

RESPOSTAS METABÓLICAS E DA TÉCNICA DE NADO DURANTE O
EXERCÍCIO REALIZADO NA VELOCIDADE CORRESPONDENTE À MÁXIMA
FASE ESTÁVEL DE LACTATO SANGUÍNEO DETERMINADA DE FORMA
CONTÍNUA E INTERMITENTE

MARIANA FERNANDES MENDES DE OLIVEIRA

Dissertação apresentada ao Instituto de
Biociências do Campus de Rio Claro,
Universidade Estadual Paulista, como
parte dos requisitos para obtenção do título
de Mestre em Ciências da Motricidade
(Área de Motricidade Humana)

RIO CLARO
Estado de São Paulo-Brasil
Julho de 2008

RESPOSTAS METABÓLICAS E DA TÉCNICA DE NADO DURANTE O
EXERCÍCIO REALIZADO NA VELOCIDADE CORRESPONDENTE À MÁXIMA
FASE ESTÁVEL DE LACTATO SANGUÍNEO DETERMINADA DE FORMA
CONTÍNUA E INTERMITENTE

MARIANA FERNANDES MENDES DE OLIVEIRA

Orientador: CAMILA COELHO GRECO

Dissertação apresentada ao Instituto de
Biociências do Campus de Rio Claro,
Universidade Estadual Paulista, como
parte dos requisitos para obtenção do título
de Mestre em Ciências da Motricidade
(Área de Motricidade Humana)

RIO CLARO
Estado de São Paulo-Brasil
Julho de 2008

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Celso e Rita, a minha irmã Isabel e seu companheiro Pedrinho, ao meu companheiro de aventuras Fabrizio e ao mais novo integrante desta família, nosso filho Caio.

AGRADECIMENTOS

Ao Fabrizio pela fundamental colaboração para que esse trabalho fosse realizado do começo ao fim, por ele ser o meu companheiro de aventuras (o melhor do mundo) e por ter me dado a coisa mais importante que eu tenho na vida, nosso filho Caio.

A minha orientadora Prof. Dra. Camila Coelho Greco, por ter sido sempre mais que uma orientadora uma amiga. Agradeço a contribuição para minha formação acadêmica, a confiança e disposição em ajudar, sempre. Também por ter compreendido e não ter caído da cadeira quando eu falei que estava grávida.

Ao Prof. Dr. Benedito Sérgio Denadai, por ceder o laboratório e pela constante ajuda na elaboração do trabalho e discussão dos dados. Também por ter orientado o Caputo tão bem.

Ao casal Denadai e Camila, por terem conseguido ao longo desses anos unir um grupo tão especial de pesquisadores, que hoje são nossos grandes amigos.

Ao Prof. Dr. Luis Guilherme Antonacci Guglielmo, por ceder o laboratório da UFSC, disponibilizar seus alunos para ajudar nas coletas de dados, e por ter participado como voluntário dos testes. Agradeço também a Prof. Dra. Alcyane Marinho, pela disponibilidade e ajuda durante minhas coletas de dados na equipe de Florianópolis.

Ao casal Luis e Alcy, por acolher minha família nessa nova etapa das nossas vidas, e por terem providenciado um amiguinho para o Caio.

As minhas duas grandes amigas Bruna e Lis, que foram a minha família durante a graduação e vão ser para sempre minhas companheiras e confidentes.

Ao Bola pela amizade e por cuidar tão bem da Bruninha na minha ausência. Valeu casal de pequenos grandes amigos, pelos pedais de MTB e pelas muitas aventuras que passamos juntos. Sentimos muita falta de vocês.

Aos técnicos, Geraldo e Vinicius, por cederem seus atletas e modificarem os treinos no período dos testes.

Ao Frank, treinador da escolinha de triatlhon de Florianópolis, não só por ceder os atletas mas também pela ajuda durante os testes.

A todos os atletas que participaram dos testes.

A minha irmã Isabel, por ser minha *personal stile*.

Aos meus pais Celso e Rita por todos os anos de dedicação em especial pela educação que eles sempre consideraram prioridade. Agora que eu sou mãe meu respeito e admiração por vocês só cresce.

APOIO FINANCEIRO



PROCESSO N°: 06/54019-0

Resumo

O principal objetivo deste estudo foi comparar a velocidade, concentração de lactato sanguíneo e os índices técnicos correspondentes à máxima fase estável de lactato sanguíneo obtida de forma contínua e intermitente na natação. Participaram deste estudo, 5 nadadores fundistas e 8 triatletas (23 ± 9 anos, $1,76 \pm 0,1$ m e $71,3 \pm 9,8$ kg), com pelo menos 3 anos de experiência nas respectivas modalidades. Os indivíduos realizaram em diferentes dias, os seguintes testes, em uma piscina de 25 m: 1) repetição máxima na distância de 400 m; 2) teste incremental para a determinação do limiar de lactato (LL) e limiar anaeróbio (LAn); 3) 2 a 4 repetições com duração de 30 min em diferentes intensidades, para a determinação da máxima fase estável de lactato sanguíneo contínua (MLSSC), e; 4) 2 a 4 tentativas de 12 x 150 s com intervalo de 30 s (5:1) em diferentes intensidades, para a determinação da máxima fase estável de lactato sanguíneo intermitente (MLSSI). O LAn foi determinado por meio de interpolação linear entre a velocidade e a concentração de lactato, considerando uma concentração fixa de lactato de 3,5 mM. O critério de determinação da MLSSC e da MLSSI foi um aumento menor ou igual a 1 mM de lactato entre o décimo e o trigésimo min de exercício. Os índices técnicos taxa de braçada (TB), comprimento de braçada (CB) e índice de braçada (IB) foram determinados em todos os testes. A TB foi calculada por meio de filmagem utilizando o tempo necessário para se realizar cinco ciclos completos de braçadas. O CB foi calculado dividindo a velocidade pela TB. O IB foi determinado pelo produto da velocidade e o CB. De acordo com os dados do presente estudo, a máxima fase estável de lactato sanguínea é atingida em uma velocidade maior quando esta é determinada de forma intermitente ($1,17 \pm 0,09$ m.s⁻¹) do que de forma contínua ($1,13 \pm 0,08$ m.s⁻¹). Porém, similares valores de concentração de lactato sanguíneo (4,4

$\pm 1,5$ mM e $4,3 \pm 1,1$ mM, respectivamente) e FC (167 ± 7 bpm e 170 ± 10 bpm, respectivamente) foram observados nas duas condições de exercício. O CB apresentou uma redução ao longo do tempo independente da intensidade (MLSS e 102,5%MLSS) e tipo de exercício (contínuo e intermitente), porém os valores foram similares ao se comparar as diferentes intensidades e tipos de exercício. Houve um aumento significativo da TB ao se comparar a intensidade correspondente a MLSS com a de 102,5%MLSS, tanto no protocolo contínuo quanto no intermitente. Além disso, os valores de TB obtidos na MLSSI e a 102,5%MLSSI foram maiores que os obtidos durante os testes contínuos. Nenhuma diferença foi observada no IB entre as intensidades e tipos de exercício utilizados neste estudo. Porém, houve uma redução significativa do IB ao longo do tempo em todas as condições analisadas. Com base nestes dados, é possível concluir que é possível nadar de forma intermitente em uma intensidade maior do que a correspondente à MLSSC, com manutenção do equilíbrio metabólico. No entanto, há um comprometimento da técnica de nado ao longo dos testes de longa duração independente desta estabilidade, nas condições contínua e intermitente. Além disso, da mesma forma que em outras condições de intensidade e duração do exercício, o aumento da velocidade de nado parece ser proporcionado pelo aumento da taxa de braçada.

Palavras-chave: natação, índices técnicos, máxima fase estável de lactato sanguíneo.

Sumário

1. Introdução	1
2. Revisão de literatura.....	3
2.1. Bioenergética na natação	3
2.2. Metabolismo do Lactato sanguíneo.....	8
2.3. Máxima fase estável de lactato sanguíneo (MLSS)	15
2.4. Respostas fisiológicas durante exercícios realizados de forma intermitente.....	17
2.5. Índices Técnicos	20
3. Justificativa.....	22
4. Objetivos	24
4.1. Geral	24
4.2. Específicos.....	24
5. Material e métodos.....	25
5.1. Sujeitos	25
5.2. Delineamento Experimental	25
5.3. Avaliação antropométrica.....	26
5.4. Determinação da performance aeróbia	26
5.5. Determinação dos limiares de transição fisiológica	26
5.6. Determinação da máxima fase estável de lactato sanguíneo contínua	27
5.7. Determinação da máxima fase estável de lactato sanguíneo intermitente.....	28
5.8. Determinação dos índices técnicos.....	28
5.9. Análise estatística	29
6. Resultados.....	30
7. Discussão.....	38
8. Conclusões	44
9. Referências Bibliográficas.....	45
ANEXO I	55
ANEXOS II.....	57

LISTA DE ABREVIATURAS

VO₂	Consumo de oxigênio
IVO_{2max}	Intensidade referente ao consumo máximo de oxigênio
FC	Frequência cardíaca
LAn	Limiar anaeróbio
VC	Velocidade crítica
FCmax	Frequência cardíaca máxima
MLSS	Máxima fase estável de lactato sanguíneo
MLSSC	Máxima fase estável de lactato sanguíneo contínua
MLSSI	Máxima fase estável de lactato sanguíneo intermitente
vMLSS	Velocidade correspondente a máxima fase estável de lactato sanguíneo
CB	Comprimento de braçada
TB	Taxa de braçada
IB	Índice de braçada
[La]	Concentração de lactato sanguíneo

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores médios \pm DP das características antropométricas dos sujeitos.....	30
Tabela 2. Valores médios \pm DP da velocidade máxima de 400m (v400), frequência cardíaca máxima encontrada no teste incremental (FCmax), velocidade absoluta (vLAn) e relativa (%v400) correspondentes ao limiar anaeróbio.....	31
Tabela 3. Valores médios \pm DP da velocidade (v), concentração média de lactato ([La]), frequência cardíaca (FC) e velocidade relativa à v400 (%v400) correspondentes à máxima fase estável de lactato contínua (MLSSC) e intermitente (MLSSI). N = 13	32
Tabela 4. Valores médios \pm DP da taxa de braçada (TB), do comprimento de braçada (CB) e do índice de braçada (IB) atingidos na máxima fase estável de lactato sanguíneo e acima desta, nas condições contínua (MLSSC e 102,5%MLSSC, respectivamente) e intermitente (MLSSI e 102,5%MLSSI, respectivamente). N = 13	33
Tabela 5. Valores individuais da velocidade (v), percentual da velocidade máxima de 400m (%v400), concentração de lactato sanguíneo obtidos no 10º ([La]10) e 30º min ([La]30) e frequência cardíaca média (FC _{média}) do teste para a determinação da máxima fase estável de lactato contínua (MLSSC).....	55
Tabela 6. Valores individuais da velocidade (v), percentual da velocidade máxima de 400m (%v400), concentração de lactato sanguíneo obtidos no 10º ([La]10) e 30º min ([La]30) e frequência cardíaca média (FC _{média}) do teste para a determinação da máxima fase estável de lactato intermitente (MLSSI).....	56

Tabela 7. Valores individuais da taxa de braçada (TB) e comprimento de braçada (CB) obtidos no 10 ^o (TB10 e CB10), no 20 ^o (TB10 e CB10) e 30 ^o min (TB30 e CB30) do teste para a determinação da máxima fase estável de lactato contínua (MLSSC).....	57
Tabela 8. Valores individuais da taxa de braçada (TB) e comprimento de braçada (CB) obtidos no 10 ^o (TB10 e CB10), no 20 ^o (TB10 e CB10) e 30 ^o min (TB30 e CB30) do teste para a determinação da máxima fase estável de lactato intermitente (MLSSI).....	58
Tabela 9. Valores individuais do coeficiente de variação da velocidade de nado obtido na máxima fase estável de lactato contínua (MLSSC) e intermitente (MLSSI).....	59
Tabela 10. Valores individuais do coeficiente de variação do comprimento de braçada obtido na máxima fase estável de lactato contínua (MLSSC) e intermitente (MLSSI).....	60

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Valores médios das concentrações de lactato sanguíneo referentes à máxima fase estável de lactato sanguíneo obtida de forma contínua (MLSSC) e intermitente (MLSSI) (a) e na velocidade logo acima (102,5%MLSSC e 102,5%MLSSI) (b). N = 7..... 33
- Figura 2. Valores médios da taxa de braçada (TB) obtidos no primeiro terço (barra com linhas contínuas) e no último terço do exercício (barra com linhas tracejadas) correspondentes à máxima fase estável de lactato (MLSS) e à velocidade realizada logo acima (102,5%MLSS) de modo contínuo e intermitente..... 34
- Figura 3. Valores médios do comprimento de braçada (CB) obtidos no primeiro terço (barra com linhas contínuas) e no último terço do exercício (barra com linhas tracejadas) correspondentes à máxima fase estável de lactato (MLSS) e à velocidade realizada logo acima (102,5%MLSS) de modo contínuo e intermitente.. 35
- Figura 4. Valores médios do índice de braçada (IB) obtidos no primeiro terço (barra com linhas contínuas) e último terço do exercício (barra com linhas tracejadas) correspondentes à máxima fase estável de lactato (MLSS) e à velocidade realizada logo acima (102,5%MLSS) de modo contínuo e intermitente..... 36
- Figura 5. Mudanças percentuais ao longo dos testes (primeiro terço e último terço) contínuos e intermitentes na taxa de braçada (TB) (painel A), comprimento de braçada (CB) (painel B) e índice de braçada (IB) (painel C)..... 37

1. Introdução

A resposta do lactato sanguíneo durante o exercício submáximo tem sido utilizada para a avaliação e prescrição do treinamento em atletas de diferentes modalidades esportivas. Uma das mais importantes vantagens da avaliação da capacidade aeróbia é a possibilidade de individualização da prescrição da intensidade do treinamento aeróbio. O método considerado padrão-ouro na avaliação desta capacidade é a máxima fase estável de lactato sanguíneo (MLSS) (DENADAI, 1999; BENEKE, 2003). Está é a maior intensidade na qual pode ser encontrado um equilíbrio entre a liberação e a remoção de lactato sanguíneo durante exercício prolongado de carga constante (BENEKE; VON DUVILLARD, 1996; BENEKE, 2003) e tem apresentado elevada capacidade de predição da performance aeróbia (JONES; DOUST, 1998).

Em geral, a sua determinação ocorre por meio de exercícios submáximos com diferentes intensidades, realizados com carga constante e duração de 30 min. Apesar de algumas variações nos protocolos de determinação desta variável (duração, critério de incremento no lactato sanguíneo, momentos de coleta de sangue), um dos critérios mais aceitos na literatura é o proposto por Heck et al. (1985), que considera a intensidade correspondente à MLSS aquela na qual há um aumento de até 1 mM na concentração de lactato ([La]) obtida entre o 10^o e o 30^o min.

Na natação, Wakayoshi et al. (1993) verificaram que a velocidade crítica (VC), foi semelhante à velocidade correspondente à MLSS (vMLSS), com esta última representando 85% da velocidade máxima de 400 m (v400) e uma [La] média de 3,2 mM de lactato sanguíneo. Por outro lado, Dekerle et al. (2005a) verificaram que a VC correspondeu a 92,7% V400, diferente dos 88% V400 encontrados para a vMLSS. Neste último estudo o valor médio de [La] foi de 2,8 mM.

Um interessante estudo realizado por Dekerle et al. (2005b), os autores verificaram que ao nadar acima da MLSS, o comprimento de braçada diminui o que provavelmente representa um comprometimento da técnica de nado. Portanto, parece haver uma associação entre o desequilíbrio de variáveis fisiológicas e da técnica de nado acima desta intensidade.

No entanto, um aspecto importante na utilização da MLSS e de outros métodos de determinação deste índice (LAn, VC) na prescrição do treinamento aeróbio é que eles representam uma intensidade que pode ser mantida por longo tempo de forma contínua. Além disso, a MLSS é determinada por meio de protocolos de longa duração e contínuos. Na natação, a prescrição do treinamento aeróbio é feita em sua maioria de forma intervalada. Portanto, certamente é necessário se fazer um ajuste na intensidade para se considerar as diferentes respostas metabólicas que ocorrem quando o exercício é feito de forma intermitente. O exercício intermitente pode ter diferentes variações de intensidade, duração das repetições e das pausas, número de repetições, e tipo da pausa (ativa ou passiva). Estes fatores podem influenciar na recuperação do indivíduo durante a série e na intensidade máxima que ele consegue realizá-la.

No ciclismo, Beneke et al. (2003) verificaram que quando há interrupção durante os testes de carga submáxima, há um aumento na potência correspondente à MLSS sem modificação na MLSS. Quanto maior o período de descanso, maior é a intensidade correspondente máxima fase estável de lactato sanguíneo. Este estudo ressalta a importância do conhecimento das respostas fisiológicas durante o exercício intermitente para a avaliação e a prescrição do treinamento aeróbio, particularmente na natação. No entanto, não há estudos que investigaram o efeito das pausas na MLSS na natação. Da mesma forma, não há estudos que analisaram se estas pausas podem modificar o padrão

técnico dos movimentos. Sabe-se, uma parte significativa do treinamento aeróbio nesta modalidade é feito de forma intermitente. Portanto, como parte dos treinamentos aeróbios em nadadores de endurance e triatletas são realizados próximo à MLSS, o estudo das respostas metabólicas e da habilidade de nado no exercício intermitente pode auxiliar na elaboração de protocolos de treinamento de longa duração.

2. Revisão de literatura

2.1. Bioenergética na natação

O trifosfato de adenosina (ATP) é o único combustível disponível para a manutenção da homeostase muscular e suas funções contráteis. O exercício aumenta rapidamente a demanda energética do músculo esquelético, e como os estoques de ATP são limitados, isto significa que um aumento equivalente na taxa de ressíntese de ATP deve ocorrer para que o exercício possa continuar. Existem três processos distintos e integrados que operam para satisfazer o requerimento energético do músculo tanto em repouso quanto durante o exercício. O sistema anaeróbio que pode ser dividido em alático e lático. O sistema alático (ou também chamado de imediato) compreende a quebra da creatina fosfato (CP) e ATP estocados no músculo, e o sistema lático que se refere à combustão parcial do carboidrato (glicose ou glicogênio) a ácido lático com uma rápida dissociação para lactato. E finalmente o sistema aeróbio que se refere à combustão completa dos carboidratos, gorduras e em alguns casos proteínas, na presença do oxigênio (O_2).

Os métodos utilizados para medir a quantidade de energia liberada pelo metabolismo anaeróbio durante o exercício são muito menos precisos que os métodos utilizados para medir a quantidade de energia proveniente do metabolismo aeróbio,

realizado por meio de medidas diretas do consumo de oxigênio (VO_2). O oxigênio (O_2) é utilizado/consumido dentro da mitocôndria no processo final do metabolismo aeróbio funcionando como um receptor de elétrons, portanto sua presença, mesmo que no final, é fundamental para o funcionamento de todo processo de produção de energia pelo metabolismo aeróbio, da mesma forma que a quantidade de O_2 consumida é diretamente proporcional à quantidade de total de energia produzida por esse sistema. A análise das alterações que ocorrem nos substratos energéticos (glicose, glicogênio e lipídios), a produção de metabólitos (Lactato, ADP, creatina) quantificados por meio de medidas intramusculares (biópsia) ou coletas sanguíneas, o déficit acumulado de O_2 , que seria a diferença entre a demanda energética e o VO_2 medido durante o exercício, e finalmente as medidas diretas de VO_2 , têm sido usados para descrever a interação dos três sistemas energéticos durante exercícios máximos de diferentes durações (MEDBO et al., 1988; BANGSBO, 1998; GASTIN, 2001; KRUSTRUP et al., 2003).

Deste modo, diversos trabalhos vêm tentando relacionar índices metabólicos com diferentes distâncias de provas (NOAKES et al., 1990; LACOUR et al., 1991), como também a contribuição de cada sistema energético, principalmente em provas de curta duração. Lamb (1995), estimou que os velocistas são capazes de atingir de 3 a 5 vezes a produção de potência que pode ser alcançada pelo consumo máximo de oxigênio ($\text{VO}_{2\text{max}}$), porém sustentam esta alta potência apenas por um curto período de tempo. A produção de ATP pela via anaeróbia é crítica para o desenvolvimento de altas potências, a taxa de degradação da CP é máxima imediatamente ao início da contração muscular, sendo diminuída depois de aproximadamente 1,3 segundos, por outro lado, a produção de ATP pela glicólise não atinge sua taxa máxima antes de 5 segundos sendo mantida apenas por poucos segundos (MAUGHAN et al., 1997).

Os níveis de repouso ATP e CP variam de 25 e 70-80 mmol·kg⁻¹ de massa magra (MAUGHAN et al., 1997; SPRIET, 1995) respectivamente, estas concentrações parecem não ser afetadas pelo nível de treinamento (SALTIN e GOLLNICK, 1983). Uma depleção total nos estoques de ATP não ocorre mesmo em condições extremas de exercício, com alguns estudos reportando uma depleção de apenas 30-40% (JACOBS et al., 1982; BANGSBO et al., 1990). Em contraste, uma depleção quase completa nos estoques de CP pode ser possível (HULTMAN et al., 1990; BOGDANIS et al., 1995; VOLLESTAD e SEJERSTED, 1988). A energia derivada do ATP e da CP, considerado como componente alático tem sido estimada contribuir entre 20-30% da energia anaeróbia liberada durante exercícios até a exaustão com 2-3 minutos de duração (BANGSBO et al., 1990; MEDBO et al., 1988).

A glicólise também é uma fonte de energia limitada, podendo ser reduzida ou desativada pela inibição ou falta de ativação das enzimas glicolíticas (HULTMAN et al., 1990). Durante um exercício máximo a glicólise pode ser aumentada em até 100 vezes o valor de repouso (NEWSHOLME e START, 1973), porém esta taxa não pode ser sustentada por muito tempo. Uma gradual queda no pH (HULTMAN et al., 1990) pode diminuir a ativação das enzimas glicolíticas, em particular a fosforilase e a fosfofrutoquinase, resultando em uma diminuição na ressíntese de ATP. Uma explicação alternativa sugere que uma diminuição na concentração de adenosina monofosfato (AMP) livre, resulta em uma diminuída ativação da fosforilase *a* (MAUGHAN et al., 1997). A diminuição na taxa da glicólise também pode ser em resposta a uma reduzida demanda energética, resultando da inibição dos motoneurônios e das mudanças na capacidade de gerar força das pontes cruzadas e/ou alterações na

capacidade do retículo sarcoplasmático em carregar e liberar cálcio (Ca^{2+}) (MAUGHAN et al., 1997; FITTS et al., 1981).

O desenvolvimento das técnicas para avaliar a cinética do VO_2 e a relativa contribuição aeróbia sobre a demanda total de energia durante exercícios intensos tem proporcionado mudanças sobre o papel do metabolismo aeróbio. A cinética ao início do exercício reflete ajustes no transporte de oxigênio sistêmico e no metabolismo muscular. Bogdanis et al. (1995), utilizando medidas diretas no músculo, encontraram uma contribuição aeróbia de 29% durante 30 segundos máximos, interessante, na segunda tentativa após um descanso passivo de 4 minutos esta estimativa aumentou para 44%. Durante as repetições, a significativa redução na taxa anaeróbia de reposição de ATP parece, em parte, ser compensada pelo aumento no VO_2 nas subseqüentes. Um comportamento semelhante ao descrito acima também foi observado durante esforços mais curtos. Gaitanos et al. (1993), analisando repetições de 6 segundos, verificaram que a diminuição na produção de potência da primeira à décima foi de 27%, enquanto a diminuição na utilização de ATP anaeróbio foi de 64%, devido a uma quase completa inibição da glicólise na décima repetição.

Tanto o término do exercício quanto uma redução da intensidade para um nível que pode ser sustentado pelo metabolismo aeróbio é visto durante períodos mais prolongados de exercício intenso (SPENCER e GASTIN, 2001). O sistema aeróbio responde rapidamente à demanda do exercício intenso, porém é incapaz de suprir a demanda energética ao início do exercício independente da sua intensidade. Recentemente, algumas pesquisas têm demonstrado que o sistema aeróbio tem um importante papel em determinar o rendimento também durante exercícios de alta intensidade. Em média, um exercício máximo com duração em torno de 75 segundos

parece utilizar aproximadamente igual energia dos sistemas anaeróbio e aeróbio (GASTIN, 2001). No entanto este tempo não seria fixo, mas bastante dependente do estado (sedentários vs. atletas) e especificidade (velocidade vs. resistência) do treinamento, e apesar disso, ainda é um tempo consideravelmente mais curto do que tem sido tradicionalmente sugerido em alguns livros clássicos de fisiologia do exercício (FOX et al., 1993; MCARDLE et al., 2000).

Portanto, é importante ressaltar que todos os sistemas são “acionados” ao início do exercício, mas como eles têm diferentes capacidades (quantidade total de energia disponível) e potências (velocidade de produção energética), fica óbvio que a relativa contribuição dos sistemas energéticos para um dado esforço, vai depender da sua intensidade e duração (MEDBO e TABATA, 1989). Além disso, não há dúvidas que cada sistema seja mais capacitado para proporcionar energia para um diferente tipo de evento ou atividade, no entanto, isto não quer dizer que ocorra alguma exclusividade. Assim, os sistemas energéticos contribuem sequencialmente sem o “desligamento” de qualquer um deles, mas em uma característica de superposição para atender a demanda energética do exercício (GASTIN, 2001).

Nos exercícios realizados acima de 4 minutos (por exemplo, 1.500m no atletismo, 400m na natação, 4.000m no ciclismo), a participação anaeróbia começa a representar menos que 20% da energia total produzida, no entanto, esta contribuição ainda pode ser considerada importante. Nesse sentido, mesmo aparentemente pequena, a proporção de uma possível fadiga relacionada ao metabolismo anaeróbio, pode se acumular ao longo do tempo, determinando em um dado momento o término do exercício. Realmente, nestas durações em torno de 4 – 60 min (85-110% VO_2max) é muito provável que a exaustão ocorra pelo acúmulo de metabólitos (Lactato e H^+)

decorrentes do metabolismo anaeróbio, até mesmo em intensidades com 95% de contribuição anaeróbia. Acima dessas durações (> 60 min e $< 85\% \text{ VO}_{2\text{max}}$) a contribuição anaeróbia passa a considerada desprezível, e a fadiga estará fortemente relacionada com depleção dos estoques de glicogênio muscular e hepático, e em alguns casos a fatores relacionados à termorregulação.

2.2. Metabolismo do Lactato sanguíneo

Durante longo período na história da bioquímica e da fisiologia muscular, o lactato foi considerado como um produto final do metabolismo energético com consequências negativas para o organismo. Atualmente os conceitos a respeito do metabolismo do lactato têm mudado drasticamente em relação às clássicas revisões. Denadai (1999) discute a existência de duas correntes sobre os mecanismos que controlam a produção de lactato durante o exercício: autores que propõe que a produção de lactato esta relacionada com a hipóxia tecidual (KATZ e SAHLIN, 1990), e autores que apontam outros fatores, excluindo destes, a hipóxia tecidual (STAINSBY e BROOKS, 1990).

Katz e Sahlin (1990) demonstram que em exercícios submáximos ($\sim 40\% \text{ VO}_{2\text{max}}$), existe uma queda na concentração de NADH mitocondrial e uma manutenção na concentração de lactato. Já acima desta intensidade, há um aumento do NADH (acima dos valores de repouso), acompanhado por um aumento nos valores da [La] muscular e sanguínea. Para estes autores, os resultados sugerem que a oferta de O_2 , mas do que a limitação malato-aspartato (responsável pela introdução de equivalentes de redução do NADH citoplasmático na cadeia de transporte de elétrons da mitocôndria), estaria associada ao aumento da produção do lactato durante o exercício. Outros

pesquisadores também defendem a relação entre hipóxia e produção de lactato. Wasserman (1984) conclui que uma elevação na produção e na concentração de lactato durante a contração muscular resulta de uma menor pressão de O_2 (PO_2), o que limita a fosforilação oxidativa, com isso ele introduziu e discutiu o conceito “Limiar anaeróbio”. Similarmente, Mizock e Falk (1992) também têm aceitado que a insuficiência de O_2 é responsável por elevadas concentrações de ácido láctico (HLA).

Há autores que não descartam a hipóxia tecidual como uma das possíveis causas do aumento na produção e concentração de lactato durante o exercício. Richardson et al. (1998) determinaram por meio de ressonância nuclear magnética para se determinar a saturação da mioglobina (pressão intramuscular de O_2) durante exercício progressivo de quadríceps em humanos, que aumentos na liberação de lactato com o aumento na intensidade do exercício, não parece ser resultado de um inadequado suprimento de O_2 . Com uma diminuição na pressão intramuscular de O_2 , aumentos na $[NADH]/[NAD^+]$ e $([ADP][Pi]/[ATP])$ são requeridos para manter um adequado estímulo da respiração celular, para que esta possa suprir a demanda de ATP por meio do metabolismo aeróbio. Este requerido aumento na $[ADP][Pi]/[ATP]$ para compensar a menor pressão intramuscular de O_2 , é um potencial estímulo da glicólise, aumentando assim a produção e concentração de lactato. Assim, evidências apontam que o O_2 é apenas um dos diversos fatores que interagem para um aumento na $[La]$ sanguíneo em intensidades submáximas de exercício.

O acúmulo de lactato durante o exercício é mais frequentemente associado a uma interação entre os processos fisiológicos e bioquímicos que simplesmente a PO_2 limitando a fosforilação oxidativa. Uma vez pensado ser uma consequência da carência de O_2 na contração do músculo esquelético, tem sido demonstrado muitas vezes que o

produto glicolítico (lactato) é formado e utilizado continuamente sobre condições aeróbias (STANLEY et al. 1986; BERGMAN, 1999; BROOKS et al. 1992). Stainsby e Brooks (1990), baseados principalmente em estudos que utilizam modelos de contração muscular em cães *in situ*, sustentam que a produção de lactato não está associada à hipóxia mitocondrial. Connett et al. (1984) confirma a não associação da hipóxia com a produção do lactato, medindo a tensão de O_2 em músculos *in situ* produzindo lactato, e não encontraram áreas onde a PO_2 aproximou-se da tensão crítica de O_2 mitocondrial, nem durante o exercício, nem durante a passagem do repouso para o exercício. Concluindo assim que uma menor PO_2 não esteve presente nos músculos que acumularam lactato.

Brooks (1985) introduz o conceito de transporte de lactato célula-célula e transporte intracelular (*shuttle lactate*) que descreve o papel do lactato em ofertar substrato para oxidação e neoglicogenólise. Os exemplos do transporte de lactato célula-célula seriam, entre fibras brancas (glicolíticas) e fibras vermelhas (oxidativas) dentro do músculo em exercício, e o transporte do lactato da musculatura para a corrente sanguínea, conseqüentemente para outras células do corpo (BROOKS, 2002). O consumo de lactato pela mitocôndria é um exemplo de transporte intracelular (BROOKS, 2002).

Tem sido demonstradas evidências de que o transporte facilitado do lactato através das membranas é efetuado pela família de transportadores monocarboxílicos (MCTs). Durante o exercício, em particular o exercício intenso, o lactato desloca-se do músculo em contração primariamente por meio dos transportadores monocarboxílicos MCT1 e MCT4 (HALESTRAP e PRICE, 1999; BONEN, 2001; JUEL 2001). Bergman et al. (1999), por meio de biópsia muscular, mostrou efeitos do treinamento na

expressão de MCT1 na membrana sarcoplasmática e na mitocôndria muscular, no entanto não foi encontrado efeito na expressão de MCT4 (DUBOUCAUD et al., 2000). O treinamento induz mudanças na expressão de MCT1 o que resulta em aumentos na remoção do lactato durante o exercício, além de induzir algumas adaptações metabólicas que podem acelerar a utilização do lactato, como: 1) aumento na capacidade oxidativa devido ao maior volume mitocondrial e maiores concentrações das enzimas oxidativas, 2) aumentada atividade da piruvato desidrogenase (PDH) que pode aumentar o uso do piruvato após sua transformação para lactato, e 3) aumento na atividade da lançadeira malato-aspartato que pode resultar na oxidação do NADH resultante da conversão de lactato para piruvato (DONOVAN e PAGLIASSOTTI, 1990). Algumas comparações específicas feitas entre atletas revelam que ambos, alto volume (frequência e duração) e altas intensidades regularmente durante o treinamento, são requeridos para aumentar a capacidade de transportar lactato.

A MCT1 pode transportar o lactato para fora ou para dentro do músculo, pois o movimento do lactato através da membrana é fortemente dirigido para o gradiente de concentração através membrana sarcoplasmática. Assim, acredita-se que a grande concentração de MCT1 nas fibras mais oxidativas sugerem um forte indício de que as MCT1 captam lactato da circulação, pois as fibras oxidativas estão bem adaptadas para oxidar lactato (DONOVAN e PAGLIASSOTTI, 1990). A importância do La ser utilizado como fonte de carboidrato é salientado pelo fato de que durante exercícios de intensidade moderada, o fluxo de lactato por meio do sangue e sua oxidação pela musculatura exercitada pode se igualar ou até exceder o fluxo de glicose e também sua oxidação (BROOKS, 2000). A maioria do lactato removido pelo músculo é consumida via oxidação, com a taxa absoluta dependendo da taxa metabólica da musculatura

(STANLEY et al., 1986). Portanto, a musculatura oxidativa que se encontra em contração submáxima com uma condição metabólica estável é ideal para consumir lactato.

Diversos estudos em músculos isolados têm demonstrado que o músculo esquelético oxidativo também utiliza o lactato exógeno como combustível (GLADDEN, 1991, 2000; GLADDEN et al., 1994). Miller et al. (2002) investigaram sujeitos se exercitando a uma intensidade moderada de exercício (~55% do $\text{VO}_{2\text{pico}}$), com infusão de lactato para manter a [La] a 4mM. Os autores encontram um significativo aumento na oxidação de lactato acompanhado por uma diminuição na oxidação da glicose, verificando nestas condições, que a utilização do lactato supera a da glicose como fonte de carboidrato, assim poupando a glicose para ser utilizada por outros tecidos. Estes estudos concluem que o lactato é um benéfico intermediário metabólico o qual pode ser transportado rapidamente entre os tecidos. A fibra muscular oxidativa (tipo I) predominantemente oxida lactato enquanto as fibras glicolíticas primariamente convertem lactato para glicogênio (BONEN et al., 1990; GLADEN, 1996). A grande habilidade para transportar lactato (e íon H^+ ao mesmo tempo) para fora das fibras oxidativas parece particularmente explicar a grande resistência destas fibras a fadiga (JUEL et al., 2001). Finalmente, a rápida taxa de transporte de lactato pelas fibras oxidativas reflete o papel do lactato como substrato energético para estas, enquanto as baixas taxas de transporte de lactato pelas fibras glicolíticas pode contribuir para a grande retenção de lactato durante a recuperação de exercícios intensos. Qualitativamente, a capacidade de gliconeogênese parece ser similar entre as fibras tipo IIa e IIb mas é negligenciável nas fibras tipo I (DONOVAN e PAGLIASSOTTI, 2000).

Sabe-se que o músculo cardíaco é mais oxidativo do que qualquer outro músculo esquelético, portanto não é surpresa que o coração seja um potencial consumidor de lactato. Evidências de diversos estudos, que utilizaram diferentes técnicas experimentais, sugerem que com aumentos na [La], no fluxo sanguíneo e no VO_2 do miocárdio, o lactato torna-se o combustível preferido do coração, apontando para mais de 60% do substrato utilizado (STANLEY 1991; CHATHAM e FORDER, 1999). Recentemente, Ide e Secher (2000) mostraram substanciais evidências de que o cérebro também consome lactato, particularmente durante exercícios intensos, continuando a consumi-lo durante um período de 30 minutos de recuperação. Embora o cérebro seja consumidor de lactato sua contribuição para o consumo total parece ser negligenciável.

Atualmente se conhece grande parte dos processos envolvidos nas trocas de lactato, incluindo vários caminhos do metabolismo e dos processos de transporte através da membrana sarcoplasmática. Contudo não se sabe exatamente como as trocas de lactato são reguladas sobre várias condições. Especificamente, quais papéis desempenham cada uma das MCTs na regulação e limitação das trocas de lactato? A presença do transporte do lactato célula-célula e intracelular aumenta a idéia de que os caminhos glicolítico e oxidativo podem ser vistos como processos complementares, pois o lactato produzido por um caminho é o substrato para o outro. No entanto, os conhecimentos a este respeito ainda são muito recentes, e ainda precisam ser mais explorados.

Embora exista controvérsia sobre os mecanismos que controlam a produção e remoção do lactato, existe consenso na literatura de que a concentração de lactato no sangue varia muito pouco em relação aos valores de repouso, quando se realizam esforços que correspondem em até 50-75% do $\text{VO}_{2\text{max}}$. Acima desta intensidade, existe

um aumento exponencial da concentração de lactato no músculo e no sangue (DENADAI, 1999). Durante o repouso e no exercício abaixo do domínio moderado, o lactato é produzido e removido em taxas iguais. A manutenção na concentração do lactato durante exercícios de baixa intensidade, não quer dizer que este não esteja sendo produzido, e sim que o aumento na produção é compensado por igual aumento na remoção.

Durante testes de intensidade crescente, a aproximadamente 50-75% $\text{VO}_{2\text{max}}$ (dependendo do nível de aptidão aeróbia do indivíduo), o lactato sanguíneo passa a aumentar de maneira exponencial. Esse ponto de inflexão tem sido chamado de “limiar anaeróbio”, significando o ponto no qual a musculatura tem deficiência de O_2 . Como relatado anteriormente, este é um conceito ultrapassado, o qual acredita que o músculo desenvolve um déficit de O_2 durante o exercício e que o aumento na concentração de lactato é decorrente de um predomínio do metabolismo anaeróbio. Na realidade, o limiar anaeróbio pode ser muito útil como um índice que auxilia na identificação da intensidade relativa à MLSS (Denadai et al., 2004).

Diversos fatores podem ser responsáveis pelo ponto de inflexão do lactato durante o exercício incremental. Liberação de hormônios que aceleram a glicólise e a glicogenólise, redistribuição do fluxo sanguíneo das regiões de maior remoção de lactato para regiões de maior produção. O padrão de recrutamento de fibras também parece coincidir com o nível de mudanças no lactato sanguíneo. Moritani et al. (1984) mostraram evidências por meio da eletromiografia de que com o aumento na intensidade do exercício, mais fibras brancas de contração rápida são recrutadas. Donovan e Brooks (1983) também mostram aumentos na concentração de lactato com o aumento na intensidade do exercício. Portanto aumentos na concentração de lactato

sanguíneo indicam que a produção excedeu a remoção, e uma diminuição desta concentração indica o oposto.

2.3. Máxima fase estável de lactato sanguíneo (MLSS)

A MLSS é a maior intensidade de exercício na qual ocorre um equilíbrio entre a liberação e a remoção de lactato sanguíneo durante um exercício prolongado de carga constante (BENEKE; VON DUVILLARD, 1996; BENEKE, 2003). A intensidade correspondente à MLSS tem sido fortemente relacionada com a performance em esportes de endurance (BILLAT et al., 2003), podendo ser usada para avaliação da capacidade aeróbia dos atletas, e também como um dos principais parâmetros para prescrição do treinamento aeróbio (BENEKE et al., 1996; BILLAT et al., 2003). A sua determinação requer 3-5 testes submáximos de carga constante realizados em diferentes intensidades (BENEKE, 2003). O critério mais utilizado para a determinação desta variável é o proposto por Heck et al. (1985) onde a concentração de lactato não aumente mais do que 1 mM nos últimos 20 minutos de exercício. Como as cargas submáximas têm até 30 min de duração, os testes devem ser realizados em dias diferentes e com o indivíduo recuperado da carga anterior.

Estudos que tentaram analisar fatores que potencialmente poderiam influenciar na MLSS, não encontraram relação entre diversas variáveis fisiológicas (e.g. atividade da enzima citrato sintase, capacidade de tamponamento celular, transportadores de lactato, tipo de fibra muscular, estado de treinamento aeróbio e idade) e a MLSS (BENEKE et al., 2000; PEDERSEN et al., 2002; MATTERN et al., 2003; DENADAI et al., 2004). Beneke et al. (1996) não verificaram efeito da idade na MLSS, com um valor médio de 4,2 mM, e na intensidade correspondente à MLSS (% potência máxima

atingida em um teste incremental) (%MLSS) (66,5%), em indivíduos de 11 a 20 anos. Denadai et al. (2004) verificaram no ciclismo, que indivíduos sedentários apresentaram uma menor potência correspondente à MLSS (180,2 W) do que os ciclistas (282,1 W), porém a MLSS foi similar entre os grupos (4,9 e 5,0 mM, respectivamente). Neste estudo, a % MLSS em relação à potência máxima (Pmax) foi maior nos ciclistas (79,5%) do que nos sedentários (68%).

Um aspecto que parece influenciar a MLSS é o tipo de exercício. Beneke et al. (1996) realizaram um estudo analisando atletas de elite (11 remadores, 6 patinadores e 16 ciclistas e triatletas), cada um realizando seu tipo específico de exercício, e obtiveram MLSS de 3,1, 6,6 e 5,4 mM, respectivamente, mostrando que a MLSS parece depender da quantidade de músculo envolvida. Posteriormente, Beneke (2003) verificou em remadores, um menor valor de MLSS no remo (3,4 mM) em relação ao ciclismo (4,8 mM). Neste estudo a intensidade relativa ao consumo de oxigênio pico (%VO₂pico) foi similar nos dois tipos de exercício (75,2 e 74,2%, respectivamente). Os autores sugerem que a MLSS parece diminuir com o aumento da massa muscular utilizada.

Estudando o mesmo indivíduo no ciclismo e na corrida, Figueira et al. (2007) verificaram uma maior MLSS no ciclismo (4,9 mM) do que na corrida (3,6 mM), porém a % MLSS foi similar nos dois tipos de exercício (68 e 75%, respectivamente). Portanto, parece que o tipo de exercício determina diferentes tipos de contrações e massa muscular participante que influenciam na MLSS, porém a % MLSS parece ser influenciada pelo estado de treinamento aeróbio e não pelo tipo de exercício.

Na natação, alguns estudos verificaram valores médios de MLSS de 3,2 mM (WAKAYOSHI et al., 1993), 2,8 mM (DEKERLE et al., 2005a) e 3,3 mM (DEKERLE

et al., 2005b), correspondendo a 88% V400 (DEKERLE et al., 2005a,b). Portanto, apesar de não haver estudos que compararam a natação com outras modalidades de exercício, na natação a MLSS parece ser menor do que no ciclismo, na corrida e no remo. A produção e a remoção oxidativa de lactato são determinadas por fatores como a massa muscular envolvida, coordenação intramuscular e recrutamento de fibras (BROOKS, 1986; MADER; HECK, 1986). Neste sentido, Beneke et al. (2001) sugerem que esses fatores parecem ser afetados pelo padrão motor do exercício, concluindo que a MLSS parece corresponder a níveis específicos de produção de força por unidade de trabalho muscular. Portanto, quando o exercício exige menor quantidade de massa muscular, os valores na concentração de lactato sanguíneo são maiores (BENEKE, 2003).

2.4. Respostas fisiológicas durante exercícios realizados de forma intermitente

O exercício feito de forma intermitente ou treinamento intervalado deve ser organizado para que este estimule a via metabólica desejada. Para isso é necessário que aja uma interação entre a duração e intensidade do esforço, e o tipo (ativo ou passivo) e duração da pausa.

Astrand e Rodahl (1977) realizaram um interessante estudo, no qual três grupos diferentes realizaram a mesma duração de exercício, com diferentes combinações de intervalos. A relação esforço:pausa foi 1:2, e a duração do esforços foi 10, 30 e 60 segundos. Os autores verificaram que durante nos esforços mais curtos (10 segundos) não houve aumento na concentração de lactato sanguíneo, enquanto que durante os mais longos mais longos (60 segundos) a [La] subiu constantemente. Uma possível explicação para esta diferença foi que o grupo que se exercitou por 10 segundos utilizou

principalmente os estoques de ATP intracelular e creatina fosfato (CP), os quais foram rapidamente recuperados pela produção de ATP mitocondrial, ativando a glicólise apenas parcialmente. Em contraste, o grupo que se exercitou por 60 segundos provavelmente apresentou uma ativação proporcionalmente maior da glicólise, produzindo grandes quantidades de lactato e prótons, que quais não puderam ser metabolizadas durante o período de recuperação. Já no esforço de 30 segundos o grupo mostrou um aumento inicial e depois uma estabilização do lactato sanguíneo após o terceiro esforço. Isso indica que a glicólise foi inicialmente estimulada, mas que a taxa de remoção do lactato durante os períodos de repouso foi igual à taxa de produção, assim foi atingido um estado estável de lactato sanguíneo. Uma das implicações práticas deste estudo é que a escolha da intensidade e a duração do treinamento intervalado deve ser feita de acordo com a via metabólica que deseja enfatizar.

Além do tipo de exercício e do estado de treinamento aeróbio, os protocolos utilizados também podem interferir na intensidade correspondente à MLSS (BENEKE, 2003). A realização do exercício de forma intermitente pode influenciar de forma significativa nas respostas fisiológicas, já que nos períodos de recuperação pode haver uma restauração das reservas de creatina fosfato e uma remoção do lactato sanguíneo. Estes fatores podem contribuir para uma redução significativa da concentração de lactato sanguíneo quando o mesmo exercício é realizado de forma intermitente. A redução na concentração de lactato sanguíneo, mesmo quando a duração é ajustada para compensar as interrupções, pode aumentar a intensidade absoluta e relativa correspondentes à MLSS (BENEKE, 2003). Como em muitas modalidades esportivas, o treinamento é feito de forma intermitente, ao utilizar testes contínuos para a avaliação da capacidade aeróbia e prescrição da intensidade do treinamento, é necessário um

ajuste na intensidade para que a mesma não fique subestimada para a condição da série estabelecida.

Alguns estudos investigaram o efeito da pausa nas respostas metabólicas durante o exercício. Na corrida, Heck (1990) verificou em um protocolo incremental, com pausas de 30 segundos, um aumento na intensidade correspondente a 4 mM de lactato sanguíneo quando o tempo das pausas foi aumentado para 90 s. Em um estudo realizado no ciclismo, Beneke et al. (2003) verificaram que a potência correspondente à MLSS foi significativamente maior quando feitos intervalos de 30 (300,4 W) e 90 segundos (310,0 W) a cada 5 minutos de exercício, em relação ao exercício feito de forma contínua (277,8 W). Portanto, houve um aumento de 8,1 e 11,5% para os exercícios feitos com 30 e 90 segundos de pausa, respectivamente. A MLSS foi similar nas condições intermitente (30 segundos pausa - 5,7 mM, 90 segundos pausa - 5,9 mM) e contínua (4,7 mM).

A MLSS delimita a transição dos domínios pesado e severo. No domínio pesado há uma estabilização das variáveis respiratórias e do lactato sanguíneo, sendo a reserva de glicogênio um aspecto importante na determinação da fadiga nestas faixas de intensidades. Já no domínio severo esta estabilização tende a não ocorrer, e os fatores ligados ao desequilíbrio na homeostase parecem influenciar na ocorrência da fadiga (BENEKE, 2003). Como a intensidade correspondente à MLSS determinada de forma contínua e intermitente é diferente, na realização de esforços intermitentes, ainda é possível em determinadas intensidades a realização do exercício com fase estável de lactato, quando o mesmo realiza o exercício de forma intermitente. Na natação, como a maioria das sessões de treinamento de capacidade aeróbia é prescrita de forma intermitente, o estudo da influência da pausa nas respostas metabólicas durante uma

série específica desta modalidade comparada com o exercício feito de forma contínua pode auxiliar na prescrição mais adequada da intensidade do treinamento.

2.5. Índices Técnicos

Na natação competitiva, aspectos biomecânicos, que representam a técnica e a habilidade de nado, podem contribuir igualmente para o rendimento, quando comparados aos aspectos ligados aos sistemas de produção de energia. Entre os aspectos biomecânicos está o nível de aplicação da força propulsiva (ROUARD et al., 1996), o arrasto passivo e ativo (KOLMOGOROV; DUPLISCHEVA, 1992). Estudos verificaram que o nível de habilidade interfere em variáveis como o gasto energético e a eficiência propulsiva, que são fatores fundamentais para o deslocamento no meio líquido (WAKAYOSHI et al., 1995).

Entre os índices que expressam a habilidade de nado, estão a taxa de braçada (TB), que representa o número de braçadas ou ciclos de braçadas realizados em uma unidade de tempo, o comprimento de braçada (CB), que representa a distância que o nadador realiza em cada ciclo de braçada e o índice de braçada (IB), que corresponde ao produto da velocidade e do CB. Estas variáveis têm apresentado correlação significativa com o consumo de oxigênio durante uma velocidade submáxima de nado e a performance (100, 200, 368 e 400m) durante o nado crawl (COSTILL et al., 1985; CHATHARD et al., 1990; WAKAYOSHI et al., 1995; CHOLLET et al., 1997; HUOT-MARCHAND et al., 2005). Mesmo em nadadores altamente treinados, a melhora da TB também tem sido associada com o aumento do rendimento (HUOT-MARCHAND et al., 2005). A velocidade de nado representa o produto da TB e do CB (SMITH et al., 2002).

Portanto, para manter uma dada velocidade de nado, os nadadores em geral adotam uma combinação de TB e CB que julgam ser a mais eficiente.

Alguns estudos sugerem que a redução no CB observada durante uma prova está relacionada à menor capacidade de desenvolver a força necessária para vencer a resistência ao movimento (CRAIG; PENDERGAST, 1979), à redução no trabalho por braçada e a eficiência propulsiva (TOUSSAINT; BERG, 1992). Portanto, além dos fatores biomecânicos, os fatores fisiológicos também podem influenciar o estilo do nadador. Alguns estudos sugerem que a fadiga muscular pode reduzir o CB durante esforços realizados em intensidades acima do limiar anaeróbio (WELLS; DUFFIN; PLYLEY, 2001) e da MLSS (DEKERLE et al., 2005b). Dentre os fatores que podem explicar a redução na frequência de movimentos em modalidades como o ciclismo e a corrida, estão a alteração no recrutamento das unidades motoras e na perfusão muscular, fadiga neuromuscular e muscular (VERCRUYSEN et al., 1997; LEPERS et al., 2000). Na natação, apesar destes mecanismos ainda não terem sido bem definidos, sabe-se que os aspectos biomecânicos podem ficar bastante comprometidos por mecanismos fisiológicos associados à fadiga. Como na natação, a velocidade correspondente à MLSS determinada de forma contínua (vMLSSC) será provavelmente diferente da determinada de forma intermitente (vMLSSI), é possível hipotetizar que, ao nadar de forma contínua ou intermitente acima da MLSS não haverá estabilização fisiológica como consequência disso, um comprometimento da técnica do nadador, porém, ao nadar de forma intermitente na vMLSSC, haverá equilíbrio fisiológico e da técnica do nadador, apesar da vMLSSI ser maior do que a vMLSSC.

3. Justificativa

Com a evolução do esporte de alto rendimento, é crescente o interesse em associar índices fisiológicos e técnicos que possam ser utilizados para verificar os efeitos do treinamento, predição da performance e prescrição adequada da intensidade do treinamento. Como na natação a técnica é um fator muito importante para o rendimento, a utilização de variáveis que representam o nível de habilidade de nado, pode permitir o acompanhamento dos efeitos de um programa de treinamento que vise o aprimoramento da técnica dos nadadores. Além disso, a mensuração destas variáveis possibilita também a prescrição mais individualizada do treinamento. Como alguns destes índices são de fácil mensuração, é possível utilizá-los em um grande número de atletas, pois não é necessário pessoal especializado e equipamentos de alto custo.

Alguns estudos verificaram que parece haver uma relação entre a fadiga metabólica e o comprometimento da habilidade de nado, pois estes autores verificaram que ao nadar em intensidades acima do limiar anaeróbio ou da MLSS, há um comprometimento da técnica (WELLS; DUFFIN; PLYLEY, 2001; DEKERLE et al., 2005b). Por outro lado, tem-se verificado que a intensidade correspondente à MLSS é maior quando esta é determinada de forma intermitente do que de forma contínua (BENEKE et al., 2003). Deste modo, existindo relação de causa e efeito entre a fadiga metabólica e a redução na habilidade técnica, é possível hipotetizar que: a) ao nadar de forma contínua ou intermitente acima da vMLSSC ou vMLSSI, respectivamente, não haverá estabilidade metabólica e conseqüentemente comprometimento da técnica de nado (redução no CB), e; b) Entretanto, é possível nadar de forma intermitente na vMLSSI, com estabilidade metabólica e sem o comprometimento da técnica (manutenção do CB), apesar da vMLSSI ser maior do que a vMLSSC. Um aspecto que

deve ser levado em conta na natação, independentemente do método de determinação da capacidade aeróbia (MLSS, LAn ou VC), é que a maioria dos protocolos de treinamento para a melhora desta característica, são realizados de forma intermitente. Portanto, o conhecimento das informações referentes à habilidade de nado durante o exercício intermitente pode contribuir de forma significativa para a prescrição do treinamento nesta modalidade.

4. Objetivos

4.1. Geral

Determinar e comparar a máxima fase estável de lactato sanguíneo e os índices técnicos de forma contínua e intermitente na natação.

4.2. Específicos

- Comparar a velocidade e concentração de lactato sanguíneo correspondentes à máxima fase estável de lactato sanguíneo obtida de forma contínua (MLSSC) e intermitente (MLSSI);
- Comparar a TB, o CB e o IB correspondentes à MLSSC e a MLSSI;
- Analisar a habilidade técnica de nado na vMLSSC e vMLSSI;
- Verificar se acima da vMLSSC e da vMLSSI há comprometimento da habilidade técnica de nado, analisada pelo CB correspondente a estas intensidades.

5. Material e métodos

5.1. Sujeitos

Participaram deste estudo 5 nadadores fundistas, especializados em provas de 400, 800, 1500m ou de águas abertas e 8 triatletas de nível regional ($N = 13$), com pelo menos 3 anos de experiência nas respectivas modalidades, e que treinavam pelo menos 12 horas semanais. Foram selecionados indivíduos considerados saudáveis após exame clínico, não fumante e que não faziam uso regular de qualquer tipo de medicamento. Os mesmos foram submetidos a um questionário e, após serem informados textual e verbalmente sobre os objetivos e a metodologia desse estudo, deverão assinar um termo de consentimento. Toda e qualquer informação individual obtida durante este estudo foi totalmente sigilosa entre o pesquisador e o voluntário, inclusive um relatório final, o qual foi entregue ao voluntário. Este projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa da Universidade (Processo nº 097/2007).

5.2. Delineamento Experimental

Inicialmente, foram obtidas as medidas antropométricas massa corporal, estatura e dobras cutâneas (tricipital, suprailíaca e abdominal), para a determinação da composição corporal. Também foram realizados em diferentes dias os seguintes testes: um tiro máximo na distância de 400m, um teste incremental, 2 a 4 repetições com duração de 30 minutos em diferentes intensidades, para a determinação da MLSSC, e em seguida 2 a 4 repetições de 12 x 150 segundos em diferentes intensidades, para a determinação da MLSSI. Todos os testes foram realizados em uma piscina de 25m.

Os indivíduos compareceram ao local do teste, com um intervalo entre os testes de um a três dias, também foram instruídos a não treinarem exaustivamente no dia

anterior à avaliação e a comparecerem alimentados e hidratados no dia do teste. Todos os testes foram executados no mesmo horário do dia.

5.3. Avaliação antropométrica

Foram mensuradas as seguintes variáveis antropométricas: massa corporal (kg), estatura (cm), envergadura (distância entre os dedos médios, com o indivíduo em pé e com os braços estendidos e os ombros em abdução de 90 graus), comprimento do braço, dobras cutâneas (tríceps braquial, suprailíaca e abdominal) e percentual de gordura corporal (GUEDES; GUEDES, 1988; SIRI, 1961).

5.4. Determinação da performance aeróbia

Para a determinação da performance aeróbia foi realizado um tiro máximo na distância de 400m (v400) com saída de dentro da piscina. Anterior ao teste foi realizado um aquecimento de 10 minutos, com exercícios em intensidade baixa. O tempo foi registrado por meio de um cronômetro manual. Este desempenho será utilizado para determinar as intensidades do teste incremental e para caracterizar os sujeitos.

5.5. Determinação dos limiares de transição fisiológica

O limiar de lactato (LL) e o limiar anaeróbio (LAn) foram determinados por meio de um protocolo incremental até a exaustão voluntária. O teste incremental foi composto por 8 repetições na distância de 200m. A velocidade inicial deste teste foi 21% abaixo da v400, com aumentos de 3% na velocidade a cada repetição, sendo a última repetição máxima. Após cada estágio foi realizada uma pausa de 30 segundos na

qual o indivíduo se posicionou em cima de uma plataforma (Pro Swim, São Paulo, S.P.) para coleta de 25 µl de sangue do lóbulo da orelha.

Para o controle da velocidade, foram colocadas marcações no fundo da piscina a cada 5m. O ritmo foi determinado por meio de bipes gravados em um aparelho MP3 (Acqua Player, Mormaii, Garopaba, Brasil) que tocaram em intervalos constantes, na velocidade determinada. Assim, o nadador deveria estar passando em cima de uma das marcas ou estar virando ao ouvir o sinal sonoro.

Foi determinado por dois examinadores experientes e independentes. Havendo discordância entre os examinadores, um terceiro examinador foi utilizado como critério de desempate. O LAn foi determinado por meio de interpolação linear entre a velocidade e a [La], considerando um valor fixo de 3,5 mM (HECK et al., 1985). A frequência cardíaca (FC) foi monitorada durante todo o teste (Polar S810i, Kempele, Finlândia).

5.6. Determinação da máxima fase estável de lactato sanguíneo contínua

Para a determinação da MLSSC foram realizadas de 2 a 4 tentativas com duração de 30 minutos, em velocidade constante, com a primeira tentativa sendo mantida a 88% v400 (DEKERLE et al., 2005a). Nas próximas tentativas foram utilizados aumentos ou reduções de 2,5% na velocidade entre cada teste até que um aumento menor ou igual a 1mM de lactato entre o décimo e trigésimo minuto foi observado como critério para determinação da vMLSSC (HECK et al., 1985). No décimo minuto e ao final do teste, 25µl de sangue arterializado foram coletados do lóbulo da orelha por meio de um capilar heparinizado e imediatamente transferidos para microtúbulos de polietileno com tampa tipo Eppendorff de 1,5ml contendo 50µl de NaF

(1%) para a mensuração da [La] (YSL 2300 STAT, Yellow Springs, OH, U.S.A.). A FC foi monitorada durante todo o teste. O controle da velocidade foi similar ao utilizado no teste incremental. Para expressar a concentração de lactato correspondente a esta velocidade, foi feita a média dos valores obtidos no décimo minuto e ao final do teste

5.7. Determinação da máxima fase estável de lactato sanguíneo intermitente

Para a determinação da MLSSI foram realizadas 2 a 4 tentativas com duração de 30 min, em velocidade constante, com a primeira tentativa mantida 5% acima da velocidade encontrada na MLSSC. No entanto, foram utilizadas 12 repetições de 150 segundos com intervalo de 30 segundos, nas quais o nadador parava em qualquer local da piscina para o descanso. A relação esforço:pausa utilizada foi de 5:1, ou seja, para cada 5 segundos de nado, 1 segundo de recuperação. Esta relação foi escolhida por ser próxima da utilizada nas sessões de treinamento de capacidade aeróbia e por proporcionar uma individualização pela performance dos nadadores. Nas próximas tentativas foram utilizados aumentos ou reduções de 2,5% entre cada teste até que um aumento menor ou igual a 1 mM na [La] entre o décimo e trigésimo minuto foi observado como critério para determinação da vMLSSI. No décimo e ao final do teste, 25µl de sangue arterializado foram coletados para a análise da [La]. A FC foi monitorada durante todo o teste. Para expressar a [La] correspondente a esta velocidade, foi feita a média dos valores obtidos no décimo e ao final do teste.

5.8. Determinação dos índices técnicos

Os índices técnicos TB, CB e IB foram determinados em todos os testes. A TB foi calculada utilizando uma câmera filmadora com frequência de amostragem de 60 Hz

(Panasonic NVGS180, São Paulo, S.P.) utilizando o tempo necessário para se realizar cinco ciclos completos de braçadas, e expressa em ciclos.min^{-1} . Esta contagem foi realizada nos 25m finais de cada 100m percorridos durante todo o teste de MLSSC. Durante o teste de MLSSI foram analisados os últimos 50m de cada repetição. Foi feita a média dos valores obtidos em todos os testes. O CB foi calculado dividindo a velocidade pela TB (br.s^{-1}) e expresso como m.ciclo^{-1} . O IB foi determinado pelo produto da velocidade e do CB.

Abaixo estão as equações para a determinação da TB, do CB e do IB:

$$TB = 5/T5B$$

$$CB = v/TB$$

$$IB = CB \times v$$

Sendo que:

TB - taxa de braçada

CB - comprimento de braçada

IB - índice de braçada

v = velocidade

T5B – tempo de cinco braçadas em s

5.9. Análise estatística

Foram calculadas as médias \pm DP dos dados obtidos. A existência da normalidade dos dados foi verificada por meio do teste de Shapiro-Wilk. Para as variáveis correspondentes à MLSSC e MLSSI que apresentarem distribuição normal, o efeito do tipo de exercício (contínuo e intermitente), do tempo (média do primeiro terço

e do último terço do teste) e da intensidade (na MLSS e 2,5%MLSS) foi analisado por meio da ANOVA THREE WAY, complementada pelo teste de Tukey. A comparação da [La], velocidade e FC correspondentes à MLSSC e a MLSSI foram realizadas pelo teste *t* Student para dados pareados. As variáveis que não apresentaram distribuição normal foram comparadas pelo teste Wilcoxon. Em todos os testes foi adotado um nível de significância de $p \leq 0,05$.

6. Resultados

A Tabela 1 apresenta as características antropométricas dos voluntários do estudo.

TABELA 1. Valores médios \pm DP das características antropométricas dos sujeitos. N = 13

	Média \pm DP
Idade (anos)	23,8 \pm 9,5
Massa (kg)	71,3 \pm 9,8
Estatutura (cm)	1,76 \pm 0,1
%Gordura	12,6 \pm 3,0
Envergadura (cm)	182,2 \pm 14,0
Comprimento do braço (cm)	78,8 \pm 5,5

Na Tabela 2 estão descritos os valores médios \pm DP da v400, frequência cardíaca máxima encontrada no teste incremental (FC_{max}), da v_{LAn} e da v_{LAn} expressa como percentual da v400 (%v400). Os valores de v_{LAn} e da velocidade de MLSSC não foram diferentes entre si ($P > 0,05$) e foram altamente correlacionados ($r = 0,94$) ($p < 0,05$).

TABELA 2. Valores médios \pm DP da velocidade máxima de 400 m (v400), frequência cardíaca máxima encontrada no teste incremental (FC_{max}), velocidade absoluta (v_{LAn}) e relativa (%v400) correspondentes ao limiar anaeróbio. N = 10

	v400	FC_{max}	v_{LAn}	v_{LAn}
	(m.s ⁻¹)	(bpm)	(m.s ⁻¹)	(%v400)
Média \pm DP	1,30 \pm 0,08	187 \pm 6	1,18 \pm 0,14	91 \pm 6

Os valores de velocidade, concentração média de lactato ([La]), frequência cardíaca (FC) e velocidade relativa à v400 (%v400) correspondentes à MLSS contínua (MLSSC) e intermitente (MLSSI) e acima destas (102,5%MLSSC e 102,5%MLSSI, respectivamente) estão apresentados na Tabela 3. A velocidade e o %v400 correspondentes à MLSSI foram significativamente maiores do que a MLSSC ($p < 0,05$). Porém, a [La] e a FC foram similares nas duas condições ($p > 0,05$).

TABELA 3. Valores médios \pm DP da velocidade (v), concentração média de lactato ([La]), frequência cardíaca (FC) e velocidade relativa à v400 (%v400) correspondentes à máxima fase estável de lactato contínua (MLSSC) e intermitente (MLSSI). N = 13

	v	[La]	FC	%v400
	(m.s ⁻¹)	(mM)	(bpm)	
MLSSC	1,13 \pm 0,08	4,4 \pm 1,5	170 \pm 10	87 \pm 2
102,5%MLSSC	1,15 \pm 0,09	5,8 \pm 1,7	177 \pm 10	88 \pm 2
MLSSI	1,17 \pm 0,09*	4,3 \pm 1,1	167 \pm 7	92 \pm 3*
102,5%MLSSI	1,19 \pm 0,09	6,0 \pm 2,2	180 \pm 10	92 \pm 3

* p < 0,05 em relação à MLSSC na mesma intensidade.

A Tabela 4 apresenta os valores médios \pm DP da TB, do CB e do IB atingidos na MLSS e a 2,5% acima desta, nas condições contínua (MLSSC e 102,5%MLSSC, respectivamente) e intermitente (MLSSI e 102,5%MLSSI, respectivamente). A TB observada durante a MLSS foi menor comparada à 102,5%MLSSC (p < 0,05). Este mesmo comportamento foi observado durante o teste intermitente (p < 0,05). Os valores de TB obtidos durante o teste MLSSI e 102,5%MLSSI foram maiores que os obtidos durante o teste contínuo (p < 0,05). Não foram observadas diferenças no CB entre a MLSS e 102,5%MLSS para ambos os testes contínuo e intermitente (p > 0,05). Nenhuma diferença foi observada no IB entre as intensidades e tipo de exercício utilizado neste estudo (p > 0,05).

TABELA 4. Valores médios \pm DP da taxa de braçada (TB), do comprimento de braçada (CB) e do índice de braçada (IB) atingidos na máxima fase estável de lactato sanguíneo e acima desta, nas condições contínua (MLSSC e 102,5%MLSSC, respectivamente) e intermitente (MLSSI e 102,5%MLSSI, respectivamente). N = 13

	TB (ciclos.min ⁻¹)	CB (m. ciclo ⁻¹)	IB
MLSSC	31,5 \pm 2,0	2,15 \pm 0,3	2,43 \pm 0,5
102,5%MLSSC	33,0 \pm 2,3 #	2,12 \pm 0,3	2,46 \pm 0,6
MLSSI	33,0 \pm 3,3 *	2,16 \pm 0,3	2,55 \pm 0,5
102,5%MLSSI	34,4 \pm 2,3 # *	2,13 \pm 0,3	2,57 \pm 0,5

p < 0,05 em relação à MLSS para o mesmo tipo de exercício.

* p < 0,05 em relação ao contínuo para a mesma intensidade.

A Figura 1 apresenta os valores médios das [La] referentes à MLSSC e MLSSI e na velocidade logo acima da MLSS (102,5%MLSSC e 102,5%MLSSI, respectivamente). Não houve diferença significativa nos valores obtidos tanto no 10^o quanto no 30^o min entre o modo de exercício (contínuo e intermitente) em ambas as intensidades (p > 0,05).

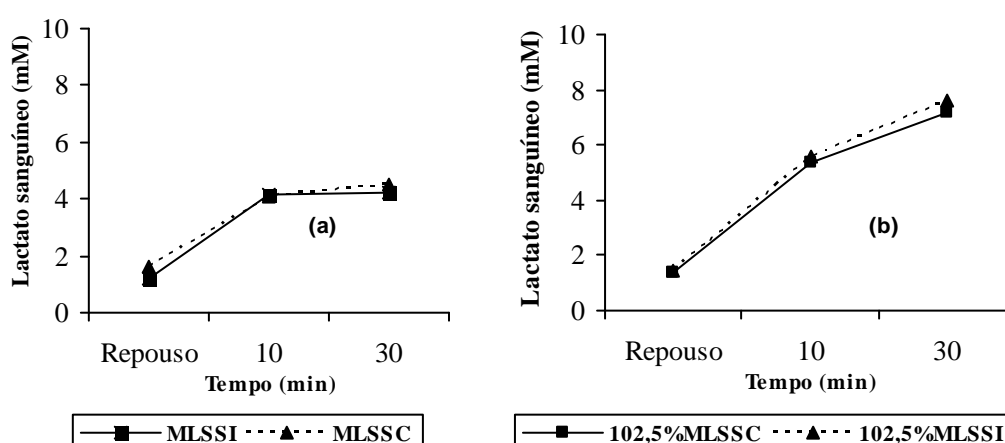


Figura 1. Valores médios das concentrações de lactato sanguíneo referentes à máxima fase estável de lactato sanguíneo obtida de forma contínua (MLSSC) e intermitente (MLSSI) (a) e na velocidade logo acima da MLSS (102,5%MLSSC e 102,5%MLSSI) (b). N = 13

As Figuras 2, 3 e 4 apresentam respectivamente os valores da TB, CB e IB obtidos no primeiro terço e no último terço do exercício correspondentes à MLSSC e MLSSI e acima destas (102,5%MLSSC e 102,5%MLSSI, respectivamente). A TB apresentou aumentos significantes do primeiro terço em relação ao último terço do exercício independente da intensidade e do tipo de exercício analisada ($p < 0,05$). Além disso, foram observados aumentos na TB em função do aumento na intensidade do exercício independente do momento de análise e do tipo de exercício ($p < 0,05$). A TB também foi maior em ambas as intensidades e momentos de análise durante o exercício intermitente comparado com o contínuo ($p < 0,05$).

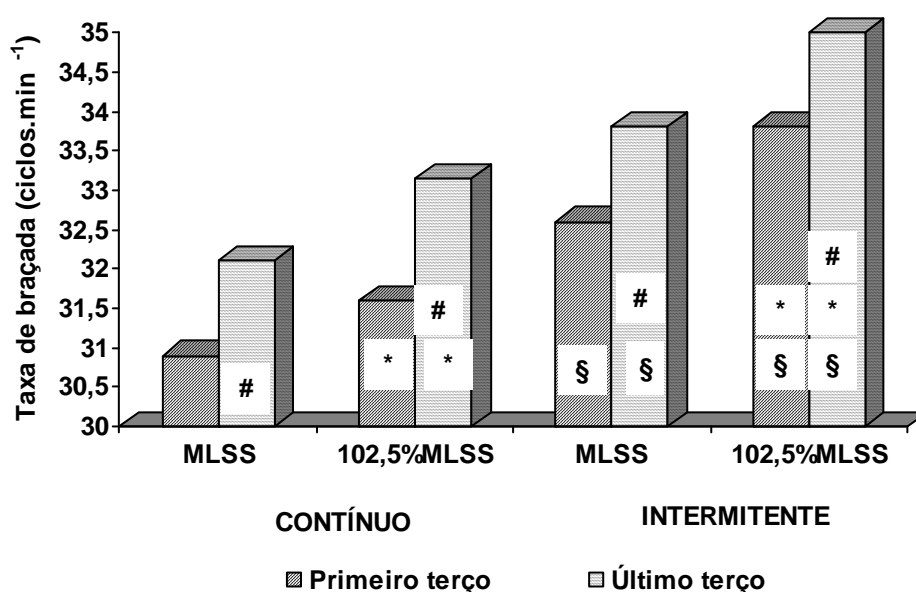


Figura 2. Valores médios da taxa de braçada (TB) obtidos no primeiro terço (barra com linhas contínuas) e no último terço do exercício (barra com linhas tracejadas) correspondentes à máxima fase estável de lactato (MLSS) e à velocidade realizada logo acima (102,5%MLSS) de modo contínuo e intermitente. # $p < 0,05$ em relação aos 10 min para a mesma intensidade; * $p < 0,05$ em relação MLSS para o mesmo momento e tipo de exercício. § em relação ao tipo de exercício para mesma intensidade e momento de exercício. N = 13

Em relação ao CB, foram observadas diminuições significantes do primeiro terço em relação ao último terço do exercício nas duas intensidades e para os dois tipos

de exercício ($p < 0,05$). Apenas durante o exercício contínuo na intensidade de 102,5%MLSS o CB observado no último terço do exercício foi menor quando comparado ao último terço do exercício na intensidade de MLSS ($p < 0,05$).

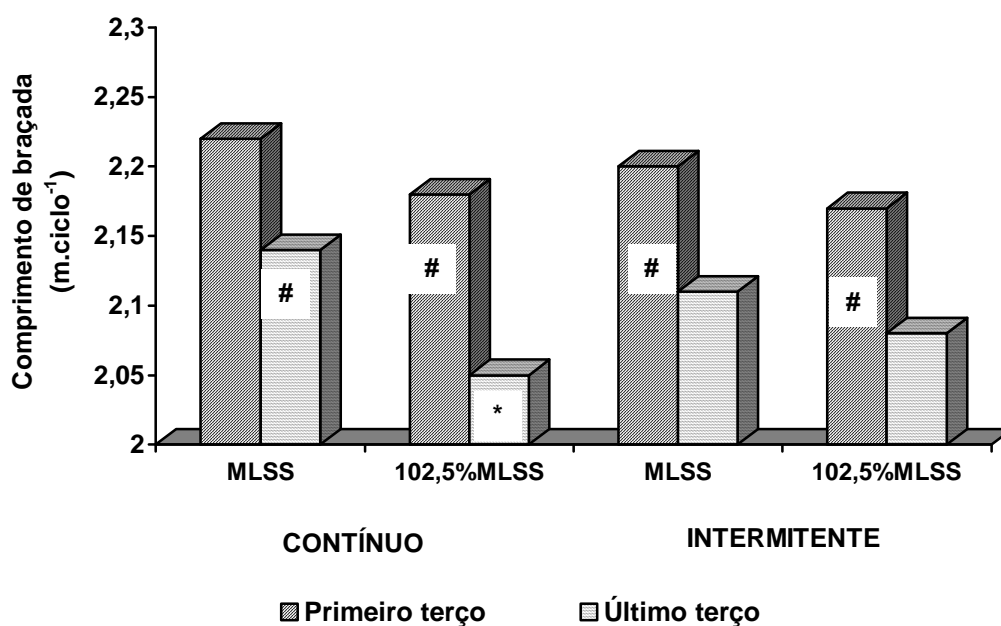


Figura 3. Valores médios do comprimento de braçada obtidos no primeiro terço (barra com linhas contínuas) e no último terço do exercício (barra com linhas tracejadas) correspondentes à máxima fase estável de lactato (MLSS) e à velocidade realizada logo acima (102,5%MLSS) de modo contínuo e intermitente. # $p < 0,05$ em relação aos 30 min para a mesma intensidade. * $p < 0,05$ em relação ao final para o mesmo tipo de exercício. N = 13

O IB apresentou diminuições significativas do primeiro terço em relação ao último terço do exercício nas duas intensidades (MLSS e 102,5%MLSS) e nos dois tipos de exercício (contínuo e intermitente) ($p < 0,05$). O IB obtido a 102,5%MLSS nos dois momentos do exercício foi significativamente maior no exercício intermitente do que no contínuo ($p < 0,05$). Não houve efeito da intensidade nas duas condições de tipo de exercício e momento do exercício.

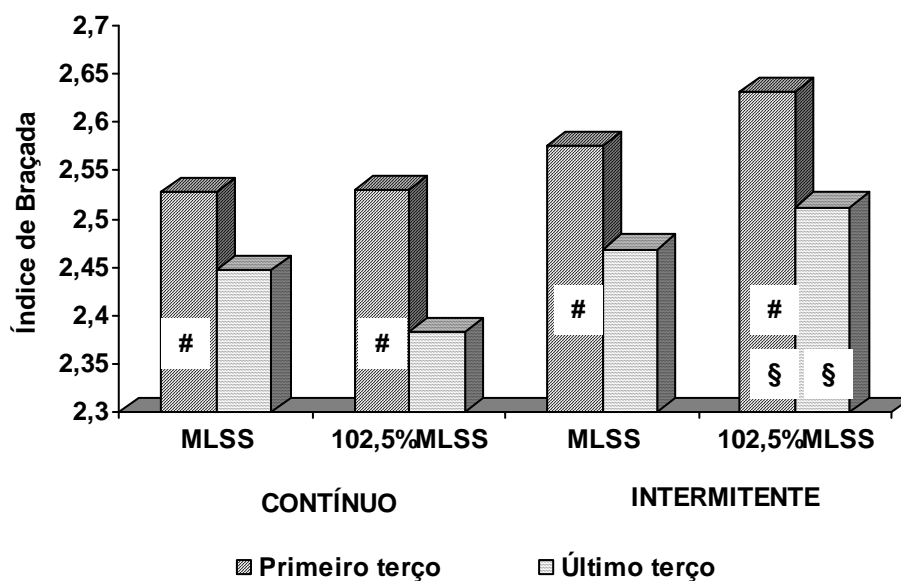


Figura 4. Valores médios do índice de braçada obtidos no primeiro terço (barra com linhas contínuas) e último terço do exercício (barra com linhas tracejadas) correspondentes à máxima fase estável de lactato (MLSS) e à velocidade realizada logo acima (102,5%MLSS) de modo contínuo e intermitente. # $p < 0,05$ em relação aos 30 min para a mesma intensidade. \$ $p < 0,05$ em relação ao tipo de exercício para mesma intensidade. N = 13

As mudanças percentuais na TB, CB e IB ao longo dos testes (primeiro terço e último terço) contínuos e intermitentes estão representadas na Figura 5. Foi encontrada diferença estatística apenas para a mudança percentual da TB a 102,5%MLSS durante a condição contínua, que foi maior comparada às outras condições e intensidades estudadas ($p < 0,05$). Em relação ao CB, a mudança percentual observada a 102,5%MLSS durante a condição contínua foi significativamente maior que a encontrada na MLSS contínua e intermitente ($p < 0,05$). A mudança percentual observada a 102,5%MLSS durante a condição intermitente, não foi diferente quando comparada às outras condições e intensidades estudadas ($p > 0,05$). Em relação ao IB, foi observada diferença na mudança percentual apenas entre as intensidades para o exercício contínuo ($p < 0,05$).

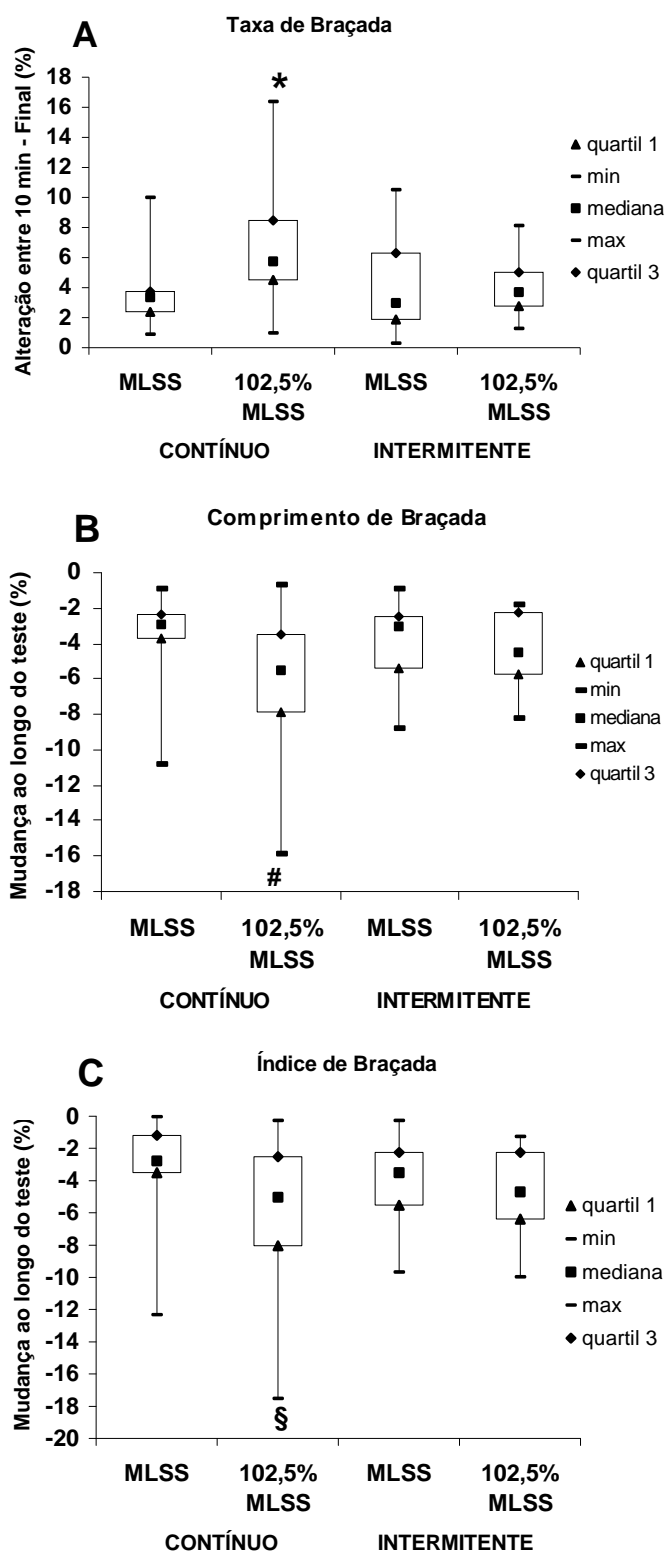


Figura 5. Mudanças percentuais ao longo dos testes (primeiro terço e último terço) contínuos e intermitentes na taxa de braçada (painel A), comprimento de braçada (painel B) e índice de braçada (painel C). * $p < 0,05$ em relação a todas as outras condições. # $p < 0,05$ em relação à MLSS contínua e intermitente. § $p < 0,05$ em relação à MLSS contínua. $N = 13$

7. Discussão

O principal resultado encontrado neste estudo foi que o CB diminuiu ao longo do tempo independente da intensidade (MLSS e 102,5%MLSS) e tipo de exercício (contínuo e intermitente). Sendo assim, ao se realizar o exercício na MLSS, maior intensidade na qual ainda é observada uma estabilidade no lactato sanguíneo e provavelmente de equilíbrio fisiológico, não foi observada uma manutenção da técnica. No entanto, o comprometimento desta parece ser menor no exercício intermitente quando comparado ao exercício contínuo. Nas condições deste estudo, a manutenção da qualidade técnica não parece estar relacionada a uma condição de equilíbrio fisiológico.

No presente estudo, os valores de v_{LAn} foram semelhantes e altamente correlacionados ($r = 0,94$) com a velocidade de MLSSC (v_{MLSSC}), sugerindo que a v_{LAn} foi válida como uma medida indireta de v_{MLSS} . Portanto, a utilização de uma concentração fixa como proposto por Heck et al. (1985) durante a corrida, e validada também durante o ciclismo por Denadai et al. (2005) parece ser também apropriada para determinação indireta da v_{MLSS} para a natação.

As [La] encontradas em nosso estudo durante o exercício contínuo (4,4 mM) foram maiores que os encontrados em outros estudos conduzidos em nadadores, 2,8 mM (DEKERLE et al., 2005a) e 3,3 mM (DEKERLE et al., 2005b), e menores que as reportadas para um grupo de triatletas (8 mM) (VAN SCHUYLENBERGH et al., 2004). Como no presente estudo utilizou-se nadadores e triatletas, este pode ser um possível aspecto a ser considerado no valor de [La] encontrado. A MLSSC correspondeu 87,1% v_{400} sendo bem próximo ao obtido por Dekerle et al. (2005a,b) (88,4 e 89% v_{400}), no entanto os valores de velocidade obtidos no presente estudo (1,13 $m.s^{-1}$) são inferiores aos encontrados por Dekerle et al. (2005a,b) (1,24 e 1,22 $m.s^{-1}$).

Para o nosso conhecimento este foi o primeiro estudo a determinar a MLSS de forma intermitente durante a natação, portanto não é possível a comparações com outros dados na literatura para este tipo de exercício.

A velocidade correspondente à MLSSI foi 3,24% maior do que na condição contínua. No entanto, a concentração de lactato não foi diferente entre os tipos de exercício (Figura 1). Portanto, apesar da duração da pausa ser proporcionalmente curta com relação à duração do estímulo, provavelmente houve uma restauração parcial das reservas de creatina fosfato e uma remoção parcial de lactato, que podem ter contribuído para que o indivíduo conseguisse atingir uma intensidade maior, porém com a mesma resposta metabólica. Durante cada intervalo de descanso, a taxa glicolítica é reduzida enquanto o consumo de oxigênio total do organismo continua elevado. Em condições de saturação de substrato, situação bastante comum na intensidade estudada, a taxa de remoção do lactato é diretamente relacionada ao consumo de oxigênio. Além disso, uma recente investigação demonstrou que um período de 5 minutos de esforço é insuficiente para o lactato sanguíneo atingir uma estabilidade (BENEKE, 2003). Portanto, assumindo que na intensidade de MLSS a taxa da glicólise seria relativamente constante, repetidos intervalos de descanso preveniram que a [La] atingisse um estado estável em um maior valor, o qual correspondeu à mesma concentração sobre a condição de exercício contínuo.

Resultados semelhantes foram encontrados por Beneke et al. (2003) durante o ciclismo utilizando relações de esforço:pausa de 3,33:1. No entanto, o aumento de 11,5% na intensidade encontrada durante o exercício intermitente no estudo de Beneke et al. (2003) não pode ser comparado diretamente com os 3,24% encontrados no presente estudo, pois na natação a potência exercida pelo nadador para vencer a

resistência imposta pela água está relacionada com o cubo da velocidade. Deste modo, a potência realizada durante a MLSSI foi 10% maior comparada à MLSSC, sendo semelhante ao encontrado por Beneke et al. (2003), apesar das diferenças no tipo de exercício e na relação esforço:pausa.

O principal objetivo do presente estudo foi analisar o comportamento das variáveis biomecânicas relacionadas com a técnica de nado (TB, CB e IB) durante o exercício realizado na MLSS de modo contínuo e intermitente. O único estudo que mediu a TB e o CB na MLSS foi o de Dekerle et al. (2005b), no qual os valores encontrados na MLSS determinada de forma contínua foram de $27,7 \text{ ciclos.min}^{-1}$ e $2,64 \text{ m.ciclo}^{-1}$, respectivamente. Em nosso estudo, os valores de TB e CB encontrados na MLSSC foram maiores ($31,5 \text{ ciclos.min}^{-1}$) e menores ($2,18 \text{ m.ciclo}^{-1}$) respectivamente, aos obtidos por Dekerle et al. (2005b), provavelmente devido ao menor nível de performance dos nossos sujeitos.

No presente estudo o valor médio do CB não foi diferente entre todas as condições de exercícios analisadas. Estes dados diferem do apresentado por Dekerle et al. (2005b), os quais encontraram uma diminuição do CB na velocidade logo acima da MLSS e sugerem que essa diminuição poderia estar relacionada com o acúmulo dos mecanismos de fadiga em intensidades acima da MLSS. Em nosso estudo, a ausência de diferença significativa no CB entre as diferentes intensidades pode ser explicada, em parte, pela menor variação de velocidade utilizada, que foi de 2,5%, enquanto que no estudo de Dekerle et al. (2005b) os autores utilizaram 5% v400. Portanto, não é possível afirmar se a redução no CB com aumento da velocidade nestas condições é proporcionado por mecanismos relacionados à fadiga ou por uma estratégia para aumentar a velocidade.

Ao se analisar o comportamento dos índices técnicos ao longo do tempo, No estudo de Dekerle et al. (2005b) os autores verificaram uma estabilidade no CB ao longo do tempo, e uma diminuição do CB na intensidade acima da MLSS (105%) para os sujeitos que não conseguiram terminar os 30 min de exercício. Em nosso estudo, o valor médio do CB foi mantido mesmo em intensidades acima da MLSS. Uma possível explicação para estes diferentes resultados é também a menor variação de velocidade utilizada no presente estudo, o que poderia ter permitido ainda uma manutenção do CB.

No presente estudo, o mais alto valor de CB observado durante o teste incremental foi significativamente maior que o CB observado durante o exercício contínuo na MLSS. Estes dados em conjunto reforçam a idéia de que uma progressiva diminuição no CB com aumentos adicionais da TB, a partir de uma determinada velocidade de nado, podem estar associados a uma estratégia para aumento da velocidade provavelmente devido ao aumento exponencial na resistência imposta pelo deslocamento na água (KESKINEN; KOMI, 1993; TOUSSAINT; BEEK, 1992). No entanto, mas estudos que comparem os índices técnicos nas mesmas condições de velocidade, variação de velocidade e nível de performance são necessários para que se possa compreender melhor os mecanismos envolvidos na estratégia de nado.

A MLSS realizada de modo intermitente também não foi associada a uma manutenção da habilidade técnica no decorrer do exercício, portanto a possível vantagem de se realizar o exercício de forma intermitente é que ele pode ser realizado em velocidades maiores que de modo contínuo, acarretando consequentemente um maior estresse fisiológico. Além disso, o CB médio não foi diferente entre todas as intensidades e a diminuição percentual do CB ao longo do teste foi significativamente maior apenas a 102,5%MLSSC (Figura 5).

Nesse sentido, do ponto de vista prático, um treinamento realizado mesmo a 102,5%MLSSI, pode ser mais vantajoso para melhora da aptidão aeróbia do nadador, por estar relacionada a uma maior demanda metabólica sem apresentar diferenças na técnica de nado, independente do acúmulo de lactato. Esta vantagem do exercício intervalado é ainda reforçada, quando analisamos o IB, que é uma variável bastante utilizada para verificar a qualidade técnica, por meio da associação da velocidade de nado com o CB. Apesar de encontrarmos diferenças no IB entre o primeiro e último terço de exercício em todos os testes, semelhante ao ocorrido com CB, o IB foi maior durante o exercício intermitente comparado ao contínuo a 102,5%MLSS. Portanto, esse maior valor de IB, como consequência da manutenção do CB com aumento da velocidade e a similaridade na diminuição do CB ao longo do tempo para MLSSC, MLSSI e 102,5%MLSSI, sugerem o efeito positivo do intervalo de descanso não apenas sobre a resposta do lactato sanguíneo, mas principalmente minimizando o declínio da técnica de nado nestas condições de exercício mais fatigante (102,5%MLSS).

No entanto, como previamente ressaltado, apesar do CB não variar nestas faixas de intensidade, há uma redução do mesmo ao longo do tempo, sugerindo um comprometimento da técnica, que parece ser independente do tipo de exercício. Assim, sugere-se que, dependendo do tipo e fase do treinamento, séries de exercícios que tenham o objetivo de atingir uma boa qualidade técnica, portanto sem comprometimento da técnica ao longo do tempo, devem ser mais curtas, independente da intensidade (MLSS e 102,5%MLSS) e tipo de exercício (contínuo e intermitente) e/ou com maiores tempos de recuperação (exercício intermitente).

No presente estudo, os valores de médios de FC foram semelhantes entre o exercício contínuo e intermitente, sugerindo que a forma de execução do exercício não

interfere no valor FC correspondente à MLSS. Este aspecto pode ter uma implicação prática bastante interessante para o treinamento, uma vez que as sessões de treinamento com objetivo de melhorar a capacidade aeróbia podem ser monitoradas por meio da FC independente do modo de exercício utilizado.

Assim, os dados apresentados neste estudo indicam que o exercício intermitente poderia subestimar o nível de esforço fisiológico, se devidas correções na intensidade em função da duração do esforço e da pausa não forem realizadas. Desta forma, se a intensidade de MLSSC for aplicada diretamente em exercícios intervalados, poderá levar a uma prescrição inadequada da intensidade do treinamento.

8. Conclusões

De acordo com os dados do presente estudo pode-se concluir:

- É possível realizar um exercício de forma intermitente acima da MLSS, com estabilidade metabólica.
- A habilidade técnica parece diminuir ao longo de testes contínuos e intermitentes realizados na intensidade correspondente à MLSS e acima desta, independente do tipo de exercício (contínuo e intermitente). No entanto, o comprometimento da técnica parece ser menor no exercício intermitente.
- Nas intensidades analisadas no presente estudo, o aumento da velocidade parece ser promovido pelo aumento da TB, similar a outros estudos que analisaram em outras condições de intensidade e duração do exercício.

9. Referências Bibliográficas

ASTRAND, P.O., RODAHL, K. **Textbook of Work Physiology**. New York, McGraw Hill, 1977.

BANGSBO, J. Quantification of anaerobic energy production during intense exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v.30, p. 47-52, 1998.

BANGSBO, J., GOLLNICK, P.D., GRAHAM, T.E., et al. Anaerobic energy production and O₂ deficit-debt relationship during exhaustive exercise in humans. **J Physiol**, v.422, p.539-559, 1990.

BARON, B., DEKERLE, J., ROBIN, S., et al. Maximal lactate steady state does not correspond to a complete physiological steady state. **Int J Sports Med**, v.24, p. 582-587, 2003.

BARON, B., NOAKES, T.D., DEKERLE, J., et al. Why Does Exercise Terminate At The Maximal Lactate Steady State Intensity? **Br J Sports Med**, 2007 Dec 18.

BENEKE, R. Methodological aspects of maximal lactate steady state-implications for performance testing. **Eur J Appl Physiol**, v.89, p.95-99, 2003.

BENEKE, R., HUTLER, M., LEITHAUSER, R.M. Maximal lactate-steady-state independent of performance **Med Sci Sports Exerc**, v.32, p.1135-1139, 2000.

BENEKE, R., HUTLER, M., VON DUVILLARD, S.P. et al. Effect of test interruptions on blood lactate during constant workload testing. **Med Sci Sports Exerc**, v.35, p.1626-1630, 2003.

BENEKE, R., SLHWART. V., LEITRNUISEFR, R. et al. Maximal lactate steady state in children. **Pediatr Exerc Sci**, v.8, p.328-336, 1996.

BENEKE, R., VON DUVILARD, S.P. Determination of maximal lactate steady state response in selected sports events. **Med Sci Sports Exerc**, v.28, p.241-246, 1996.

BERGMAN, B.C., WOLFEL, E.E., BUTTERFIELD, G.E., et al. Active muscle and whole body lactate kinetics after endurance training in men. **J Appl Physiol**, v.87, p.1684-1696, 1999.

BILLAT, V.L., SIRVENT, P., KORALSZTEIN, G. et al. The concept of maximal lactate steady state. **Sports Med**, v.33, p.407-426, 2003.

BOGDANIS, G.C., NEVILL, M.E., BOOBIS, L.H. et al. Recovery of power output and muscle metabolites following 30 s of maximal sprint cycling in man. **J Physiol**, v.482, p.467-80, 1995.

BONEN, A. The expression of lactate transporters (MCT1 and MCT4) in heart and muscle. **Eur J Appl Physiol**, v.86, p.6-11, 2001.

BONEN, A., MCDERMOTT, J.C., TAN, M.H. Glycogenesis and glyconeogenesis in skeletal muscle: effects of pH and hormones. **Am J Physiol**, v.258, p.693–700, 1990.

BROOKS, G.A. **Circulation, Respiration and Metabolism: Current Comparative Approaches**. In: Gilles, R. (ed), p. 208–218, Springer-Verlag, Berlin, 1985.

BROOKS, G.A. Intra- and extra-cellular lactate shuttles. **Med Sci Sports Exerc**. V.32, p.790-799, 2000.

BROOKS, G.A. Lactate production under fully aerobic conditions: the lactate shuttle during rest and exercise. **Fed Proc**, v.45, p.2924–2929, 1986.

BROOKS, G.A. Lactate shuttle - between but not within cells? **J Physiol**, v.1, p.333-334, 2002.

BROOKS, G.A., BUTTERFIELD, G.E., WOLFE, R.R. et al. Current concepts in lactate exchange. **J Appl Physiol**, v.71, p.333-341, 1991.

BROOKS, G.A., WOLFEL, E.E., GROVES, B.M. et al. Muscle accounts for glucose disposal but not blood lactate appearance during exercise after acclimatization to 4,300 m. **J Appl Physiol**, v.72, p.2435-2445, 1992.

CAPUTO, F., OLIVEIRA, M.F.M., DENADAI B.S. et al. Fatores intrínsecos do custo energético da locomoção durante a natação. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v.12, p.399-404, 2006.

CHATARD, J.C., LAVOIE, J.M., LACOUR, J.R. Analysis of determinants of swimming economy in front crawl. **Eur J Appl Physiol**, v.61, p.88–92, 1990.

CHATHAM, J.C., FORDER, J.R. Lactic acid and protein interactions: implications for the NMR visibility of lactate in biological systems. **Biochim Biophys Acta**, v.4, p.177-184, 1999.

CHOLLET, D., PELAYO, P., DELAPLACE, C. et al. Stroking characteristic variations in the 100-M freestyle for male swimmers of differing skill. **Percept Mot Skills**, v.85, p.167-177, 1997.

CONNETT, R.J., GAYESKI, T.E.J., HONIG, C. R. Lactate accumulation in fully aerobic, working, dog gracilis muscle. **Am J Physiol**, v.246, p.120–128, 1984.

COSTILL, D., KOVALESKI, J., PORTER, D. et al. Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle distance events. **Int J Sports Med**, v.6, p.266-270, 1985.

CRAIG, A.B.JR., PENDERGAST, D.R. Relationships of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. **Med Sci Sports**, v.11, p.278-283, 1987.

DEKERLE, J., NESI, X., LEFEVRE, T. et al. Stroking parameters in front crawl swimming and maximal lactate steady state speed. **Int J Sports Med**, v.26, p.53-58, 2005b.

DEKERLE, J., PELAYO, P., CLIPET, B. et al. Critical swimming speed does not represent the speed at maximal lactate steady state. **Int J Sports Med**, v.26, p.524-530, 2005a.

DENADAI, B. S. **Índices fisiológicos de avaliação aeróbia: conceitos e aplicações**. Ribeirão Preto, SP: BSD, 1999.

DENADAI, B.S., FIGUERA, T.R., FAVARO, O.R. et al. Effect of the aerobic capacity on the validity of the anaerobic threshold for determination of the maximal lactate steady state in cycling. **Braz J Med Biol Res**, v.37, p.1551-1556, 2004.

DONOVAN, C. M., BROOKS, G.A. Endurance training affects lactate clearance, not lactate production. **Am J Physiol**, v.244, p.83-92, 1983.

DONOVAN, C.M., PAGLIASSOTTI, M.J. Enhanced efficiency of lactate removal after endurance training. **J Appl Physiol**, v.68, p.1053-1058, 1990.

DONOVAN, C.M., PAGLIASSOTTI, M.J. Quantitative assessment of pathways for lactate disposal in skeletal muscle fiber types. **Med Sci Sports Exerc**, v.32, p.772-777, 2000.

FIGUEIRA, T.R., CAPUTO, F., PELARIGO, J.G., DENADAI, B.S. Influence of exercise mode and maximal lactate-steady-state concentration on the validity of OBLA to predict maximal lactate-steady-state in active individuals. **J Sci Med Sport**. Jun 4, doi:10.1016/j.jsams.2007.02.016, 2007.

FITTS, R.H., KIM, D.H., WITZMANN, F.A. The development of fatigue during high intensity and endurance exercise. In: NAGLE, F.J., MONTOYE, H.J. (Eds.) **Exercise in health and disease**. Springfield, IL: Charles C. Thomas, p.118-135, 1981.

FOX, E.L., BOWERS, R.W., FOSS, M.L. **The physiological basis for exercise and sport**. Dubuque, Wm. C. Brown Communications, 1993.

GAITANOS, G.C., WILLIAMS, C., BOOBIS, L.H. et al. Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. **J Appl Physiol**, v.75, p.712-719, 1993.

GASTIN, P.B. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. **Sports Med**, v.31, p.725-741, 2001.

GLADDEN, L.B. **Lactate transport and exchange during exercise**. In: ROWELL, L.B., SHEPHERD, D.J.T. (eds.). **Handbook of physiology**. Section 12: exercise: regulation and integration of multiple systems. New york: oxford university press, p.614-648, 1996.

GLADDEN, L.B. Muscle as a consumer of lactate. *Med Sci Sports Exerc*, V.32, p.764 – 771, 2000.

GLADDEN, L.B. Net lactate uptake during progressive steady-level contractions in canine skeletal muscle. *J Appl Physiol*, v.71, p.514–520, 1991.

GLADDEN, L.B., CRAWFORD, R.E., WEBSTER, M.J. Effect of lactate concentration and metabolic rate on net lactate uptake by canine skeletal muscle. *Am J Physiol*, v. 266, p. 1095–1101, 1994.

LAMB, G.D., STEPHENSON, D.G. Point: lactic acid accumulation is an advantage during muscle activity. *J Appl Physiol*, v. 100, p. 1410-1412, 2006.

GUEDES, D.P., GUEDES, J.E.R.P. **Controle do peso corporal: composição corporal, atividade física e nutrição**. Londrina, PR: Midiograf, 1998.

HALESTRAP, A.P., PRICE, N.T. The proton-linked monocarboxylate transporter (MCT) family: structure, function and regulation. *Biochem J*, v.15, p.281-299, 1999.

HECK, H. Laktat in der Leistungsdiagnostik (Lactate in performance testing). **Wiissenschaftlirrtle SchrUftenreihe des dleutscr/en Sportbindes**. Schorndorf: Verlag Karl Hoffman, p.172-177, 1990.

HECK, H., MADER, A., HESS, G. et al. Justification of the 4mmol/l lactate threshold. *Int J Sports Med*, v.6, p.117-130, 1985.

HULTMAN, E.M., BERGSTRÖM, M., SPRIET, L.L., et al. Energy metabolism and fatigue. In: TAYLOR, A.W., (ed). **Biochemistry of exercise VII: international series on sport sciences**. Champaign (IL): Human Kinetics, p.73-92, 1990.

HUOT-MARCHAND, F., NESI, X., SIDNEY, M. et al. Variations of stroking parameters associated with 200 m competitive performance improvement in top-standard front crawl swimmers. *Sports Biomech*, v.41, p.89-99, 2005.

IDE, K., SECHER, N.H. Cerebral blood flow and metabolism during exercise. *Prog Neurobiol*, v.61, p.397-414, 2000.

JACOBS, I., BAR-OR, O., KARLSSON, J. et al. Changes in muscle metabolites in females with 30-s exhaustive exercise. *Med Sci Sports Exerc*, v.14, p.457-460, 1982.

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

JONES, A.M., DOUST, J.H. The validity of the lactate minimum test for determination of the maximal lactate steady state. *Med Sci Sports Exerc*, v.30, p.1304-1313, 1998.

JUEL, C. Current aspects of lactate exchange: lactate/H⁺ transport in human skeletal muscle *Eur J Appl Physiol*, v.86, p.12-16, 2001.

KATZ, A., SAHLIN, K. Role of oxygen in regulation of glycolysis and lactate production in human skeletal muscle. **Exerc Sport Sci Rev**, v.18, p.1-28, 1990.

KOLMOGOROV, S.V., DUPLISCHEVA, O.A. Active drag, useful mechanical power output and hydrodynamic force coefficient in different swimming strokes at maximal velocity. **J Biomech**, v.25, p.311-318, 1992.

KRUISTRUP, P., FERGUSON, R.A., KJAER, M., et al. ATP and heat production in human skeletal muscle during dynamic exercise: higher efficiency of anaerobic than aerobic ATP resynthesis. **J Physiol**, v.549, p.255-269, 2003.

LACOUR, J.R., PADILLA-MAGUNACELAYA, S., CHATARD, J.C., et al. Assessment of running velocity at maximal oxygen uptake. **Eur J Appl Physiol**, v.62, p.77-82, 1991.

LAMB, D.R. Basic principles for improving sport performance. **GSSI Sports Sci Exch**, v.8, n.2, p.1-6, 1995.

LEPERS, R., HAUSSWIRTH, C., MAFFIULETTI, N., et al. Evidence of neuromuscular fatigue after prolonged cycling exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v.32, p.1880-1886, 2000.

MADER, A., HECK, H. A theory of the metabolic origin of ‘‘anaerobic threshold’’. **Int J Sports Med**, v.7, p.45-65, 1986.

MATTERN, C.O., GUTILLA, M.J., BRIGHT, D.L. et al. Maximal lactate steady state declines during the aging process. **J Appl Physiol**, v.95, p.2576-2582, 2003.

MAUGHAN, R.J., GLEESON, M., GREENHAFF, P.L. **Biochemistry of exercise and training**. Oxford: Oxford University Press, 1997.

MCARDLE, W.D., KATCH, F.I., KATCH, V.L. **Essentials of exercise physiology**. Philadelphia, Williams and Wilkins, 2000.

MEDBO, J.I., MOHN, A., TABATA, I., et al. Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit. **J Appl Physiol**, v.64, p.50-60, 1988.

MEDBO, J.I., TABATA, I. Relative importance of aerobic and anaerobic energy release during short-lasting exhausting bicycle exercise. **J Appl Physiol**, v.67, p.1881-1886, 1989.

MIZOCK, B.A., FALK, J.L. Lactic acidosis in critical illness. **Crit Care Med**, v.20, p.80-93, 1992.

MORITANI, T., TANAKA, H., YOSHIDA, T., et al. Relationship between myoelectric signals and blood lactate during incremental forearm exercise. **Am J Phys Med**, v.63, p.122-132, 1984.

NEWSHOLME, E.A., START, C. **Regulation in metabolism**. London: Wiley & Sons, 1973.

NOAKES, T.D. **Lore of running. Discover the science and spirit of running**. Champaign, Human Kinetics, 1991.

NOAKES, T.D., MYBURGH, K.H., SCHALL, R. Peak treadmill running velocity during the VO₂max test predicts running performance. **J Sports Sci**, v.8, p.35-45, 1990.

O'BRIEN, B., PAYNE, W., GASTIN, P., BURGE, C. A comparison of active and passive warm ups on energy system contribution and performance in moderate heat. **Aust J Sci Med Sport**, v.29, p.106-9, 1997.

PEDERSEN, P.K., SORESENSEN, J.B., JENSEN, K. et al. Muscle fiber type distribution and nonlinear VO₂-power output relationship in cycling. **Med Sci Sports Exerc**, v.34, p.655-661, 2002.

PELAYO, P., SIDNEY, M., KHERIF, T., CHOLLET, D. TOURNY, C. Stoking characteristics in freestyle swimming and relationships with anthropometric characteristics. **J Appl Biomech**, v.12, p.197-206, 1996.

RICHARDSON, R.S., NOYSZEWSKI, E.A., LEIGH, J.S., et al. Lactate efflux from exercising human skeletal muscle: role of intracellular PO₂. **J Appl Physiol**, v.85, p.627-634, 1998.

ROUARD, A.H., SCHLEIHAUF, R.E., TROUP, J.P. Hand forces and phases in freestyle stroke. In: TROUP, J.P.; HOLLANDER, A.P.; STRASSE, D. et al. **Swimming Science VII**, (Eds.) London: E & FN Spon, p.35-44, 1996.

SALTIN, B. Anaerobic capacity: past, present, and future. In: TAYLOR, A.W., (editor). **Biochemistry of exercise VII: international series on sport sciences**. Champaign (IL): Human Kinetics, p.387-412, 1990.

SALTIN, B., GOLLNICK, P.D. Skeletal muscle adaptability: significance for metabolism and performance. In: PEACHEY, L.D., ADRIAN, R., GEIGER, S.R. (ed). **Handbook of physiology**. Baltimore (MD): Williams & Wilkins, p.555-631, 1983.

SEIFERT, L., BOULESTEIX, L., CJOLLET, D. Effect of gender on the adaptation of arm coordination in front crawl. **Int J Sports Med**, v.25, p.217-223, 2004.

SIRI, W.E. Body composition from fluid and density: analysis of methods. In: BROZEK, J., HERSCHEL, A. **Techniques for Measuring Body Composition**, (Eds.) Washington, DC: National Academy of Sciences, National Research Council, p.233-244, 1961.

SMITH, D.J., NORRIS, S.R., HOGG, J.M. Performance evaluation of swimmers: scientific tools. **Sports Med**, v.32, p.539-554, 2002.

SPENCER, M.R., GASTIN, P.B. Energy system contribution during 200 to 1500m running in highly trained athletes. **Med Sci Sports Exerc**, v.33, p.157-62, 2001.

SPRIET, L.L. Anaerobic metabolism during high-intensity exercise. In: HARGREAVES M. (ed). **Exercise metabolism**. Champaign, Human Kinetics, 1995.
STAINSBY, W.N., BROOKS, G.A. Control of lactic acid metabolism in contracting muscles and during exercise. **Exerc Sport Sci Rev**, v.18, p.29-63, 1990.

STANLEY, W. C., GERTZ, E.W., WISNESKI, J. A., et al. Lactate extraction during net lactate release in legs of humans during exercise. **J Appl Physiol**, v.60, p.1116-1120, 1986.

STANLEY, W.C. Myocardial lactate metabolism during exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v.23, p.920-924, 1991.

TOUSSAINT, H.M. Differences in propelling efficiency between competitive and triathlon swimmers. **Med Sci Sports Exerc**, v.22, p.409-15, 1990.

TOUSSAINT, H.M., BEEK, J.P. Biomechanics of competitive front crawl swimming. **Sports Medicine**, v.13, p.8-24, 1992.

TOUSSAINT, H.M., HOLLANDER, A.P. Energetics of competitive swimming. Implications for training programmes. **Sports Med**, v.18, p.384-405, 1994.

VAN SCHUYLENBERGH, R., EYNDE, B.V., HESPEL, P. Prediction of sprint triathlon performance from laboratory tests. **Eur J Appl Physiol**, v.91, p.94-99, 2004.

VERCRUYSEN, F., BRISSWALTER, J., HAUSSWIRTH, C. et al. Influence of cycling cadence on subsequent running performance in triathletes. **Med Sci Sports Med**, v.34, p.530-536, 1997.

VOLLESTAD, N.K., SEJERSTED, O.M. Biochemical correlates of fatigue. **Eur J Appl Physiol**, v.57, p.336-347, 1988.

WAKAYOSHI, K., D'ACQUISTO, L.J., CAPPAERT, J.M. et al. Relationship between oxygen uptake, stroke rate and swimming velocity in competitive swimming. **Int J Sports Med**, v.16, p.19-23, 1995.

WAKAYOSHI, K., YOSHIDA, T., UDO, M. et al. Does critical swimming velocity represent exercise intensity at maximal lactate steady state? **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v.66, p.90-95, 1993.

WASSERMAN, K. The anaerobic threshold measurement to evaluate exercise performance. **Am Rev Respir Dis**, v.129, p. 35-40, 1984.

WELLS, G., DUFFIN, J., PLYLEY, M. A model of swimming economy during incremental exercise. In: BLACKWELL, J.R., SANDERS, R.H. (eds) **Abstracts Book**

of the XIXth International Symposium of Biomechanics in Sports. San Francisco: Exercise and Sport Science Department, University of San Francisco, p.127-130, 2001.

Abstract

Metabolic responses and swimming technical ability during exercise performed at the speed corresponding to maximal lactate steady state determined through continuous and intermittent protocols

The main objective of this study was to compare the speed, blood lactate concentration and technical indexes corresponding to the maximal lactate steady state obtained with continuous and intermittent protocols. Thirteen endurance swimmers and triathletes (23.8 ± 9.5 yr., 1.76 ± 0.1 m and 71.3 ± 9.8 kg) participated of this study. The athletes had at least 3 years of experience in swimming. The individuals performed in different days, the following tests: 1) Maximal performance tests of 400 m; 2) Progressive test until exhaustion to determine the anaerobic threshold (AT); 3) 2 to 4 30-min repetitions in different intensities, to determine continuous maximal lactate steady state (MLSSC), and; 4) 2 to 4 trials of 12 x 150 s with 30 s of rest (5:1) at different intensities, to determine the intermittent maximal lactate steady state (MLSSI). The AT was determined through linear interpolation between the speed and blood lactate concentration, considering a fixed blood lactate value of 3.5 mM. The criterion for the determination of MLSSC and MLSSI was an increase lower or equal to 1 mM of lactate between tenth and thirty min of exercise. Technical indexes stroke rate (SR), stroke length (SL) and stroke index (SI) were determined in all tests. The TB was calculated through film using the time to perform five complete stroke cycles. The CB was calculated through the quotient between the speed and SR. The SI was determined by the product of the speed and SL. The speed (1.17 ± 0.08 m.s⁻¹) corresponding to MLSSI

were significantly higher than MLSSC ($1.13 \pm 0.08 \text{ m.s}^{-1}$). However, the [La] ($4.3 \pm 1.5 \text{ mM}$ and $4.3 \pm 1.1 \text{ mM}$, respectively) and HR ($170 \pm 10 \text{ bpm}$ and $167 \pm 7 \text{ bpm}$, respectively) were similar in both conditions. The SL presented a significant reduction during the tests irrespectively of the intensity (MLSS and 102.5%MLSS) and exercise type (continuous and intermittent), however the values were similar when comparing the different conditions of intensity and exercise type. There was a significant increase of SR when comparing the exercise intensity corresponding to MLSS with 102.5%MLSS, in both conditions (continuous and intermittent). Moreover, SR values at MLSSI and 102.5%MLSSI were significantly higher than that obtained during continuous tests. There was no significant difference in SI between the exercise intensities and exercise types utilized in this study. However, there was a significant reduction in this index during the tests in all conditions. With base on these data, we can conclude that, during an intermittent exercise, it is possible to swim at higher intensity than maximal lactate steady state determined through a continuous protocol, with metabolic equilibrium. However, there was technical compromise during long duration tests irrespectively of the exercise type. Moreover, similar to other conditions of exercise intensity and duration, the increase of the swim velocity seems to be proportionated by the increase in SR.

Keywords: swimming, technical indexes, maximal lactate steady state.

ANEXO I

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.

Procedimentos

Inicialmente, serão mensuradas as variáveis antropométricas: massa corporal (kg), estatura (cm), envergadura (cm), dobras cutâneas (tríceps braquial, suprailíaca e abdominal), percentual de gordura corporal (%), para a determinação da composição corporal.

Também serão realizados em diferentes dias os seguintes testes:

- 1)** um tiro máximo na distância de 400 m,
- 2)** um teste incremental, composto por 8 repetições na distância de 200 metros. A velocidade inicial será 21% acima da v400, com diminuições de 3% na velocidade a cada repetição, sendo a última repetição máxima. Após cada estágio será realizada uma pausa de 30 segundos na qual o indivíduo se posicionou em cima de uma plataforma para coleta de 25 µl de sangue do lóbulo da orelha.
- 3)** 2 a 4 repetições com duração de 30 minutos em diferentes intensidades e com a velocidade constante para a determinação da intensidade de exercício na qual o lactato sanguíneo permanece constante (máxima fase estável de lactato sanguíneo - MLSSC). A primeira tentativa será 88% da v 400, as demais terão aumentos ou reduções de 2,5% na velocidade. No 10º minuto e ao final do teste, 25 µl de sangue serão coletados do lóbulo da orelha.
- 4)** 2 a 4 repetições de 12 x 2'30" em diferentes intensidades e com a velocidade constante, para a determinação da máxima fase estável de lactato sanguíneo em exercício intermitente. A primeira tentativa será 5% da velocidade de MLSSC, as demais terão aumentos ou reduções de 2,5% na velocidade. Também serão feitas coletas de 25 µl de sangue serão coletados do lóbulo da orelha no 10º minuto e ao final do teste.

A frequência cardíaca será monitorada durante todos os testes.

Todos os testes serão filmados e realizados em uma piscina de 25m.

Os indivíduos que concordarem em participar dos testes acima descritos deverão comparecer ao local do teste, com um intervalo entre os testes de um a três dias, sem que se tenha realizado um treinamento exaustivo no dia anterior à avaliação e deverão comparecer alimentados e hidratados no dia do teste.

Direitos da pessoa submetida aos testes

Toda pessoa submetida aos testes terá acesso aos seus dados, assim como aos resultados finais. Nenhum resultado será divulgado ou levado ao conhecimento de pessoas estranhas ao

Laboratório de Avaliação da Performance Humana, sem a autorização expressa do sujeito submetido ao teste.

Todo participante poderá abandonar os testes a qualquer momento, sem prestar qualquer tipo de esclarecimento, mas devendo comunicar sua decisão ao responsável dos testes o quanto antes.

Os resultados dos testes poderão ser utilizados para pesquisa, sendo assegurado o anonimato do sujeito, desde que autorizado expressamente neste termo de consentimento.

RISCOS DOS TESTES

Os riscos pertinentes ao protocolo são aqueles inerentes a qualquer prática de exercícios extenuantes. Estes riscos podem ser esclarecidos a qualquer momento pelo responsável dos testes.

Eu, _____, portador do RG nº _____ e CPF nº: _____ tenho ciência dos meus direitos e deveres, concordando em me submeter a este teste. Desta forma, autorizo a utilização dos dados deste teste para fins de pesquisa do Laboratório de Avaliação da Performance Humana - UNESP - Rio Claro, bem como a divulgação de seus resultados através de qualquer meio de divulgação, desde que seja assegurado o anonimato.

Rio Claro, ____/____/____

(assinatura do atleta/ ou responsável)

ANEXOS II

TABELA 5. Valores individuais da velocidade (v), percentual da velocidade máxima de 400m (%v400), concentração de lactato sanguíneo obtidos no 10^o ([La]10) e 30^o min ([La]30) e frequência cardíaca média (FC_{média}) do teste para a determinação da máxima fase estável de lactato contínua (MLSSC).

MLSSC	v (m.s ⁻¹)	%v400	[La]10 (mM)	[La]30 (mM)	FC _{média} (bpm)
1	1,28	89	1,92	2,37	165
2	1,25	89	2,49	2,64	-
3	1,20	92	3,81	4,59	173
4	1,19	87	2,79	3,48	166
5	1,20	87	5,46	5,16	179
6	1,08	88	5,43	6,24	161
7	1,08	86	5,7	6,12	152
8	1,06	84	3,75	3,48	
9	1,06	87	5,64	6,42	172
10	1,05	87	4,83	3,96	169
11	1,11	88	4,86	5,49	186
12	1,15	87	4,48	5,04	185
13	1,01	84	3,18	4,14	160

TABELA 6. Valores individuais da velocidade (v), percentual da velocidade máxima de 400m (%v400), concentração de lactato sanguíneo obtidos no 10^o ([La]10) e 30^o min ([La]30) e frequência cardíaca média (FC_{média}) do teste para a determinação da máxima fase estável de lactato intermitente (MLSSI).

MLSSI	v (m.s ⁻¹)	%v400	[La]10 (mM)	[La]30 (mM)	FC _{média} (bpm)
1	1,29	89	1,8	1,65	164
2	1,32	94	4,92	4,86	171
3	1,26	96	4,05	4,65	175
4	1,24	91	3,57	3,66	168
5	1,23	89	5,73	5,31	160
6	1,12	92	4,59	5,34	158
7	1,14	90	5,88	5,7	154
8	1,08	86	2,91	2,76	171
9	1,07	88	4,65	4,62	169
10	1,09	90	3,57	3,54	177
11	1,15	91	4,41	4,53	
12	1,19	90	4,35	4,11	176
13	1,04	87	4,92	4,95	165

TABELA 7. Valores individuais da taxa de braçada (TB) e comprimento de braçada (CB) obtidos no 10° (TB10 e CB10), no 20° (TB20 e CB20) e 30° min (TB30 e CB30) do teste para a determinação da máxima fase estável de lactato contínua (MLSSC).

MLSSC	TB10 (ciclos.min ⁻¹)	TB20 (ciclos.min ⁻¹)	TB30 (ciclos.min ⁻¹)	CB10 (m.ciclo ⁻¹)	CB20 (m.ciclo ⁻¹)	CB30 (m.ciclo ⁻¹)
1	26,6	27,0	27,6	2,89	2,87	2,78
2	29,0	29,6	29,5	2,57	2,53	2,54
3	30,1	30,4	30,4	2,41	2,38	2,39
4	31,1	32,0	32,1	2,29	2,23	2,26
5	32,4	33,3	33,5	2,202	2,16	2,15
6	31,6	32,3	32,7	2,08	2,03	2,02
7	32,0	33,2	32,8	2,03	1,96	1,97
8	29,0	29,91	30,09	2,18	2,09	2,07
9	30,5	31,4	31,8	2,08	2,01	1,20
10	30,9	32,5	33,8	1,94	1,95	1,86
11	41,78	41,96	42,53	1,61	1,60	1,57
12	29,42	30,62	32,37	2,35	2,24	2,10
13	27,30	27,77	27,95	2,23	2,17	2,16

TABELA 8. Valores individuais da taxa de braçada (TB) e comprimento de braçada (CB) obtidos no 10° (TB10 e CB10), no 20° (TB20 e CB20) e 30° min (TB30 e CB30) do teste para a determinação da máxima fase estável de lactato intermitente (MLSSI).

MLSSI	TB10 (ciclos.min ⁻¹)	TB20 (ciclos.min ⁻¹)	TB30 (ciclos.min ⁻¹)	CB10 (m.ciclo ⁻¹)	CB20 (m.ciclo ⁻¹)	CB30 (m.ciclo ⁻¹)
1	27,3	27,6	27,9	2,83	2,82	2,80
2	31,9	31,6	32,0	2,47	2,48	2,43
3	32,1	32,3	32,6	2,33	2,32	2,27
4	33,6	33,8	34,6	2,21	2,20	2,16
5	33,6	33,7	34,4	2,22	2,18	2,13
6	33,0	33,7	34,5	2,04	2,00	1,96
7	35,8	36,0	36,0	1,93	1,89	1,91
8	32,13	32,93	34,35	2,20	2,19	2,08
9	31,36	32,49	33,33	2,06	1,99	1,90
10	31,86	34,33	35,21	2,07	1,93	1,89
11	40,53	41,92	41,37	1,72	1,66	1,67
12	31,61	32,38	34,23	2,28	2,22	2,09
13	28,41	28,25	29,28	2,19	2,19	2,13

TABELA 9. Valores individuais do coeficiente de variação da velocidade de nado obtido na máxima fase estável de lactato contínua (MLSSC) e intermitente (MLSSI).

Sujeito	MLSSC (%)	MLSSI (%)
1	0,76	0,36
2	0,45	0,39
3	0,58	0,34
4	0,84	0,70
5	0,58	0,48
6	0,95	0,74
7	0,52	0,26
8	0,53	0,31
9	0,54	0,64
10	0,58	0,46
11	1,09	0,49
12	0,58	0,40
13	0,67	1,01

TABELA 10. Valores individuais do coeficiente de variação do comprimento de braçada obtido na máxima fase estável de lactato contínua (MLSSC) e intermitente (MLSSI).

Sujeito	MLSSC (%)	MLSSI (%)
1	2,12	1,16
2	2,80	2,01
3	1,06	1,95
4	4,50	1,66
5	1,64	1,99
6	1,47	1,93
7	3,04	2,36
8	3,40	3,11
9	1,83	4,08
10	8,10	4,29
11	1,99	2,14
12	5,35	4,36
13	3,07	3,49