*), Scott et al. (1991) verificaram que os maiores valores de MAOD são de velocistas. No referido estudo, o MAOD apresentou nos corredores fundistas valores médios de 56,9 ml.kg<sup>-1</sup>, que não diferiu do grupo controle sedentário (56,1 ml.kg<sup>-1</sup>), mas inferior aos valores encontrados para os velocistas (78,3 ml.kg<sup>-1</sup>) e meio-fundistas (74,2 ml.kg<sup>-1</sup>). Os resultados obtidos por Friedmann et al. (1997) também revelaram maiores valores de MAOD em corredores de 400 m em relação aos de *endurance* (87.3 ± 8.1 vs 59.7 ± 11.8 mL.kg<sup>-1</sup>).

Estes resultados indicam que a maior capacidade anaeróbia é dos velocistas, justificada pelo maior número de fibras de contração rápida destes atletas (MERO et al., 1991), maior recrutamento de unidades motoras e envolvimento de maior número de fibras musculares durante o exercício, aumentando assim o potencial de transferência de energia pelos processos anaeróbios (NAKAMURA; FRANCHINI, 2006).

Os valores de MAOD do grupo de velocistas citados por Scott et al. (1991) e Friedmann et al. (1997) são relativamente superiores quando comparados com os

velocistas avaliados no presente estudo, no qual obteve-se valores médios de  $60,01 \pm 3,89 \text{ ml.kg}^{-1}$ . Uma possível explicação para isso pode ser em virtude do nível técnico destes atletas, considerados inferiores quando levado em consideração o tempo de prova nos 400 m ( $52,3 \pm 1,42 \text{ s}$  para os atletas do presente estudo *versus*  $47,9 \pm 1,1 \text{ s}$  dos atletas avaliados por Scott et al. (1991).

Diversos estudos realizados (SCOTT et al., 1991; RANSBOTTON et al., 1994; NEVILL et al., 2008) têm demonstrado que a capacidade anaeróbia, mensurada por meio do déficit acumulado de oxigênio, está relacionada com o desempenho em eventos esportivos de curta duração e alta intensidade, a exemplo das corridas de velocidade.

Um dos objetivos do estudo de Scott et al. (1991) foi relacionar o MAOD com a performance de corredores nas distâncias de 300, 400 e 600 m. Os resultados mostraram que apenas o tempo nos 300 m esteve relacionado significativamente com o MAOD ( $r = -0,76$ ). Os autores comentam que o desempenho nesta distância de prova é capaz de diferenciar os velocistas de demais corredores, em função de ser a mais dependente da capacidade anaeróbia dos mesmos. Em relação aos 400 m rasos, apesar de ser uma prova de velocidade, não verificou-se relação significativa do MAOD com a performance nesta prova, assim como observado no presente estudo.

Fortes correlações do MAOD com a performance em corridas de velocidade foram observadas por Ramsbottom et al. (1994), ao investigaram em 14 sujeitos, a relação do MAOD com a performance nas corridas de 100, 400 e 800 m rasos. A maior relação obtida foi com o tempo de prova nos 100 m ( $r = -0,88$ ) e, ao contrário do presente estudo, significativa correlação foi verificada com os 400 m ( $r = -0,82$ ). Já nos 800 m rasos, corrida de caráter mista com contribuição dos sistemas aeróbio e anaeróbio para produção de energia (SPENCER; GASTIN, 2000), a correlação encontrada foi moderada ( $r = -0,61$ ). Resultados semelhantes foram obtidos em recente estudo de Nevill et al. (2008), na qual analisaram a relação do MAOD com estas mesmas distâncias de prova (100, 400 e 800 m rasos) em um grupo de 14 indivíduos com diferentes níveis competitivos. Os resultados confirmaram existir correlações significativas do MAOD com a velocidade média obtida nos 100 m ( $r = 0,86$ ), 400 m rasos ( $r = 0,80$ ) e 800 m ( $r = 0,61$ ).

Os resultados dos estudos de Ransbotton et al. (1994) e Nevill et al. (2008) suportam a idéia que a importância do fornecimento energético via metabolismo anaeróbio diminui à medida que a distância da corrida aumenta. Nesse sentido, se evidencia que a performance em provas de velocidade mais curtas, como os 100 m rasos, assim como nos 200 m analisado no presente estudo, é significativamente relacionada com a capacidade anaeróbia dos corredores. Esta relação, entretanto, ficou evidenciada também com a P400 nos estudos supra-citados, o que não havia sido diagnosticado no presente estudo e na investigação de Scott et al. (1991).

A menor importância atribuída à capacidade anaeróbia na performance de corredores nos 400 m, indicada pelas menores correlações encontradas entre MAOD e P400 em relação às provas curtas de velocidade (100 e 200 m), podem ser atribuídas às características das referidas corridas. De acordo com Hill (1999) e Spencer e Gatin (2001), nos 400 m, com duração próxima a 50 s, a contribuição do sistema aeróbio quase chega a se equiparar, em termos relativos, com o metabolismo anaeróbio no fornecimento de energia. Neste caso, a capacidade anaeróbia juntamente com a potência aeróbia parecem determinar a performance (NEVILL et al., 2008). Já nos 200 m, o metabolismo anaeróbio atua predominantemente até o fim da corrida, com menor contribuição aeróbia (SPENCER; GASTIN, 2001; DUFFIELD et al., 2004). Nesse sentido, a quantidade total de energia provinda das fontes anaeróbias e sua taxa de liberação são mais preponderantes, visto que em tal prova é requerido o desenvolvimento de elevados níveis de potência, a fim de adquirir e manter velocidades máximas ou quase máximas durante toda corrida.

Apesar de não haver um consenso absoluto na literatura acerca da relação entre MAOD com a performance de velocistas em provas de 400 m, a correlação não-significativa ( $r = -0,43$ ;  $p = 0,18$ ) encontrada entre estas variáveis no presente estudo é bem mais fraca do que as mencionadas nos estudos supra-citados. Explicações para isso podem provir da homogeneidade do grupo, o que torna mais difícil detectar associações. Além disso, o método para o cálculo do MAOD tem evidências apresentadas por Nakamura e Franchini (2006) de ser protocolo dependente, podendo explicar resultados diferenciados dos estudos realizados.

Considerado padrão-ouro da medida da capacidade anaeróbia, o método proposto e validado por Medbo et al. (1988) para o cálculo do MAOD sofre algumas críticas. A principal delas é em relação ao pressuposto 1, no qual preconiza que a demanda de  $O_2$  pode ser estimada a partir da extrapolação linear do  $VO_2$  de estado estável de cargas submáximas. No entanto, existem evidências a respeito de uma possível não linearidade existente entre consumo de oxigênio e carga de trabalho em intensidades submáximas. Como relatado por Ransbottom et al (1994), umas das causas que podem interferir nesta linearidade é que, em cargas acima de 75% do  $VO_{2max}$  as concentrações de lactato aumentam, interferindo na cinética de consumo e aumentando o componente anaeróbio no exercício. Nesse sentido, a escolha da forma de imposição das cargas e a duração dos testes submáximos podem interferir diretamente nos parâmetros da reta de regressão linear entre  $VO_2$  e carga.

Resultados de Craig et al. (1995) mostraram que a duração do teste supra-máximo e a especificidade atlética influenciaram nos valores de MAOD. O maior valor ( $66,9 \text{ ml.kg}^{-1}$ ) obtido por ciclistas velocistas em um teste de 70 s não diferiu do resultado no teste de 120 s, mas foi superior ao obtido quando a duração foi de 300 s. Já os fundistas tenderam a apresentar o maior MAOD ( $62,1 \text{ ml.kg}^{-1}$ ) no teste de 300 s. A cinética mais rápida de aumento do  $VO_2$  dos fundistas e mais lenta dos velocistas pode explicar estas diferenças, visto que o menor acúmulo de déficit de  $O_2$  dos fundistas nos instantes iniciais possibilitaria maior tempo para gastar seu suprimento anaeróbio, ocorrendo o inverso para os velocistas. Tais resultados não contrariam o pressuposto 2 de Medbo et al. (1988) sobre a constância da demanda de  $O_2$  durante o teste supra-máximo, mas apontam para o cuidado na escolha da duração do teste para a determinação do MAOD.

O outro índice anaeróbio analisado neste estudo foi o LACmax. A quantificação das concentrações de lactato [Lac] pós-exercício tem sido utilizada por pesquisadores (LACOUR et al., 1990a; HILL, 1999) como medida da taxa de liberação de energia anaeróbia, no entanto, sugere apenas o quanto o metabolismo láctico (glicólise anaeróbia) foi solicitado. Altos valores de [Lac] sanguíneo pós-esforço máximo indicam elevada taxa de participação da glicólise.

A correlação negativa encontrada no presente estudo entre LACmax e P400 ( $r = -0,55$ ;  $p = 0,05$ ) indica que os atletas que obtiveram os maiores picos de lactato pós-esforço teriam obtido também os melhores tempos de prova nos 400 m rasos. Como esta relação não foi observada com a P200, pode-se dizer que a corrida de 400 m é mais dependente da glicólise anaeróbia que a corrida de 200 m.

Diversos estudos realizados evidenciam que a resposta do lactato em exercícios de curta/média duração e alta intensidade está correlacionada com a performance nos mesmos (SCOTT et al., 1990; LACOUR et al., 1990a; HAUTIER et al., 1994; RANSBOTTOM et al., 1994; FRIEDMANN et al., 1997; HILL, 1999; DE-OLIVEIRA et al., 2006).

Resultados bastante interessantes foram obtidos por De - Oliveira et al. (2006) ao investigar, em velocistas de elite, qual o tempo de exercício máximo (30 e 60 s) possuía maior correlação com o LACmax obtido até o 10º minuto de recuperação. Os resultados indicaram haver associação significativa da maior concentração de lactato somente com a distância percorrida na corrida de 60 s (aproximadamente 470 m), semelhante ao que foi encontrado no presente estudo na relação entre LACmax e P400. Sugere-se com isso que, em exercícios com duração próximo a um minuto, a glicólise anaeróbia fica ativa no fornecimento de energia e, mostrando-se dependente do metabolismo láctico. Em relação à corrida de 30s (média de 270 m percorridos), a conclusão do estudo é que o metabolismo alático possui maior importância, assim como visto na presente investigação na P200, no qual fatores neuromusculares, que demandam alta taxa de liberação de energia alática, apresentaram maior relação com a mesma.

As afirmações do parágrafo anterior acerca da prova de 200 m corroboraram os resultados da investigação de Hautier et al. (1994). No referido estudo, a capacidade glicolítica de 12 velocistas de nível nacional, estimada pelas concentrações de lactato obtidas 5 minutos após as corridas, não se mostrou significativamente relacionada com a performance nos 100 e 200 m. Esses resultados são semelhantes ao encontrado no presente estudo na relação P200 x LACmax e reforçam a idéia apresentada no parágrafo anterior, indicando que em eventos como os 100 e 200 m, os atletas utilizam



predominantemente o sistema anaeróbio alático para fornecimento de energia, não permitindo assim fazer associações com a produção de lactato.

O fato de não existir correlação entre LACmax e P200 indica apenas que esta distância de prova não vem a solicitar de maneira intensa a glicólise anaeróbia, porém isto não quer dizer que a CAn não é importante para a performance nos 200 m. Conforme dados do presente estudo, verificou-se que o MAOD, um indicador de capacidade anaeróbia, possui relação com a P200. Esta relação possivelmente foi detectada pelo fato do MAOD ser um teste no qual consegue mensurar a taxa de energia proveniente tanto do metabolismo lático quanto alático, podendo deste modo grande parte da energia anaeróbia que sustenta o trabalho nos 200 m provir predominantemente das fontes aláticas.

O fato de o LACmax estar associado somente aos 400 m é evidenciado também por Lacour et al. (1990a), que verificaram, em corredores de elite, correlações significativas das concentrações de lactato pós-corrida com a velocidade média sustentada na prova de 400 m, nos atletas masculinos ( $r = 0,85$ ) e femininos ( $r = 0,80$ ). As concentrações de lactato mostraram-se correlacionadas significativamente também com a velocidade média nos 800 m, tanto nos atletas masculinos ( $r = 0,79$ ) assim como nos femininos ( $r = 0,71$ ). Hill (1999) encontrou resultados semelhantes, obtendo correlação significativa das [Lac] obtidas 5 min. pós-corrida com a P400 m ( $r = -0,79$ ). Tais resultados evidenciam que a capacidade glicolítica, estimada pelas concentrações máximas de lactato pós-exercício, é uma aptidão importante para atletas de provas consideradas “láticas” como os 400 m, podendo estender-se também aos 800 m.

Evidências a respeito também foram observadas na investigação de Scott et al. (1990), que em um dos objetivos do estudo, relacionou a concentração da variável metabólica lactato obtida 5 minutos pós-exercício supra- $VO_2$ máx com o desempenho de velocistas e meio-fundistas em corridas de 300, 400 e 600 m, realizadas em pista. Os resultados mostraram correlações das [Lac] com o tempo médio nos 300 m ( $r = -0,67$ ) e 400 m ( $r = -0,71$ ). No presente estudo, também verificou-se associação significativa com a P400, porém não com a P200. Baseado em tais dados, pode-se supor que a produção de energia pela quebra incompleta da glicose, no chamado metabolismo

anaeróbio lático, é determinante para o desempenho em corridas com distâncias próximas a 400 m.

Os resultados apresentados na tabela 2 mostrando os valores de [Lac] obtidos pós-corrida de 200 e 400 m fornecem sustentação ao fato de considerar-se a segunda prova com características mais “láticas” em relação à primeira, visto os maiores valores obtidos durante os 15 minutos do período de recuperação após os 400 m rasos (14,87 *versus* 18,08 mmol.L<sup>-1</sup>). De-Oliveira et al. (2006) traz dados que levam a conclusões semelhantes, mostrando maiores picos de concentração de lactato (20,9 mmol.L<sup>-1</sup>) após corrida de 60 s (média de 470 m percorridos) em relação à corrida com 30 s e média de 272 m percorridos (18, 2 mmol.L<sup>-1</sup>).

É importante ressaltar que tais dados indicam apenas que na distância de prova de 400 m a capacidade lática é mais solicitada que na prova de 200 m. Entretanto, isto não responde se a maior taxa de liberação de energia via glicólise ocorre exatamente nos 400 m, visto que poderia ser em uma distância inferior (300 m, por exemplo) ou até mesmo superior aos 400 m rasos.

O LACmax parece conseguir distinguir diferentes grupos de corredores quanto à capacidade anaeróbia lática, de acordo com investigação de Friedmann et al. (1997). Isso foi observado ao comparar o pico de concentração de lactato (LACmax) após exercício intenso em esteira rolante ( $v = 18 \text{ km.h}^{-1}$ ) em grupo de corredores de 400 m e outro grupo de *endurance*. Os resultados obtidos mostraram que os valores de LACmax foram significativamente maiores nos corredores de 400 m em comparação com os de *endurance*, demonstrando que os corredores velocistas possuem maior capacidade glicolítica.

Apesar de estar comprovada a relação do LACmax com exercícios de alta intensidade e ser apontado como bom indicador da atuação do metabolismo lático (HILL, 1999), alguns pontos devem ser analisados em relação à produção deste metabólito durante o exercício. Embora as [Lac] no sangue indiquem a taxa de solicitação da glicólise, certos fatores limitam a possibilidade de haver relação das [Lac] com a CAn. Entre eles a variabilidade na taxa de remoção, na qual a concentração encontra picos em tempos variados após o exercício e o fato dela não refletir a produção muscular de lactato (JACOBS; KAISER, 1982; JACOBS, 1986), podem

comprometer a análise. Outro aspecto que deve ser ressaltado é que as [Lac] não permitem nenhuma indicação sobre a utilização do sistema de fosfagênios, ficando exclusivamente como preditor da capacidade anaeróbia láctica (GASTIN, 2001).

Outro importante ponto a ser mencionado é que, ao mesmo tempo em que ocorre elevação na taxa de lactato muscular, haverá diminuição significativa do pH intracelular, provocando um desequilíbrio iônico. Em consequência disso, as funções das enzimas glicolíticas, principalmente a fosfofrutoquinase, serão inibidas, comprometendo o fornecimento energético (ATP) desta via e a liberação de cálcio por parte do retículo sarcoplasmático, moléculas estas essenciais para o processo da contração muscular (HOGAN et al., 1995; MARTINS; ABREU, 1991). Assim, em uma prova como os 400 m, a tolerância ao pH elevado também pode ser um fator importante para a performance.

A maior tolerância à elevação da acidose poderia evitar a instalação da fadiga muscular. Apesar dos mecanismos de sua origem não estarem claramente evidenciados, alguns autores apresentados por Franchini (2001, p.15) sugerem haver uma associação entre concentrações de lactato produzidas e decréscimo da performance. Uma questão importante a ser discutida é o quanto a reduzida ativação glicogenolítica contribui para o estado de fadiga por limitar a produção de ATP ou é o resultado de um baixo requerimento de ATP conforme a fadiga se desenvolve.

### **5.3 Índices aeróbios e a performance nos 200 e 400 m rasos**

Os índices utilizados neste estudo como indicadores da aptidão aeróbia foram o  $VO_2\text{max}$ , a  $IVO_2\text{max}$  e o  $Tlim100\%$ . Mais especificamente, tais variáveis retratam a potência aeróbia, ou seja, a quantidade máxima de energia que pode ser produzida pelo metabolismo aeróbio em uma determinada unidade de tempo (DENADAI et al., 2004).

Conforme resultados apresentados no item 3.4, (figuras 24 a 29), nenhuma destas variáveis estiveram relacionadas, isoladamente, com a performance nas provas de 200 e 400 m, o que confirmou a hipótese nula H4. Esta hipótese foi elaborada e

sustentada com base em dados de pesquisas realizadas ao longo dos anos, que têm tradicionalmente comprovado que índices relacionados ao sistema aeróbio, como o  $VO_2\text{max}$ ,  $IVO_2\text{max}$  e o  $Tlim100\%$ , possuem fortes relações com a performance de corredores de *endurance* (COSTILL et al., 1973; DENADAI, 1996; DENADAI et al., 2004). No entanto, ainda não haviam sido evidenciadas claramente se estas variáveis de potência aeróbia possuíam relação com o desempenho em eventos esportivos de curta duração e alta intensidade (tipicamente anaeróbias), como as corridas de velocidade.

Os resultados do presente estudo mostraram não haver correlações significativas dos índices aeróbios com a performance nas provas de velocidade. Cabe ressaltar, entretanto, que esses dados não indicam que o metabolismo aeróbio não possua importância nestes eventos. Isso iria de encontro ao que já está tradicionalmente comprovado na literatura acerca da existência de uma parcela de contribuição do sistema aeróbio no fornecimento energético durante as corridas de velocidade (SPENCER; GASTIN, 2001; GASTIN, 2001; DUFFIELD, 2004). Segundo Spencer e Gastin (2001), a contribuição aeróbia nos 200 m chega a 29% e nos 400 m ela é ainda maior, 43%.

Em relação ao  $VO_2\text{max}$ , ele é o índice fisiológico que melhor representa a potência aeróbia, definido como a maior taxa na qual o oxigênio pode ser captado e utilizado pelo corpo durante um exercício severo (BASSET; HOWLEY, 2000). Este indicador fisiológico não esteve relacionado significativamente com a performance dos velocistas nesta investigação, apesar de ser a única variável aeróbia que apresentou uma tendência de relacionar-se com a P400 ( $r = -0,39$ ;  $p = 0,18$ ).

Contudo, em uma recente investigação realizada por Nevill et al. (2008), correlações significativas entre  $VO_2\text{max}$  e performance em corridas de velocidade foram obtidas. No referido estudo, o consumo máximo de oxigênio foi relacionado com o desempenho de 14 sujeitos, de diferentes níveis competitivos, nas distâncias de 100, 400 e 800 m rasos. Foram verificadas correlações do  $VO_2\text{max}$  com a velocidade média sustentada nos 800 m ( $r = 0,92$ ;  $p < 0,01$ ) e, quando relacionado com o desempenho nos 400 m, ao contrário do presente estudo, forte correlação foi obtida ( $r = 0,77$ ). Quanto aos 100 m, não houve correlação significativa ( $r = 0,51$ ), apesar da mesma ser

moderada. Tais resultados sugerem que a performance, até mesmo em provas de velocidade, possui determinada relação com o  $VO_2\text{max}$ , relação esta que vai aumentando à medida que aumenta a distância da prova.

Estes diferentes resultados encontrados em relação ao presente estudo na relação P400 x  $VO_2\text{max}$  pode ser explicado, em parte, pelas características dos avaliados. No estudo supra-citado, analisando os tempos realizados pelos sujeitos nas provas, presume-se que possivelmente os mesmos não sejam treinados em corridas de velocidade. Além disso, existe grande heterogeneidade em relação às marcas obtidas nas corridas, no qual o sujeito com melhor tempo nos 100 m, por exemplo, obteve 11,4 s, enquanto que a marca mais fraca foi 15 s. Esta larga heterogeneidade possibilita maiores chances de encontrar correlações entre os índices, assim como observado por Costill et al. (1973) em corridas de meio-fundo e fundo, na qual as melhores correlações entre  $VO_2\text{max}$  e a performance também foram obtidas em grupos heterogêneos de corredores. No presente estudo, avaliou-se atletas, treinados em corridas de velocidade e com menor variabilidade quanto ao tempo nas provas (CV = 3% na P200 e P400).

Além disso, apesar de referir-se a eventos de maior *endurance*, Denadai (1996) relata que existe uma baixa correlação entre o consumo máximo de oxigênio e a performance em indivíduos treinados, possivelmente em virtude do  $VO_2\text{max}$  nem sempre se modificar com o treinamento ou destreinamento. Esse fenômeno talvez pudesse estender-se também aos competidores anaeróbios.

Para chegar a resultados mais conclusivos acerca da correlação entre o  $VO_2\text{max}$  e o desempenho de velocistas, mais investigações precisam ser realizadas, principalmente com corredores de alto nível. Cabe mencionar, entretanto, que apesar dos dados deste estudo mostrarem que o  $VO_2\text{max}$  não está relacionado isoladamente com a performance dos velocistas, ele possui, quando inserido com demais índices, uma parcela de explicação e contribuição na P400. Isso será discutido posteriormente neste trabalho, abordando a questão da interação entre os índices fisiológicos e neuromusculares na predição da performance.

A importância do consumo de oxigênio nos eventos anaeróbios intermitentes foi evidenciada em um estudo realizado por Bogdanis et al. (1996), no qual verificaram que após realização de 2 *sprints* repetidos, houve significativa redução das fontes

anaeróbias de ATP ao final do 2º, porém com redução não significativa do trabalho realizado. Essa manutenção parece ter sido parcialmente atribuída pelo aumento no  $VO_2$  no 2º *sprint*. Nesse sentido, os autores atribuíram importância ao sistema aeróbio no fornecimento de energia para sustentar o trabalho realizado em situações de depleção das fontes anaeróbias. Associações do  $VO_{2max}$  com a capacidade de trabalho anaeróbio em uma seqüência de 6 *sprints* também foi obtida por Bishop et al. (2004), que corroboram a idéia apresentada por Bogdanis et al. (1996). Apesar de ser um exercício contínuo, as relações apresentadas por Nevil et al. (2008) entre  $VO_{2max}$  e a performance nas corridas de velocidade podem ser atribuídas a fatores ligados a esse fenômeno de compensação das depleções das fontes anaeróbias ao final da prova pelo aumento na taxa de liberação de energia aeróbia.

Embora os limites impostos pela genética e os moderados estímulos aplicados ao sistema aeróbio pelos velocistas, Matt Green et al. (2003) destacam que tais atletas podem possuir valores modestos de  $VO_{2max}$ , devido à predominância do sistema de oxigênio ou metabolismo aeróbio durante os períodos de recuperação entre as repetições anaeróbias de alta intensidade realizadas nos treinamentos. Um bom condicionamento aeróbio proporcionará aos velocistas breve recuperação entre estímulos, podendo suportar maiores cargas de trabalho.

No presente estudo, os atletas apresentaram valores médios de  $VO_{2max}$  de  $64,72 \pm 5,58 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ . Tais valores são relativamente superiores aos encontrados por Duffield et al. (2004) em corredores treinados de 200 m ( $56,86 \pm 4,31 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ) e por Spencer e Gatin (2001) em velocistas de alto nível técnico de 200 m ( $56 \pm 3 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ) e 400 m ( $59 \pm 3 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ). Já em corredores de média e longa distância os valores são relativamente maiores, nos quais variam entre 68 a  $77 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  e 75 a  $85 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ , respectivamente (BOILEAU et al., 1982). Segundo Brandon (1995), os maiores valores de  $VO_{2max}$  observados em corredores de endurance são, provavelmente, resultantes de uma combinação de aspectos relacionados à genética e ao treinamento.

Apesar de atletas engajados em treinamento anaeróbio não aumentarem os valores de  $VO_{2max}$  (LINOSSIER et al., 1997), tal tipo de treino proporciona aos competidores anaeróbios obter elevados valores do limiar de compensação ventilatório

(LCV), outro índice relacionado ao sistema aeróbio (MATT GREEN et al., 2003). De acordo com o estudo, observou-se que os atletas anaeróbios avaliados, entre os quais corredores de velocidade, apresentaram o LCV a uma intensidade relativa de 80% do  $VO_2\text{max}$ , semelhante, em termos relativos, ao observado em competidores aeróbios (76% do  $VO_2\text{max}$ ). Esses altos valores de LCV podem ser justificados por adaptações periféricas oriundas do treinamento de alta intensidade, como maior recrutamento de fibras rápidas, alta frequência glicolítica e a grande produção de lactato que excede sua remoção. A produção de ácido láctico intramuscular diminui o pH muscular e sanguíneo, que estimulará o aumento do sistema de tamponamento pela compensação respiratória. Assim, os altos valores de LCV nos competidores anaeróbios podem indicar um aumento na habilidade em tamponar a acidez muscular por meio da ventilação, o que pode auxiliar os velocistas a tolerar esforços lácticos de alta intensidade.

Além do  $VO_2\text{max}$ , os índices aeróbios  $IVO_2\text{max}$  e  $Tlim$  também foram analisados neste estudo. Tais índices têm sido apontados como preditores mais precisos da performance de corredores de *endurance* e explicam diferenças individuais na performance que demais índices, como  $VO_2\text{max}$  sozinho, não conseguem explicar (BILLAT; KORALSZTEIN, 1996). Uma série de estudos realizados (BILLAT et al., 1994a; BILLAT et al., 1994b; DENADAI et al., 2004) têm mostrado que os mesmos possuem grande poder discriminatório da performance em provas de média e longa duração.

Conforme resultados da presente investigação, estes índices não possuem correlação com a performance dos velocistas. Apesar destes resultados serem esperados, conforme hipótese (H4) formulada, as correlações quase nulas obtidas entre  $Tlim$  com a P200 ( $r = 0,11$ ) e com a P400 ( $r = -0,12$ ) surpreendem de certa maneira. Uma tendência de relação poderia ser esperada tendo em vista que Faina et al. (1997) verificaram em seu estudo que existe relação significativa do  $Tlim$  com o MAOD, indicando uma possível solicitação do metabolismo anaeróbio ao exercitar-se na intensidade na qual ocorre o  $VO_2\text{max}$ . Com base nisso, os autores sugerem que tal variável poderia ser utilizada também como indicadora da capacidade anaeróbica láctica.

Exercitar-se na  $IVO_2\text{max}$ , no caso dos atletas deste estudo a  $17,23 \pm 1,17$  km.h, vem a ser considerado como um estímulo de alta intensidade, por estar exigindo 100% da taxa de liberação energética da via aeróbia. Faina et al. (1997), na qual avaliaram atletas de natação, ciclismo e remo, verificaram que para sustentar-se nesta intensidade é requisitado aproximadamente 16% de energia provinda das fontes anaeróbias. Outra evidência da participação do metabolismo anaeróbio no  $Tlim_{100\%}$  é a grande variabilidade existente entre indivíduos de mesmo  $IVO_2\text{max}$  (BILLAT et al., 1994a). De acordo com estudo de revisão elaborado por Billat e Koralsztein (1996), existe um coeficiente de variação de até 25% entre indivíduos com a mesma  $IVO_2\text{max}$ . Essa variação pode ser parcialmente explicada por meio da participação do componente anaeróbio no metabolismo durante o exercício realizado nessa intensidade (BILLAT et al., 1994a). Ainda, Noakes (1988) afirma que fatores neuromusculares como a potência muscular, podem estar relacionados e ser determinantes na  $IVO_2\text{max}$ .

Apesar de tais índices não se relacionaram diretamente com a performance dos velocistas, eles podem servir de referência para o treinamento. Billat et al. (1999) relataram que o  $Tlim_{100\%}$  pode ser utilizado na determinação da duração do exercício de alta intensidade, considerado por Duffield et al. (2005) um tipo de estímulo capaz de melhorar tanto o condicionamento aeróbio quanto anaeróbio do atleta, além de aumentar a resposta do  $VO_2$  dos velocistas no exercício. A proposta de Billat et al. (1999) é realizar tal treinamento realizando séries de cinco repetições, em intensidade a 100% do  $IVO_2\text{max}$  e duração 60% do  $Tlim$ , ou então, 60% da  $IVO_2\text{max}$ , com a mesma duração do exercício.

#### **5.4 Regressão múltipla das variáveis fisiológicas e neuromusculares com a performance**

Na análise de regressão múltipla foram incluídas 9 variáveis independentes (4 neuromusculares, 2 anaeróbias e 3 aeróbias), tendo como variáveis dependentes a P200 e a P400. De acordo com resultados apresentados na tabela 4 (item 3.6), o modelo gerado selecionou três índices (CMJ, MAOD e *sprints*) que explicaram 76% da



variação da performance nos 200 m. Em relação aos 400 m, três índices também foram selecionados, o LACmax, VO<sub>2</sub>max e CMJ, para explicar 74% da performance nesta prova.

Referindo-se inicialmente aos 200 m rasos, os resultados mostraram que 76% da performance nesta prova pode ser explicada por índices de potência muscular e capacidade anaeróbia. O CMJ, considerado excelente indicador de potência muscular (BOSCO et al., 1982b), foi o índice que, sozinho, explicou a maior parte da variação da P200 (59%).

Relações simples entre CMJ e a performance de velocistas já haviam sido anteriormente observadas (HENNESSY; KILTY, 2001; HARRINSON et al., 2004), no entanto, poucos estudos se dedicaram a investigar a relação deste índice em conjunto com demais variáveis neuromusculares e/ou fisiológicas preditoras de performance.

Em recente estudo, Smirnioutou et al. (2008) analisaram a relação conjunta do CMJ e outros índices neuromusculares como o SJ, DP e RJ com a performance nos 100 m, em um grupo de velocistas. Uma análise de regressão múltipla revelou que aproximadamente 50% da variabilidade da performance nos 100 m pode ser explicada pelas variáveis neuromusculares SJ ou CMJ. Esses resultados são de certa maneira semelhantes ao observado no presente estudo para os 200 m, no qual o CMJ explicou 59% da variação da performance na prova.

Percebe-se que o índice CMJ é relacionado e consegue explicar boa parte da performance em corridas de velocidade de distâncias curtas, como observado na presente investigação nos 200 m e relatado em demais estudos nos 100 m rasos (HENNESSY; KILTY, 2001; SMIRNIOUTOU et al., 2008). Fica evidenciado, deste modo, que o sucesso de um atleta nos 200 m vai depender em grande parte da potência muscular, aptidão esta fundamental em tais provas que exigem a obtenção e manutenção de velocidade próxima à máxima em praticamente todo percurso.

Nesse sentido, corredores de 200 m devem desenvolver elevados níveis de potência muscular, que segundo Markovick et al. (2007), sofrem aumentos significativos após treinamento realizado com multi-saltos e *sprints* de 20-30 m. No entanto, mecanismos como a alta frequência de impulsos neurais, sincronização e recrutamento de grandes unidades motoras (ENOKA, 1997) e a presença de fibras musculares de

contração rápida (BOSCO; KOMI, 1979; MERO et al., 1991) são fundamentais para que um atleta consiga níveis ótimos de potência e assim, possivelmente, êxito nestas corridas de velocidade.

Levando em consideração que o desempenho no CMJ é influenciado pela presença do ciclo alongamento-encurtamento, pode-se afirmar que os 59% de explicação da P200 atribuídos aos níveis de potência dos atletas estão associados à habilidade em gerar e reutilizar a energia elástica acumulada durante o CAE. A corrida e os saltos são eventos esportivos na qual a força da gravidade induz ao alongamento muscular, ocasionando este processo de alongamento-encurtamento (KOMI, 2006).

A eficiência na utilização do CAE, por sua vez, é dependente de aspectos músculo-tendíneos, como relatado anteriormente. O grau de *stiffness* dos tendões dos membros inferiores (KUBO et al., 2006), assim como os níveis de elasticidade do tendão calcâneo em situações de alta produção de potência (KUBO et al., 2000; FINNI et al., 2000) são fatores considerados decisivo na otimização do CAE durante a corrida. Além disso, aspectos como os reflexos de estiramento (NIKOL; KOMI, 1998; BOBBERT; CASIUS, 2005) e os níveis de pré-ativação muscular antes do contato com o solo (DIETZ et al., 1979) também são considerados fatores importantes na potencialização muscular do CAE e conseqüente aumento da potencia muscular durante a corrida.

De acordo com resultados da análise de regressão, a potência muscular não é a única variável a explicar a P200. Apesar do CMJ ser o principal preditor com 59%, um indicador de capacidade anaeróbia, o MAOD, também foi selecionado no modelo, aumentando para 68% a explicação da performance dos velocistas na prova de 200 m.

Conforme investigação de Nevill et al. (2008), a capacidade anaeróbia, estimada pelo MAOD, também explicou grande parte da performance nos 100 m rasos. No referido estudo, as variáveis MAOD e  $VO_2\text{max}$  foram incluídas juntas em um modelo de regressão, sendo que o desempenho nos 100 m foi predito predominantemente pela variável MAOD, com coeficiente de explicação de 79%, não tendo nenhuma significância no modelo o  $VO_2\text{max}$ . No presente estudo, o MAOD, quando inserido com demais variáveis (CMJ e *sprints*) também contribuiu significativamente na explicação da P200, não possuindo o  $VO_2\text{max}$  nenhuma significância.

Sabendo que o metabolismo anaeróbio é predominante durante uma corrida de 200 m (SPENCER; GASTIN, 2001; DUFFIELD et al., 2004), esse percentual de contribuição do MAOD é importante tendo em vista que a quantidade total de energia provinda deste sistema (capacidade anaeróbia) e sua taxa de liberação são fundamentais para o sucesso em eventos que requerem o desenvolvimento e manutenção de elevados níveis de potência (GASTIN, 2001), como nos 100 e 200 m.

A última variável selecionada no modelo de regressão que explicou significativamente a P200 foi os *sprints* de 20 m. Este índice, que se relacionava significativamente com a P200 ( $r = 0,70$ ), quando inserido com o CMJ e MAOD, aumentou para 76% o coeficiente de explicação da P200. O desempenho em *sprints* de 20 m, assim como os saltos verticais, está relacionado como níveis de potência muscular do atleta.

Resumindo, pode-se dizer então que os níveis de potência muscular, com aproveitamento eficaz do CAE e a capacidade anaeróbia explicam pelo menos 76% da performance nos 200 m.

Referindo-se agora aos 400 m rasos, os resultados mostraram que 74% da variação da performance nesta prova pode ser explicada por 3 índices: um indicador de capacidade glicolítica (LACmax), um índice aeróbio ( $VO_2max$ ) e um neuromuscular (CMJ). Por meio da análise de regressão foi possível identificar que o  $VO_2max$ , assim como o CMJ, que não apresentavam correlação significativa com a P400, quando inseridos juntos na regressão com o índice anaeróbio LACmax, passaram a contribuir de maneira significativa na explicação da P400. Assim, tanto contribuições do sistema anaeróbio quanto do aeróbio parecem ser importantes para um corredor de 400 m rasos.

A importância do metabolismo anaeróbio láctico na performance dos corredores ficou evidenciada pela inclusão da variável LACmax na regressão, indicando que 31% da P400 pode ser explicada pela contribuição da glicólise anaeróbia no fornecimento de energia durante tal corrida. Estudos prévios já haviam detectado associações entre o LACmax e a performance nos 400 m (LACOUR et al., 1990a; SCOTT et al., 1990) e com corridas em intensidades máximas com tempo próximo a 1 minuto (DE-OLIVEIRA et al., 2006), evidenciando que a energia provinda da glicólise anaeróbia, estimada

pelas concentrações máximas de lactato, é importante para atletas de provas consideradas “láticas”, como os 400 m.

A contribuição do sistema aeróbio foi detectada pela inclusão do  $VO_2\text{max}$  no modelo de regressão. Apesar de não correlacionar-se de modo significativo com a P400 ( $r = 0,39$ ;  $p = 0,18$ ), quando inserido junto com o LACmax no modelo, o  $VO_2\text{max}$  aumentou significativamente para 44% a explicação da performance nos 400 m rasos. Em recente estudo, Nevill et al. (2008) também verificaram que a interação de índices do sistema anaeróbio e aeróbio foi capaz de prever grande parte da performance nos 400 m. No referido estudo, foram incluídas as variáveis de capacidade anaeróbia (MAOD) e potência aeróbia ( $VO_2\text{max}$ ) em uma análise de regressão, sendo observado que ambas explicaram 84% da variação da performance, com aproximadamente 50% de contribuição de cada variável. Tal coeficiente de explicação é bem superior ao encontrado no presente estudo ( $R^2 = 0,44$ ), contudo a variável anaeróbia utilizada por Nevill et al. (2008) foi o MAOD, enquanto no presente estudo foi o LACmax. Apesar disso, pode-se observar a partir destes resultados que, além da capacidade anaeróbia, o sistema aeróbio também contribui para a performance nos 400 m rasos.

Essa contribuição do consumo de oxigênio na corrida de 400 m pode estar relacionada ao que Bogdanis et al. (1996) e Bishop et al. (2004) verificaram para *sprints* intermitentes. Segundo os autores, o sistema aeróbio forneceria energia para sustentar o trabalho ao final de exercícios de alta intensidade, realizados em situações de depleção das fontes anaeróbias. Fatores ligados a esse fenômeno de compensação das depleções das fontes anaeróbias poderiam explicar a importância do  $VO_2\text{max}$  ao final de exercício contínuo, como a corrida de 400 m rasos. Essa idéia é reforçada por Spencer e Gatin (2001), que verificaram que a contribuição do sistema aeróbio nas provas de 200 e 400 m vai aumentando à medida que se aproxima o fim da prova.

Além dos índices referentes ao sistema anaeróbio e aeróbio, o índice neuromuscular CMJ também foi selecionado no modelo, no qual, juntamente com LACmax e  $VO_2\text{max}$ , aumentou para 74% o coeficiente de explicação da P400. Esses resultados mostram que a potência muscular, associada à utilização de energia elástica, também é uma aptidão que, quando inserida com demais índices (anaeróbios

e aeróbios), contribui significativamente no desempenho de corredores na prova de 400 m rasos.

Conforme evidências apresentadas na literatura (HENNESSY; KILTY, 2001; HARRINSON et al., 2004; SMIRNIOTOU et al., 2008) e dos dados do presente estudo, constata-se que a potência muscular, estimada pelo CMJ, é um dos principais determinantes da performance nos 100 e 200 m. Altos níveis desta aptidão são fundamentais nestas provas, visto que o atleta necessita realizar passadas vigorosas para adquirir e manter uma velocidade máxima em todo percurso. Nos 400 m, entretanto, a potência não é considerada a qualidade física mais importante, sendo a taxa e a quantidade de energia provinda do sistema anaeróbio mais preponderantes (LACOUR et al., 1990a; RANSBOTTON et al., 1994). Todavia, níveis ótimos de potência também são exigidos durante os 400 m, já que o atleta deverá adquirir e manter velocidades quase máximas por um determinado período de tempo, que no caso deste estudo foi, em média, 52 s. Esta contribuição dos fatores neuromusculares foi verificada no presente estudo pela inclusão do índice CMJ ao lado do  $VO_2\text{max}$  e LACmax na explicação da P400.

Relações significativas entre o desempenho nos 400 m e os níveis de potência já haviam sido detectadas por Miguel e Reis (2004) ao analisar 15 corredores de 400 m profissionais. Verificou-se que os índices analisados CMJ e 30CMJ (30 saltos contínuos) apresentaram correlação significativa com a P400 ( $r = -0,68$  e  $-0,75$ , respectivamente). Quando estas variáveis foram incluídas juntas em uma regressão para prever a P400, encontrou-se um coeficiente de explicação de 76%. Tais resultados atribuem grande dependência da potência muscular e da energia elástica nesta corrida de velocidade.

Em uma análise geral dos resultados do presente estudo, verifica-se que os índices que explicam o desempenho nos 400 m (LACmax,  $VO_2\text{max}$  e CMJ) são associados ao sistema anaeróbio a aeróbio de produção de energia. Sugere-se com isso que existe uma interação entre os sistemas energéticos para suprir a demanda durante eventos esportivos de alta intensidade, como relatado por Gatin (2001). De acordo com uma revisão elaborada pelo autor, o sistema anaeróbio é capaz de responder imediatamente e suportar a elevada taxa de demanda energética exigida

durante os movimentos de alta potência, como por exemplo, nos 200 e também nos 400 m. Infelizmente, o sistema anaeróbio é limitado em sua capacidade, e o no decorrer do exercício as fontes anaeróbias se esgotam. Contudo, grande parte do trabalho realizado pode ser mantido graças à atuação do sistema aeróbio, que responde surpreendentemente rápido à demanda energética ao final de exercícios intensos, como nas corridas de velocidade.

Este mecanismo ficou claramente evidenciado durante as provas de velocidade de 200 e 400 m investigadas no estudo realizado por Spencer e Gatin (2001), utilizando o déficit acumulado de oxigênio para estimar o fornecimento energético. Durante os 400 m simulados em esteira, que teve duração média de 50 s, os autores observaram que até os 30 s iniciais o sistema anaeróbio era predominante no fornecimento energético, sendo que a partir deste ponto, a predominância passou para o sistema aeróbio, que contribuiu em 43% na produção total de energia. Ao final da corrida, os atletas chegaram a alcançar um percentual de consumo de oxigênio de 90% do  $VO_2\text{max}$ . Nos 200 m, a contribuição do sistema aeróbio (29%) também aumentou ao longo da prova, contudo o anaeróbio atuou predominantemente em todo tempo da corrida (22 s). Verifica-se, deste modo, que o fornecimento energético aeróbio nas provas de 200 e 400 m vai aumentando à medida que se aproxima o fim das mesmas, existindo um momento de chamado “*crossover*” entre os sistemas durante a realização dos 400 m.

Resultados semelhantes foram obtidos por Duffield et al. (2005), ao analisar, por meio do déficit acumulado de oxigênio, a contribuição aeróbia/anaeróbia em corredores treinados de 400 m. Verificou-se uma relação 41/59% nos atletas masculinos e 45/55% no feminino, evidenciando assim predominância anaeróbia, porém com forte influência aeróbia no fornecimento energético nos 400 m rasos. Apesar de não ter analisado esta relação ao longo da prova, como realizado por Spencer e Gatin (2001), os autores relataram a possível existência de uma interação entre os sistemas, na qual o aeróbio passaria a predominar ao final do evento.

Graças a este fenômeno da interação entre os sistemas é possível manter o esforço até o final dos 400 m, tendo em vista a limitação dos estoques anaeróbios. Hirvonen et al. (1992) e Numella et al. (1992) sugerem, a partir de resultados de seus

estudos, que nos primeiros 100 m da corrida de 400 m, a maior parte da energia produzida provém da degradação de PC muscular e produz-se elevados níveis de potência. Entre os 100 e os 300 m a glicólise anaeróbia apresenta grande participação na produção de energia, enquanto que observa-se a uma diminuição da participação da PC muscular. Nos último quarto da corrida, a produção de energia via PC é quase nula, os níveis de potência são reduzidos e surge a fadiga muscular devido à diminuição do pH sanguíneo. Diante deste quadro, o atleta parece sustentar-se predominantemente pelas fontes aeróbias, apesar da velocidade da prova sofrer uma redução.

Um aspecto potencialmente importante nesta interação entre os sistemas para fornecer energia em eventos de alta intensidade parece ser a velocidade da resposta do  $VO_2$ . Resultados do estudo de Rossieter et al. (2002) proveram evidências de uma conexão entre a velocidade da resposta do  $VO_2$  e a quebra de PC, indicando que uma rápida degradação dos estoques de fosfagênios podem acelerar o envolvimento das fontes aeróbias. De acordo Duffield et al. (2005), o treinamento intervalado de alta intensidade pode potencializar este mecanismo, visto que tais estímulos aumentam tanto a habilidade anaeróbia (aumento da atividade glicolítica e hidrólise de PC) quanto a habilidade aeróbia (aumento na taxa de liberação de energia aeróbia).

Além do treinamento intervalado sugerido por Duffield et al. (2005), estímulos específicos devem ser realizados pelos velocistas, a fim de aprimorar as qualidades físicas representadas pelas medidas fisiológicas que se relacionaram e explicaram a performance nos 200 e 400 m neste estudo.

Tendo em vista que os índices estudados não explicaram completamente a performance (100%) dos velocistas, pode-se dizer que os demais 24% restantes na P200 e 26% na P400 podem ser oriundos de outros indicadores fisiológicos não avaliados no estudo. Ainda, aspectos biomecânicos (técnica de corrida) e fatores psicológicos também podem interferir, porém não foram levados em consideração nesta investigação.

## 6. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos neste estudo mediante avaliações realizadas em um grupo de corredores considerados homogêneos quanto à performance e de nível técnico inferior aos corredores de elite mundial, pode-se concluir que:

- a) as relações encontradas entre os índices neuromusculares SJ, CMJ e CJ com a performance na prova de 200 m indicam que, quanto maior os níveis de potência muscular, estimada pelo desempenho obtido em tais saltos, melhor a performance do atleta nesta prova. Tendo em vista que o desempenho no CMJ é influenciado pela ocorrência do ciclo alongamento-encurtamento, desta forma, a correlação entre CMJ x P200 indica também possíveis relações entre o aproveitamento da energia elástica acumulada no CAE e a performance nos 200 m rasos;
- b) o IEE, índice proposto como um indicador da utilização do CAE, não se mostrou relacionado com a performance em nenhuma distância de prova, indicando que a razão CMJ/SJ apenas retrata se está ocorrendo ou não o aproveitamento de energia elástica, mas o mesmo não conseguiu discriminar a performance dos velocistas. Nesse sentido, o desempenho no CMJ pode ser considerado mais apropriado para tal fim, visto que é um bom indicador do aproveitamento da energia elástica em virtude da ocorrência do CAE;
- c) o desempenho em *sprints* de 20 m, indicativo dos níveis de potência muscular, também é um aspecto neuromuscular que se mostrou relacionado com a performance nos 200 m. Tais dados remetem a idéia de que os atletas com bom desempenho em tiros de 20 m possuem bons níveis de potência, o que é um fator preponderante nesta prova de velocidade;
- d) a capacidade anaeróbia, estimada pelo máximo déficit acumulado de oxigênio, mostrou estar relacionada apenas com os 200 m. Isso demonstra que em tal prova a quantidade total de energia provinda das fontes anaeróbias aláticas e láctica



(capacidade anaeróbia) é mais preponderante, visto que nos 200 m é requerido o desenvolvimento de elevados níveis de potência, a fim de adquirir e manter velocidades máximas durante toda corrida;

e) o índice anaeróbio LACmax, indicador capacidade glicolítica, mostrou-se relacionado apenas com a P400. Esses resultados evidenciam que tal capacidade, estimada pelas concentrações máximas de lactato pós-exercício, é uma aptidão importante para atletas de provas consideradas “láticas” como os 400 m;

f) os indicadores de potência aeróbia não apresentaram interdependência com a performance nas corridas de velocidade, indicando que os atletas com melhores desempenhos nas provas de 200 e 400 m não são aqueles que possuem os maiores valores de  $VO_2\text{max}$ ,  $Tlim$  e  $IVO_2\text{max}$ ;

g) 74% da variação da performance nos 200 m rasos foi explicada por índices relativos à potencia muscular e capacidade anaeróbia. Contudo, um dos índices neuromusculares, o CMJ, foi quem mais contribuiu na P200 (59%), indicando que o sucesso de um atleta nos 200 m vai depender predominantemente da potência muscular e do aproveitamento da energia elástica;

h) a performance nos 400 m rasos foi explicada com coeficiente de 76% por índices relacionados à capacidade glicolítica, consumo máximo de oxigênio e potência muscular. Tendo em vista que tais índices estão ligados ao sistema anaeróbio e aeróbio de produção de energia, sugere-se assim a existência de uma interação entre os sistemas energéticos para suprir a demanda energética durante os 400 m rasos.

### **Aplicações práticas**

Existe um grande interesse de inúmeros pesquisadores da área desportiva em desenvolver e encontrar métodos precisos de treinamento, no intuito de obter o máximo rendimento dos atletas. A partir dos resultados deste estudo foi possível identificar quais são os fatores ou índices que se relacionam e realmente determinam a

performance nas corridas de 200 e 400 m rasos, contribuindo no correto direcionamento dos programas de treinamento. Portanto:

a) em relação aos 200 m rasos, tendo em vista a maior relação e dependência dos aspectos neuromusculares, principalmente o CMJ, sugere-se que as sessões de treinamento para corredores de 200 m rasos incluam exercícios a fim de otimizar a potência muscular e a utilização do CAE. Como exemplo pode-se citar a realização de multi-saltos (horizontais, verticais, pliometria, entre outros), *sprints* de 20-30 m, treinamento com pesos utilizando cargas moderadas e empregando máxima velocidade, além de exercícios técnicos de corrida;

b) quanto aos 400 m rasos, faz-se necessário contemplar sessões de treinos mais variados, destinados a aumentar os níveis de potência (conforme exercícios descritos acima), estimular a glicólise anaeróbia (capacidade e potência láctica) e tolerância à acidose, além da potência aeróbia. Para este último, sugere-se a realização de treinamento intervalado de alta intensidade, que parece provocar melhora em ambos os sistemas (aeróbio e anaeróbio), além de aumentar a velocidade de resposta do consumo de oxigênio em exercícios de alta intensidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABERNATHY, P.J.; JURIMAE, J.L.; TAYLOR, A.W.; THAYER, R.E. Acute and chronic response of skeletal muscle to resistance exercise. **Sports Medicine**, v. 17, p.22-38, 1994.

BAKER, D.; NANCE, S.; MOORE, M. The load that maximizes the average mechanical power output during jump squats in power-trained athletes. **The Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 15, n.1, p. 92-97, 2001.

BASSETT, D. R. J.; HOWLEY, E. T. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 32, n. 1, p. 70-84, 2000.

BILLAT, V.; FLECHET, B.; PETIT, B.; MURIAUX, G.; KORALSZTEIN, J.P. Interval training at  $VO_2$ max: effects on aerobic performance and overtraining markers. **Medicine and Science in Sports**, v. 31, n 1, p.156-163, 1999.

BILLAT, V.; KORALSZTEIN, J.P. Significance of the velocity at  $VO_2$ max at time to exhaustion at this velocity. **Sports Medicine**, v. 22, n. 2, p. 90-108, 1996.

BILLAT, V.L.; RENOUX, J.C.; PINOTEAU, J.; PETIT, B.; KORALSZTEIN, J.P. Reproducibility of running time to exhaustion at  $VO_2$ max in sub-elite runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.26, n.2, p.254-257, 1994a.

BILLAT, V.L.; RENOUX, J.C.; PINOTEAU, J.; PETIT, B.; KORALSZTEIN, J.P. Time to exhaustion at 100% of velocity at  $VO_2$ max and modeling of the relation time-limit/velocity in elite long distance runners. **European Journal of Applied Physiology**, v. 69, n.3, p.271-273, 1994b.

BISHOP, D.; EDGE, J.; GOODMAN, C. Muscle buffer capacity and aerobic fitness are associated with repeated-sprint ability in women. **European Journal of Applied Physiology**, v. 92, p. 540-547, 2004.

BOBBERT, M.F.; CASIUS, L.J.R. Is the Effect of a counter-movement on Jump Height due to Active State Development? **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 37, n.3, p.440-446, 2005.

BOILEAU, R.A.; MAYHEW, J.L.; RINER, W.F.; LUSSIER, L. Physiological characteristics of elite middle and long distance runners. **Canadian Journal of Applied Physiology**, v.7, p.167-172, 1982.

BOGDANIS, G.C.; NEVILL, M.E. BOOBIS, L.H. Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. **Journal of Applied Physiology**, v. 80, n. 3, p. 876-84, 1996.

BOSCO, C.; KOMI, P.V. Mechanical characteristics and fiber composition of human leg extensor muscle. **European Journal of Applied Physiology**, v. 41, p. 275-284, 1979.

BOSCO, C.; KOMI, P.V.; ITO, A. Pre-stretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. **Acta Physiologica Scandinavica**, v.111, n.2, p.135-40, 1981.

BOSCO, C.; TARKKA, I.; KOMI, P.V. Effect of energy elastic and mioeletrical potentiation of triceps surae during stretch-shortening cycle exercise. **International Journal of Sports Medicine**, v. 3, n.3, p.137-140, 1982a.

BOSCO, C.; VIITASALO, J.T.; KOMI, P.V.; LUHTANEN, P. Combined effect of elastic energy and myoelectrical potentiation during stretch-shortening cycle, **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 114, p. 557-565, 1982b.

BOSCO, C. Adaptative response of human skeletal muscle to simulated hipergravity condition. **Acta Physiologica Scandinavica**, 1985.

\_\_\_\_\_. **Strength assessment with the Bosco's test**. Italian Society of Sport Science, Rome, 1999.

\_\_\_\_\_. **A Força Muscular**. São Paulo: Phorte, 2007.

BRANDON, L.J. Physiological factors associated with middle-distance running performance. **Sports Medicine**, v.19, p.268-77, 1995.

BUCHTHAL, F.; SCHMALBRUCH, H. Contraction times and fiber types in intact human muscle. **Acta Physiologica Scandinavica**, v.79, n.4, p.435-52, 1970.

CARVALHO, C.; CARVALHO, A. Não se deve identificar força explosiva com potência muscular, ainda que existam algumas relações entre ambas. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**, v.6, n.2, p. 241-248, 2006.

CAVANAGH, P.R. **Biomechanics of distance running**, Human Kinetics: Champaign, 1990.

CORN, R.J.; KNUDSON, D. Effect of elastic-cord towing on the kinematics of the acceleration phase of sprinting. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 17, n. 1, p. 72-75, 2003.

COSTILL, D.L.; THOMASON H.; ROBERTS E. Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. **Medicine and Science in Sports Exercise**, Madison, v.5, p.248-252, 1973.

CRAIG, N.P.; NORTON, K.I.; CONYERS, R.A.; WOOLFORD, S.M.; BOURDON, P.C.; STANEF, T.; WALSH, C.B. Influence of test duration and event specificity on maximal accumulated oxygen deficit of high performance track cyclists. **International Journal of Sports Medicine**, v. 16, n. 8, p. 534-40, 1995.

CRAIG, I.S.; MORGAN, D.W. Relationship between 800-m running performance and accumulated oxygen deficit in middle-distance runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.30, n.11, p.1631-1636, 1998.

DE - OLIVEIRA, F.R., LIMA-SILVA, A.E.; NAKAMURA, F.Y.; KISS, M.A.P.; LOCH, M.S.G. Testes de pista para avaliação da capacidade láctica de corredores velocistas de alto nível. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 12, n. 2, p.99-102, 2006.

DENADAI, B.S. Consumo máximo de oxigênio: fatores determinantes e limitantes. **Revista Brasileira de Atividade Física e Saúde**, v.1, p.85-94, 1995.

\_\_\_\_\_. Fatores fisiológicos associados com o desempenho em exercícios de média e longa duração. **Revista Brasileira de Atividade Física e Saúde**, v. 1, n. 4, p. 82-91, 1996.

\_\_\_\_\_. **Índices fisiológicos de avaliação aeróbia: conceitos e aplicações**. Ribeirão Preto: 1999.

DENADAI, B.S.; ORTIZ, M.J.; MELLO, M.T. Índices fisiológicos associados com a performance aeróbia em corredores de endurance: efeitos da duração da prova. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 10, n. 5, p.401-404, 2004.

DIETZ, V.; SCHMIDTBLEICHER, D.; NOTH, J. Neuronal mechanisms of human locomotion. **Journal of Neurophysiology**, v.42, n. 5, p.1212-22, 1979.

DUFFIELD, R.; DAWSON, B.; GOODMAN C. Energy system contribution to 100-m and 200-m track running events. **Journal of Science and Medicine Sport**, v.7, n.3, p. 302-313, 2004.

\_\_\_\_\_. Energy system contribution to 400- and 800-metre track running. **Journal of Sports Sciences**, v. 23, n. 3, p. 299-307, 2005.

ENOKA, R.M. Neural adaptations with chronic physical activity. **Journal of Biomechanics**, NETHERLANDS, V. 30, P. 447-455, 1997.

FAINA, M.; BILLAT, V.; SQUADRONE, R.; DE ANGELIS, M.; KORALSZTEIN, J.P.; DAL MONTE, A. Anaerobic contribution to the time to exhaustion at the minimal exercise intensity at which maximal oxygen uptake occurs in elite cyclists, kayakists and swimmers. **European Journal of Applied Physiology**, v.76, p.13-20, 1997.

FARLEY, C.T. Role of the stretch-shortening in jumping. **Journal of Applied Biomechanics**, v.3, n.4, p.436-9, 1997.

FINNI, T.; KOMI, P.V.; LEPOLA, V. In vivo human triceps surae and quadriceps femoris muscle function in a squat jump e counter movement jump. **European Journal of Applied physiology**, v. 83, p. 416-426, 2000.

FRANCHINI, E. **Tipo de recuperação após a luta, diminuição do lactato e desempenho posterior: Implicações para o judô**. Tese (Doutorado em Educação Física). Universidade de São Paulo, 2001, 229 p.

FRIEDMANN, B.; SIEBOLD, R.; BÄRTSCH, P. Comparison of anaerobic capacity determined by different methods in 400-m and long distance runners. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v.29, n.5, p.718, 1997.

GASTIN, P.B. Energy System Interaction and Relative Contribution During Maximal Exercise. **Sports Medicine**, v.31, n.10, p. 725-741, 2001.

GRECO, C. C. Limiar anaeróbio (4mM de lactato sangüíneo), velocidade crítica determinada a partir de diferentes distâncias e performance aeróbia em nadadores e nadadoras de 10 a 15 anos. 2003. **Tese (Doutorado)** – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

HÄKKINEN, K.; KOMI, P.V.; ALEN, M. Effects of explosive type strength training on isometric force and relaxation time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. **Acta Physiologica Scandinavica**, v.125, p. 587 - 600, 1985.

HÄKKINEN, K.; KOMI, P.V. Effects of explosive type strength training on electromyographic and force production characteristics of leg extensor muscles during concentric and various stretch-shortening cycle exercises. **Scandinavian Journal of Sports Science**, v.7, p. 65-76, 1985.

HÄKKINEN, K. Maximal force, explosive strength and speed in female volleyball and basketball players. **Journal of Human and Movement Studies**, v. 16, p. 291-303, 1989.

HARRINSON, A.J.; KEANE, S.P.; COGLAN, J. Force-velocity relationship and stretch-shortening cycle function in sprint and endurance athletes. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 18. n.3, p.473-479, 2004.

HAUTIER, C.A.; WOUASSI, D.; ARSAC, L.M.; BITANGA, E.; THIRIET, P.; LACOUR, J.R. Relationships between post competition blood lactate concentration and average running velocity over 100-m and 200-m races. **European Journal of Applied Physiology**, v. 68, n. 6, 1994.

HECK, H.; MADER, A.; HESS, G.; MUCKE, S.; MULLER, R.; HOLLMANN, W. Justification of the 4mmol/l lactate threshold. **International Journal Sports Medicine**, v.6, p.117-130, 1985.

HENNESSY, L.; KILTY, J. Relationship of the stretch-shortening cycle to sprint performance in trained female athletes. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.15, n.3, p.326-331, 2001.

HILL, A.V. The heat of shortening and the dynamic constants of the muscle. **Proceedings of the Royal Society**, v. 126, n. 843, p. 136-195, 1938.

HILL, D.W.; ROWELL, A.L. Running velocity at  $VO_2$ max. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.28, p.114-119, 1996.

HILL, D.W.; WILLIAMS, C.S.; BURT, S.E. Responses to exercise at 92% a 100% of the velocity associated with  $VO_2$  max. **International Journal Sports Medicine**, v.18, p. 325-329, 1997.

HILL, D.W. Determination of accumulated  $O_2$  deficit in exhaustive short-duration exercise. **Canadian Journal of Applied Physiology**, v. 21, p.63-74, 1996.

\_\_\_\_\_. Energy system contributions in middle-distance running events. **Journal of Sports Sciences**, v. 17, n. 17, p. 477- 483, 1999.

HIRVONEN, J.; NUMELLA, A.; RUSKO, H.; REHUNEN, M.; HÄRKÖNEN, M. Fatigue and changes of ATP, creatine phosphate and lactate during the 400m sprint. **Canadian Journal of Sport Science**, v. 17, n. 2, p. 141-144, 1992.

HOGAN, M.C.; GLADDEN, B.; KURDAK, S.S.; POOLE, D.C. Increased [lactate] in working dog muscle reduces tension development independent of pH. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.27, n.3, p.371-7, 1995.

JACOBS, I.; KAISER, P. Lactate in blood, mixed skeletal muscle, and FT or ST fibres during cycle exercise in man. **Acta Physiologica Scandinavica**, v.114, n.3, p.461-466, 1982.

JACOBS, I. Blood lactate. Implications for training and sports performance. **Sports Medicine**, v.3, n.1, p.10-25, 1986.

KOMI, P.V.; BOSCO, C. Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and woman. **Medicine and Science in Sports**, v.10, n.4, p. 261-265, 1978.

KOMI, P.V.; GOLLHOFER, A. Stretch reflex can have an important role in force enhancement during SSC-exercise. **Journal of Applied Biomechanics**, v.13, p.451-460, 1997.

KOMI, P.V. Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. **Journal of Biomechanics**, v. 33, p. 1197-1206, 2000.

\_\_\_\_\_. **Força e Potência no Esporte**. 2ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

KUBO, K; KANEHISA, H.; KAWAKAMI, Y.; FUKUNAGA, T. Elasticity of tendon structures of the lower limbs in sprinters. **Acta Physiologica Scandinavica**, v.168, p. 327-335, 2000.

KUBO, K.; MORIMOTO, M.; KOMURO, T.; TSUNODA, N.; KANEHISA, H.; FUKUNAGA, T. Influences of tendon stiffness, joint stiffness, and electromyographic activity on jump performances using single joint. **European Journal of Applied Physiology**, v.99, p.235-243, 2006.

LACOUR, J.R.; BOUVAT, E.; BARTHÉLÉMY, J.C. Post-competition blood lactate concentrations as indicators of anaerobic energy expenditure during 400-m and 800-m races. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v.61, n.3-4, p. 172-176, 1990a.

LACOUR, J.R.; PADILLA-MAGUNACELAYA, S.; BARTHÉLÉMY, J.C.; DORMOIS, D. The energetic of middle distance running. **European Journal of Applied Physiology**, v.60, p.38-43, 1990b.

LINOSSIER, M.T.; DORMOIS, D.; PERIER, C.; FREY, J.; GEYSSANT, A.; DENIS, C. Enzyme adaptations of human skeletal muscle during bicycle short-sprint training and detraining. **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 161, p. 439–445, 1997.

LOCATELLI, E. The importance of anaerobic glycolysis and stiffness in the sprints (60, 100 and 200 meters). **New Studies in Athletics**, v.11, n. 2-3, p. 121-125.

MARKOVIC, G.D; DIZDAR, I.; JUKIC, M.; CARDINALE, M. Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.18, p.551-555, 2004.



MARKOVIC, G.; JUKIC, I.; MILANOVIC, D.; METIKOS, D. Effects of sprint and plyometric training on muscle function and athletic performance. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.1, n.2, p. 543-549, 2007.

MARTINS, E.T.; ABREU, V. Fadiga física. **Revista Portuguesa de Medicina Desportiva**, v. 53, n. 9, p.149-158, 1991.

MATT GREEN, J.; CREWS, T.R.; BOSAK, A.M.; PEVELER, W.W. A comparison of respiratory compensation thresholds of anaerobic competitors, aerobic competitors and untrained subjects. **European Journal of Applied Physiology**, v. 90, p. 608–613, 2003.

MAXWELL, N.S.; NIMMO, M.A. Anaerobic capacity: A maximal anaerobic running capacity test versus the maximal accumulated oxygen deficit. **Canadiun Journal of Applied Physiology**, v. 21, p. 35-47, 1996.

McBRIDE, J.M.; McCAULLEY, G.O.; CORMIE, P. Influence of pre-activity and eccentric muscle activity on concentric performance during vertical jumping. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 22, n. 3, p. 750-7, 2008.

MEDBO, J.I.; MOHN, A.C.; TABATA, I. Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O<sub>2</sub> deficit. **Journal of Applied Physiology**, v.64, p. 50-60, 1988.

MERO, A.; KOMI, P.V. Electromyographic activity in sprinting at speeds running from sub-maximal to supra-maximal. *Medicine and Science in Sports and Exercises*, 19, p. 266-274, 1987.

MERO, A.; JAAKKOLA, L.; KOMI, P.V. Relationships between muscle fiber characteristics and physical performance capacity in trained athletic boys. **Journal of Sports Science**, v.9, n. 2, p.161-71, 1991.

MERO, A.; KOMI, P.V. EMG, force, and power analysis of sprint-specific strength exercises. **Journal of Applied Biomechanics**, v.10, n.1, p. 1 -13, 1994.

MERO, A.; KUITUNEN, S.; KOMI, P.V. Stretch-reflex potentiation during sprint running in sprinters and endurance athletes. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.33, n.5, Supplement 1, p. 282, 2001.

MIGUEL, P.J.; REIS, V.M. Speed strength endurance and 400m performance. **New Studies in Athletics**, v.19, n.4, p. 39-45, 2004.

NAKAMURA, F.Y.; FRANCHINI, E. Máximo déficit acumulado de oxigênio como preditor de capacidade anaeróbia. **Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano**, v.8, n.1, p. 88-95, 2006.

NEVILL, A.M.; RAMSBOTTOM, R.; NEVILL, M.E.; NEWPORT, S.; WILLIAMS, C. The relative contributions of anaerobic e aerobic energy supply during track 100-, 400- and 800-m performance. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v.48, p. 138-142, 2008.

NIKOL, C.; KOMI, P.V. Significance of passively induced stretch reflexes on Achilles tendon force enhancement. **Muscle and Nerve**, v. 21, p.1546-1548, 1998.

NOAKES, T.D. Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: A contemporary perspective. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.20, p.319-330, 1988.

NOVACHEK, T.F. The biomechanics of running – review paper. **Gait and Posture**, v. 7, p. 77-95, 1998.

NUMELLA, A.; VUORIMA, T.; RUSKO, H. Changes in force production, blood lactate and EMG activity in the 400m sprint. **Journal of Sport Science**, v. 10, p. 217-228, 1992.

PAAVOLAINEN, L.; NUMMELA, A.; RUSKO, H. Neuromuscular characteristics and muscle power as determinants of 5-km running performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.31, p. 124-130, 1999.

PETROSKI, E.L. (organizador). Antropometria: técnicas e padronizações. Porto Alegre: Pallotti, 2007.

RAMSBOTTOM, R.; NEVILL, A.M.; NEVILL, M.E.; NEWPORT, S.; WILLIAMS, C. Accumulated oxygen deficit and short-distance running performance. **Journal of Sports Science**, v.12, n.5, p. 447-53, 1994.

ROSSIETER, H.G.; WARD, S.A.; KOWALCHUCK, J.M.; HOWE, F.A.; GRIFFITHS, J.R.; WIPP, B.J. Dynamic asymetry of phosphocreatine concentration and oxygen uptake between the on- and off- transients of moderate and high intensity exercise in humans. **Journal of Physiology**, v. 541, p. 991-1002, 2002.

SANTOS, S. G. **Classificação das pesquisas**. Florianópolis, 2007. Apostila da disciplina de Metodologia da Pesquisa do curso de Mestrado em Educação da UFSC.

SCOTT, C.B.; ROBY, F.B.; LOHMAN, T.G.; BUNT, J.C. The maximal accumulated oxygen deficit as an indicator of anaerobic capacity, **Journal of Science and Medicine Sport**, v.23, n.5, p. 618-623, 1991.

SEAGRAVE, L. Introduction to sprinting. **New Studies in Athletics**, v. 11, n. 2-3, p. 93-113, 1996.

SILVA, A. C; TORRES, F. C. Ergoespirometria em atletas paraolímpicos brasileiros. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 8, n. 3, 2002.

SLEIVERT, G.; TAINGAHUE, M. The relationship between maximal jump-squat power and sprint acceleration in athletes. **European Journal of Applied Physiology**, v.91, p.46-52, 2004.

SMIRNIOTOU, A.; KATSIKAS, C.; PARADISI, G.; ARGEITAKI, P. ZACHAROGIANNIS, E.; TZIORTZIS, S. Strength-power parameters as predictors of sprinting performance. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 48, n. 4, p. 447-54, 2008.

SPENCER, M.R; GASTIN, P.B. Energy system contribution during 200- to 1500-m running in highly trained athletes. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 33, n. 1, p. 157-162, 2001.

STOFFELS, F.; KOBER, R.; DAL PUPO, J.; ROCHA Jr, I.C.; MOTA, C.B. Análise de variáveis cinemáticas da corrida de jovens velocistas. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**, v. 7, n.1, p. 59-67, 2007.

STONE, M.H.; O'BRYANT, H.S.; MCCOY, L.; COGLIANESE, R.; LEHMKUHL, M.; SCHILLING, B. Power and maximum strength relationships during performance of dynamic and static weighted jumps. **The Journal of Strength and Conditioning Research**, v.17, n. 1, p.140-7, 2003.

TABATA, I.; NISHIMURA, K.; KOUZAKI, M.; HIRAI, Y.; OGITA, F.; MIYACHI, M. Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO<sub>2</sub>max. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 28, p.1327-1330, 1996.

TAYLOR, H. L.; BUSKIRK, E.; HENSCHEL, A. Maximal oxygen intake as an objective measure of cardio-respiratory performance. **Journal Applied Physiology**, Bethesda, v.8, p.73-80,1955.

THOMAS, J.R.; NELSON, J.K. **Métodos de pesquisa em atividade física**. 3ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2002.

UGRINOWITSCH, C.; BARBANTI, V. O ciclo de alongamento-encurtamento e a performance no salto vertical. **Revista Paulista de Educação Física**, v. 12, n. 1, p. 85-94.

VIITASALO, J.T.; BOSCO, C. Electromechanical behavior of human muscles in vertical jumps. **European Journal of Applied Physiology**, v. 48, n. 2, p. 253-61, 1982.

VITTORI, C. Le gare di velocita. Federazione Italiana di Atletica Legera. Roma, 1996.

## APÊNDICE 1



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE DESPORTOS



### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado a participar como voluntário da pesquisa intitulada: “Atletismo do Séc. XXI: Estudo interdisciplinar na avaliação de corredores federados nas diferentes etapas de treinamento”, a ser realizada junto aos Laboratórios de Pesquisa vinculados ao Centro de Desportos (CDS) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Com sua adesão ao estudo, você ficará disponível para a pesquisa em um total de quatro dias de avaliações, organizado da seguinte maneira:

- a) No primeiro dia será realizada a avaliação antropométrica para definir % de gordura, e em seguida, os atletas realizarão uma simulação das provas de 200 e 400m rasos (para velocistas) e de 800 e 1500 (para meio-fundistas), nesta ordem, na pista atlética de carvão da UFSC, a fim de determinar a performance nestas provas. Ao final de cada repetição serão coletadas amostras de 25  $\mu$ l de sangue do lóbulo da orelha, no 5º, 7º e 9º, 11º e 13º minutos da recuperação, a fim de determinar a concentração de lactato sanguíneo.
- b) No segundo dia os atletas serão submetidos a um protocolo incremental para a determinação do  $VO_2$ max e  $IVO_2$ max, em esteira rolante. Entre cada estágio do teste incremental haverá um intervalo de 30 segundos para a coleta de sangue do lóbulo da orelha para a dosagem do lactato sanguíneo, a fim de determinar o limiar anaeróbio.
- c) No terceiro dia os indivíduos serão submetidos aos protocolos de saltos verticais para a determinação da potência muscular. Na seqüência, após 30 min de intervalo, realizarão o teste para determinação do  $Tlim$  a 100% do  $VO_2$ max, destinado a avaliar a potência aeróbia. Para a realização deste, inicialmente o atleta realizará um aquecimento de dois estágios de 7 min com intensidades submáximas e, após, a intensidade da esteira será ajustada a 100% da  $IVO_2$ max, sendo que o atleta deverá manter o esforço até a exaustão máxima.
- d) O último dia de avaliações será destinado para realização de *sprints* de 20m, realizados na pista de atletismo, cronometrados eletronicamente. A seguir, será realizado um teste para determinação da capacidade anaeróbia ( $Tlim_{120\%}$ ), semelhante ao descrito no item c, mudando somente a intensidade de esforço até a exaustão, que será 120%.

Todas as avaliações serão realizadas respeitando um intervalo mínimo de 24 h. Todos deverão evitar realizar treinos intensos nestes dias e comparecerem alimentados e hidratados para realização das avaliações.

Para participar deste estudo você deve estar apto para realizar exercícios físicos de alta intensidade. Da mesma forma deve estar ciente que tem a possibilidade apresentar náuseas e vômito em decorrência do esforço na realização do teste. No entanto, menos de 1% da população americana apresenta desconforto durante a este tipo de teste (American College of Sports Medicine).

Os pesquisadores responsáveis por este estudo estarão preparados para qualquer emergência efetuando os primeiros socorros. A sua identidade será preservada, pois cada sujeito da amostra será identificado por número.

As pessoas que estarão lhe acompanhando fazem parte de uma equipe treinada e coordenada pelos professores Dr. Antônio Renato Pereira Moro e Dr. Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo.

Quanto aos benefícios e vantagens em participar deste estudo, você estará contribuindo de forma única para o desenvolvimento da ciência esportiva. Os resultados provenientes de tais testes servirão de diagnóstico de sua atual condição física, além disso, o objetivo das avaliações será identificar, por meio de análise estatísticas, qual são as variáveis mais importantes para a performance de corredores de velocidade ou meio-fundo.

Se você estiver de acordo em participar do estudo, garantimos que as informações fornecidas serão confidenciais e só serão utilizadas neste trabalho. Da mesma forma, se tiveres alguma dúvida em relação aos objetivos e procedimentos da pesquisa, ou mesmo, queira desistir da mesma, poderá a qualquer momento entrar em contato conosco pelos telefones (48) 3721-9924 / 3721-8530 ou pessoalmente nos laboratórios de pesquisa do Centro de Desporto.

Agradecemos desde já a sua colaboração e participação.

---

Prof. Dr. Antônio Renato Pereira Moro

---

Prof. Dr. Luiz Guilherme Guglielmo

Universidade Federal de Santa Catarina  
Centro de Desportos – Campus Universitário da Trindade s/n  
88040-900 Florianópolis /SC  
Tel: (48) 33319924 – (48) 3721-8530 Cel:(48) 91523445

**TERMO DE CONSENTIMENTO**

Declaro que fui informado sobre todos os procedimentos da pesquisa e, que recebi de forma clara e objetiva todas as explicações pertinentes ao projeto e, que todos os dados a meu respeito serão sigilosos. Eu compreendo que neste estudo, as medições dos experimentos/procedimentos serão feitas em mim.

Declaro que fui informado que posso me retirar do estudo a qualquer momento.

Nome por extenso \_\_\_\_\_

Assinatura \_\_\_\_\_

Florianópolis, \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_