



UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA

Faculdade de Motricidade Humana

**O Estado Estacionário Máximo de Lactato em
Nadadores de Alto Rendimento**

Dissertação elaborada com vista à obtenção do Grau de Doutor no Ramo de
Motricidade Humana, na especialidade de Ciências do Desporto

Orientador: Professor Doutor Francisco José Bessone Ferreira Alves

Júri:

Presidente: Professora Doutora Maria Leonor Frazão Moniz Pereira da Silva

Vogais: Professor Doutor António José Rocha Martins da Silva

Professor Doutor José Henrique Fuentes Gomes Pereira

Professor Doutor Luís Manuel Pinto Lopes Rama

Professora Doutora Maria Helena Santa Clara Pombo Rodrigues

Professora Doutora Joana Filipa de Jesus Reis

Mário André da Cunha Espada

2013

Agradecimentos

Ao longo deste longo percurso contei com o apoio, colaboração e incentivo de um conjunto de pessoas e instituições.

Agradeço em primeiro lugar ao meu orientador, Professor Doutor Francisco Alves, pelo rigor científico, acompanhamento do meu trabalho, disponibilidade e colaboração.

À Fundação para a Ciência e Tecnologia, pela bolsa concedida (SFRH/BD/41417/2007), sem a qual a concretização deste trabalho não teria sido possível.

A todos os colegas de trabalho pelo incentivo, treinadores e atletas envolvidos nas recolhas de dados pela sua disponibilidade, empenho e generosidade.

Ao Complexo de Piscinas do Jamor, Clube Naval Setubalense, Sociedade Filarmónica União Artística Piedense e Palmela Desporto E.M. pela disponibilização das respetivas piscinas para desenvolvimento dos testes de terreno.

À Professora Doutora Joana Reis pela colaboração na recolha de dados, tratamento e discussão dos mesmos.

À Professora Doutora Veronica Vleck pelos *feedbacks* científicos a par do apoio e gentileza.

Aos colegas e amigos Adelaide Botelho, Tiago Almeida, Bernardo Espregueira, Luís Santos e Cátia Oliveira pela colaboração na recolha de dados.

Aos Mestres Maria João Valamatos e Jorge Infante pelo apoio laboratorial, principalmente no que concerne ao analisador de gases.

A todos os técnicos e treinadores de natação pura desportiva que participaram no meu percurso de formação assim como colegas de equipa que proporcionaram que esta modalidade desportiva esteja hoje presente na minha vida profissional, académica e de lazer.

À minha família, em especial à minha filha e esposa pelo apoio ao longo deste processo, compreensão e colaboração ao longo do meu percurso académico.

Abstract

Maximal lactate steady state (MLSS) is considered the most important physiological parameter characterizing aerobic capacity, it is associated to the transition between the heavy and severe intensity domains. The general objectives of the work were the verification of the relationship between MLSS and other physiological parameters characterizing of the aerobic capacity commonly associated with MLSS and deepen the physiological significance of MLSS and its relationship with performance.

In the first study we found that, although an incremental test does not provide reliable indicators of MLSS, from a practical standpoint, can be very useful for daily training. We concluded that MLSS can be determined through two or three 30-min swims at constant velocity around 90% of maximal aerobic velocity and that 85% of the performance in a maximal 200 m swim showed many close relations with that exercise intensity.

The results of the second study indicated that the critical velocity (CV) can be determined in swimming through only two maximal tests (200 and 400 m), however, it is significantly greater than the velocity associated with MLSS (MLSS_v) when determined by the distance-time relationship.

In the third study we verified that MLSS represents the limit of physiological and mechanical equilibrium. The oxygen uptake kinetics appears to be a useful tool that allows the characterization of swimmers and their training status and can be applied in swimming in order to reduce the number of tests needed to determine the MLSS_v. The swimming velocity associated with maximal oxygen uptake, which can be determined based in the central 300 m of a 400 m trial, seems to be good predictor of the performance in the 400 and 800 m in swimming.

Keywords: Swimming; Incremental Test; Lactate; Oxygen Uptake; Critical Velocity, VO₂ kinetics; Training; Swimming Economy; Athletes; Performance.

Resumo

O estado estacionário máximo de lactato (EEML) é considerado o mais importante parâmetro fisiológico caracterizador da capacidade aeróbia, está associado à transição entre os domínios da intensidade pesada e severa. Os objetivos gerais do trabalho passaram por verificar a relação entre o EEML e outros parâmetros fisiológicos caracterizadores da capacidade aeróbia de forma comum associados ao EEML e aprofundar o significado fisiológico do EEML e sua relação com o desempenho.

No primeiro estudo verificámos que, embora um teste incremental não proporcione indicadores fiáveis do EEML, do ponto de vista prático, pode ser muito útil para o treino quotidiano. Concluimos que o EEML pode ser determinado através de dois ou três testes de 30-min de nado a velocidade constante em redor dos 90% da velocidade aeróbia máxima e que os 85% do desempenho nos 200 m na natação pura desportiva (NPD) apresentaram muitas relações estreitas com essa intensidade de exercício.

Os resultados do segundo estudo indicaram que a velocidade crítica (VC) pode ser determinada na NPD através de apenas dois testes máximos (200 e 400 m), no entanto, é significativamente maior que a velocidade associada ao EEML (vEEML) quando determinada através da relação distância-tempo.

No terceiro estudo aferimos que o EEML representa o limite de equilíbrio de variáveis fisiológicas e mecânicas. A cinética do consumo de oxigénio parece ser uma ferramenta útil que permite a caracterização de nadadores e seu estado de treino, podendo ser aplicada na NPD no sentido de diminuir o número de testes necessários para determinar a vEEML. A velocidade de nado associada ao consumo máximo de oxigénio, que pode ser determinada com base nos 300 m centrais de uma prova de 400 m, parece boa preditora do desempenho nos 400 e 800 m na NPD.

Palavras-chave: Natação Pura Desportiva; Teste Incremental; Lactato; Consumo de Oxigénio; Velocidade Crítica, Cinética do VO_2 ; Treino; Economia de Nado; Atletas; Desempenho.

Índice

Capítulo I. Introdução	19
1.1 Enquadramento do problema da tese	20
1.2 Objetivos da tese	24
1.3 Estrutura da tese	26
Capítulo II. Revisão da literatura	28
2.1 O estado estacionário máximo de lactato.....	29
2.1.1 Relação do EEML com o padrão motor do exercício.....	33
2.1.2 Relação do EEML com variáveis de nado e parâmetros fisiológicos.....	35
2.1.2.1 Parâmetros do ciclo gestual.....	35
2.1.2.2 Frequência cardíaca.....	38
2.1.2.3. Percepção subjetiva de esforço	40
2.2 Relação entre limiar láctico e o EEML.....	41
2.3 Relação entre a velocidade crítica e o EEML	45
2.4 Relação entre o consumo de oxigénio e o EEML	50
2.5 Relação entre a cinética do VO_2 e o EEML.....	55
2.5.2 Implicações fisiológicas da constante de tempo da componente primária	61
2.5.3 Cinética do VO_2 , modalidade de exercício e posição corporal.....	64
Capítulo III. Descrição dos estudos	67
3.1 Introduções.....	68
Capítulo IV. Metodologia	80
4.1 Estudo 1.....	81
4.2 Estudo 2.....	82
4.3 Estudo 3.....	83
4.4 Procedimentos transversais a todos os estudos	84
Capítulo V. Resultados	91
5.1 Estudo 1.....	92
5.2 Estudo 2.....	96
5.3 Estudo 3.....	100
Capítulo VI. Discussão dos resultados	107

6.1 Estudo 1.....	108
6.2 Estudo 2.....	114
6.3 Estudo 3.....	118
Capítulo VII. Conclusões.....	125
Capítulo VIII. Referências bibliográficas	129

Índice de Figuras

Figura 1. Regressão linear da vEEML sobre a vLL_{D-max} e $vLL_{log-log}$	93
Figura 2. Metodologia Bland-Altman evidenciando a bias e limites de concordância entre Vmax e VAM.....	94
Figura 3. Regressão linear da $VC_{200-400}$ sobre $VC_{200-400-800}$ e $VC_{100-200-400-800}$	97
Figura 4. Método Bland-Altman mostrando a bias e os limites de concordância entre $VC_{200-400}$, $VC_{200-400-800}$ e $VC_{100-200-400-800}$	98
Figura 5. Regressão linear da vEEML sobre VC e metodologia Bland-Altman mostrando a bias e limites de concordância entre a VC determinada a partir de 200 e 400 m e a vEEML.....	99
Figura 6. Valores médios dos parâmetros de ciclo gestual em diferentes velocidades de nado.....	102

Índice de Quadros

Quadro 1. Dados antropométricos dos indivíduos do estudo 1	81
Quadro 2. Dados antropométricos dos indivíduos do estudo 2	82
Quadro 3. Dados antropométricos dos indivíduos do estudo 3	83
Quadro 4. Valores médios e desvio padrão de todas as velocidades de nado dos diferentes conceitos.....	92
Quadro 5. Correlações entre velocidades de nado de diferentes conceitos	93
Quadro 6. Valores médios e desvio padrão de variáveis na vEEML e 85% do T ₂₀₀ durante o teste incremental	95
Quadro 7. Valores médios e desvio padrão da VAM, vEEML, VC ₂₀₀₋₄₀₀ , VC ₂₀₀₋₄₀₀₋₈₀₀ e VC ₁₀₀₋₂₀₀₋₄₀₀₋₈₀₀	96
Quadro 8. Correlações entre velocidades de nado de diferentes conceitos	97
Quadro 9. Correlações entre a capacidade de nado anaeróbio determinada através de diferentes combinações de distâncias de nado.....	99
Quadro 10. Valores médios e desvio padrão das velocidades de nado.....	100
Quadro 11. Correlações entre velocidades de nado de diferentes conceitos	101
Quadro 12. Valores médios e desvio padrão do VO ₂ associado a diferentes conceitos fisiológicos e em redor da vEEML e relação percentual relativamente ao VO _{2max}	101
Quadro 13. Valores médios e desvio padrão de variáveis abaixo, acima e na vEEML	102
Quadro 14. Valores médios e desvio padrão dos parâmetros da cinética do VO ₂ nas transições de repouso para 97.5% e 102.5% da vEEML	103

Abreviaturas e símbolos

A_{cl} - Amplitude da componente lenta da cinética do consumo de oxigénio

A'_{cl} - Componente lenta relevante

ADP - Adenosina difosfato

ATP - Adenosina trifosfato

A_p - Amplitude da primeira fase da cinética do consumo de oxigénio

A_{cl} - Amplitude da segunda fase/componente lenta da cinética do consumo de oxigénio

A_2 - Amplitude da componente lenta do consumo de oxigénio

bat.min⁻¹ - Batimentos por minuto

Bias - Valor médio das médias das diferenças

BxB - *Breath-by-breath (respiração por respiração)*

CK - Creatina quinase

$clVO_2$ - Componente lenta do consumo de oxigénio

CNA - Capacidade de nado anaeróbio

CO₂ - Dióxido de carbono

Cr - Creatina

CTA - Capacidade de trabalho anaeróbio

d - Distância

DC - Distância de ciclo

D_{d-t} - Declive da relação distância/tempo

$d-t$ - Relação distância/tempo

EEML - Estado estacionário máximo de lactato

et al. - e colaboradores

FC - Frequência cardíaca

FC_{max} - Frequência cardíaca máxima

FG - Frequência gestual

H⁺ - Hidrogénio

ISD - *Individual snorkel delay (atraso individual do snorkel)*

Lan - Limiar anaeróbio

LL - Limiar láctico
LL_{log-log} - Limiar láctico determinado através da metodologia log-log
LL_{D-max} - Limiar láctico determinado através da metodologia D-max
LV - Limiar ventilatório
LV₁ - Primeiro limiar ventilatório
LV₂ - Segundo limiar ventilatório
l.min⁻¹ - Litros por minuto
mmol.L⁻¹ - Milimoles por litro de sangue
m.s⁻¹ - Metros por segundo
NADH - Nicotinamida adenina dinucleótido
NPD - Natação pura desportiva
O₂ - Oxigénio
PC - Potência crítica
PCR - Ponto de compensação respiratório
PSE - Perceção subjetiva de esforço
PVL - Ponto de viragem do lactato
r - Coeficiente de correlação de *Pearson*
r² - Coeficiente de determinação
SEE - *Standard error of the estimate (erro padrão da estimativa)*
s - Segundos
t - Tempo
Td_p - Tempo de atraso da fase primária do consumo de oxigénio
Td_{sc} - Tempo de atraso da componente lenta do consumo de oxigénio
Tlim - Tempo até limite
T₂₀₀ - Registo cronométrico nos 200 m crol
T₄₀₀ - Registo cronométrico nos 400 m crol
T₈₀₀ - Registo cronométrico nos 800 m crol
VAM - Velocidade aeróbia máxima
VC - Velocidade crítica
VCO₂ - Volume de dióxido de carbono expirado

V_E - Ventilação pulmonar
 v_{EEML} - Velocidade no estado estacionário máximo de lactato
 v_{LL} - Velocidade no limiar láctico
 v_{LV} - Velocidade no limiar ventilatório
 v_{LV_1} - Velocidade no primeiro limiar ventilatório
 v_{LV_2} - Velocidade no segundo limiar ventilatório
 V_N - Velocidade de nado
 V_{max} - Velocidade máxima de nado
 VO_2 - Consumo de oxigénio
 VO_{2max} - Consumo máximo de oxigénio
 vVO_{2max} - Velocidade no consumo máximo de oxigénio
 V_4 - Velocidade a uma concentração de lactato sanguíneo de 4 mmol.L^{-1}
 x - Valor da abcissa
 y - Valor da ordenada
% - Por cento
 $(a-v)O_2$ - Diferença artériavenosa em oxigénio
 $[La^-]$ - Concentração de lactato sanguíneo
- Constante temporal
 p - Constante temporal da fase primária do consumo de oxigénio
 c_l - Constante temporal da componente lenta do consumo de oxigénio
~ - Semelhante

Capítulo I. Introdução

1.1 Enquadramento do problema da tese

A natação pura desportiva (NPD) apresenta um longo historial e é presentemente um dos maiores desportos olímpicos com dezasseis provas competitivas em cada género. Diversos aspetos separam a NPD da maioria dos outros desportos tais como (i) a posição corporal; (ii) utilização simultânea dos braços e pernas para propulsão; (iii) imersão na água (pressão hidrostática na zona torácica e controle respiratório); (iv) força propulsiva é aplicada contra um elemento flutuante; e (v) influência mínima do equipamento no desempenho (Aspenes e Karlsen, 2012).

Afirma-se como um desporto que está a receber muita atenção e interesse dos investigadores na tentativa de estabelecer melhores processos de treinos, avaliação de necessidades metabólicas e biomecânicas (Zacca *et al.*, 2010). Também a determinação de concentrações de lactato no sangue ($[La^-]$) revela-se como um instrumento bastante utilizado por treinadores e investigadores para definir intensidades de treino.

A acumulação significativa deste metabolito induz falhas na homeostasia conduzindo diretamente ao término do exercício (Baron *et al.*, 2008). Foi previamente comprovado que a relação entre $[La^-]$ e velocidade de nado (VN) é importante no acesso ao desempenho na NPD (Bonifazi *et al.*, 1993; Simon, 1997; Anderson *et al.*, 2006).

Os domínios de intensidade moderada, pesada e severa estão tradicionalmente descritos por autores como Whipp e Ward (1982), Gaesser e Poole (1996) e Xu e Rhodes (1999). No domínio da intensidade moderada não decorre uma significativa acidose metabólica e torna-se possível manter o desempenho por um longo período de tempo sem o alcance da fadiga (Wasserman *et al.*, 1973; Whipp e Ward, 1982; Burnley e Jones 2007).

Por definição, o domínio da intensidade pesada inclui as intensidades de exercício entre o limiar láctico (LL) e limiar ventilatório (LV) e a assíntota da curva potência/duração, a potência crítica (PC) (Monod e Scherer, 1965; Poole *et al.*, 1988; Hill *et al.*, 2003). Foi anteriormente referido que o limite superior deste domínio corresponde ao estado

estacionário máximo de lactato (EEML) (Smith e Jones, 2001; Pringle e Jones, 2002) e geralmente ocorre a ~50% (corresponde à diferença entre LL ou LV e velocidade no consumo máximo de oxigénio - $v\text{VO}_{2\text{max}}$) (Carter *et al.*, 2000; Demarie *et al.*, 2001).

O EEML tem sido considerado o melhor indicador de capacidade para exercícios aeróbios (Jones e Carter, 2000) e a intensidade de exercício associada ao EEML pode representar o “*gold standard*” para manter e melhorar a capacidade aeróbia (Baron *et al.*, 2003) e também a técnica de nado (Dekerle *et al.*, 2005a, Pelayo *et al.*, 2007; Pelarigo *et al.*, 2011; Oliveira *et al.*, 2011).

Determinação de curvas de lactato tem sido um procedimento aplicado em testes e no treino de nadadores (Pyne *et al.*, 2001; Toubekis *et al.*, 2006), contudo, os testes realizados diretamente na piscina no âmbito da NPD são manifestamente reduzidos comparativamente a testes desenvolvidos em outros desportos como o ciclismo ou atletismo. Diversos estudos demonstraram que a $[\text{La}^-]$ em resposta a um teste de intensidade progressiva (teste incremental) encontra-se altamente correlacionada com o desempenho aeróbio (Weltman, 1995), e a VN associada a uma $[\text{La}^-]$ de 4 mmol.L^{-1} (V_4) e o LL são de forma geral considerados como bons substitutos do EEML (Heck *et al.*, 1985; Beneke, 1995).

No entanto, segundo diversos autores (por exemplo Jones e Doust, 2001; Kilding e Jones, 2005; Beneke *et al.*, 2011) estes métodos raramente têm sido validados relativamente ao método tradicional de determinação do EEML que requer repetições de 30-min de exercício realizadas em diferentes intensidades de exercício e muitos têm proporcionado pobres estimativas do verdadeiro EEML (Kilding e Jones, 2005).

Hauser *et al.* (2012) transmitiram que o LL pode ser identificado através de diferentes conceitos associados à $[\text{La}^-]$ e permite uma aproximação ao EEML, já Morton *et al.* (2012) salientaram que o método D-max (onde o LL é definido como o ponto relativo à maior distância entre a reta desenhada através do ponto inicial e final da curva de lactato) para determinação do LL revela-se, e é recomendado como, o único marcador de $[\text{La}^-]$ com boa reprodutibilidade. Acrescentaram que pode ser utilizado com

confiança na avaliação dos domínios de intensidade do exercício ou mudanças de estado fisiológico e indicaram ainda que a maioria das outras formas comuns de determinação do LL não são suficientemente reprodutíveis de indicadores de confiança.

Diversos estudos referiram que a velocidade crítica (VC) não é similar à vEEML na NPD (Martin e Whyte, 2000; Rodríguez *et al.*, 2003; Dekerle *et al.*, 2005b). O mesmo tem sido igualmente apontado para a corrida e ciclismo (Smith e Jones, 2001; Pringle e Jones, 2002).

O modelo de dois parâmetros, distância/tempo ($d-t$), pode ser útil numa perspetiva de aplicação prática e proporciona um meio simples de analisar o perfil de potencial fisiológico de nadadores (di Prampero *et al.*, 2008), contudo, Capelli *et al.* (1998) demonstraram que o custo energético na NPD não aumenta exponencialmente e de forma concomitante com o aumento da VN o que leva a uma distorção da relação $d-t$ apresentando-se este como o motivo mais plausível para o facto de a VC, determinada com base nesta relação, sobrestimar a vEEML.

O exercício realizado em diferentes domínios de intensidade mas a intensidade constante induz diferentes respostas ventilatórias e metabólicas (Xu e Rhodes, 1999; Whipp e Rossiter, 2005; Burnley e Jones, 2007). O estudo da cinética do consumo de oxigénio (VO_2) nos domínios de intensidade moderada, pesada e severa indica padrões semelhantes em diversas formas de exercício (Wilkerson *et al.*, 2004; Roberts *et al.*, 2005) e posições corporais (Koppo *et al.*, 2005; DiMenna *et al.*, 2010; Egaña *et al.*, 2010). No entanto, poucas investigações recorreram à análise de gases na NPD devido aos constrangimentos existentes relativamente aos materiais e condições práticas no terreno.

A cinética do VO_2 em resposta a um aumento da intensidade do esforço é função quer do metabolismo celular, quer da capacidade de captação, fixação e transporte do sistema respiratório e cardiovascular. No contexto do desporto, as transições de energia são bastante frequentes e, em algumas modalidades, a resposta individual inicial poderá ser

determinante para o nível de sucesso alcançado na competição (Kilding *et al.*, 2006; Ingham *et al.*, 2007; Jones e Burnley, 2009).

No passado, Barstow (1994) indicou que de acordo com a cinética do VO_2 , o EEML representa a transição entre o domínio da intensidade pesada e severa e Pessôa Filho *et al.* (2010) transmitiram que a cinética do VO_2 na NPD em redor do segundo limiar ventilatório (LV_2) promove respostas ao nível do VO_2 que refletem o domínio das intensidades pesadas e severas. Nesse sentido, os autores sugeriram a aplicação da cinética do VO_2 em detrimento da PC com o objetivo de diminuir o número de testes para acesso ao limite do domínio de intensidades.

Já Reis *et al.* (2010) indicaram que em eventos desportivos com duração entre 1 e 15-min, tal como a maioria das provas de NPD, a cinética do VO_2 parece ser um parâmetro importante e útil para os treinadores. Por exemplo constantes temporais mais reduzidas têm sido relacionadas com o aumento do tempo até à exaustão e tolerância à fadiga (Bailey *et al.*, 2009) e, conseqüentemente, é espectável que reflitam um melhor desempenho em provas que duram entre os 3 e 5-min na NPD (Reis *et al.*, 2012a).

Reis *et al.* (2012a) não encontraram diferença significativa (15.8 ± 4.8 vs. 15.8 ± 4.7 -s) entre a constante temporal da fase primária do consumo de oxigénio (τ_p) na intensidade de exercício pesada (25% $\dot{V}_{O_{2max}}$) e a τ_p na intensidade de exercício severa (70% $\dot{V}_{O_{2max}}$). Anteriormente, Klentrou e Montepetit (1991) reportaram uma correlação significativa entre o desempenho nos 400 m e a $v\dot{V}_{O_{2max}}$ e Reis *et al.* (2012a) indicaram que a $v\dot{V}_{O_{2max}}$, que é uma função tanto da economia do exercício como do consumo máximo de oxigénio ($\dot{V}_{O_{2max}}$), parece ser preditora do registo cronométrico nos 400 m crol (T_{400}).

A análise do VO_2 tem evoluído ao nível dos instrumentos e procedimentos utilizados e parece revelar-se atualmente uma ferramenta pertinente na caracterização dos atletas e de apoio ao processo do treino desportivo.

1.2 Objetivos da tese

Uma abordagem científica associada ao avanço tecnológico tem proporcionado melhores condições de prescrição, controle e avaliação do treino desportivo, situação que tem sido catalizadora de modelos mais eficazes de preparação de atletas e consequentemente, de uma constante melhoria de desempenho competitivo geral no desporto e particular na NPD onde os recordes europeus, mundiais e olímpicos têm vindo a ser superados com uma regularidade assinalável.

No âmbito das Ciências do Desporto, a investigação centrada em marcadores biológicos indutores de fadiga tem proporcionado conhecimento muito vantajoso para países, clubes, treinadores e atletas, predominantemente através de abordagens setoriais orientadas no sentido dos fatores bioenergéticos determinantes do desempenho desportivo.

A identificação e análise de parâmetros e variáveis fisiológicas apresenta duas importantes aplicações na área do treino desportivo. Podem revelar-se um apoio na fase prévia à especialização desportiva do praticante através da determinação das características individuais ótimas para potenciar o melhor desempenho em determinada modalidade ou prova desportiva e poderá afirmar-se igualmente como apoio no treino desportivo no que concerne à otimização da preparação do praticante através da prescrição, controle e avaliação do treino.

Os nadadores são frequentemente sujeitos a processos de treino exigentes que visam a concretização de determinados objetivos. Desta forma, a efetividade desses processos deve ser permanentemente verificada e para tal tem-se recorrido nas últimas décadas a vários métodos, muitos deles implicando a aplicação de protocolos com determinação de $[La^-]$. A natureza invasiva e dispendiosa destes procedimentos torna premente a necessidade de encontrar alternativas que proporcionem o aprimorar do processo de treino na NPD, modalidade desportiva em que muitas vezes o êxito é determinado ao centésimo de segundo.

Os objetivos gerais da presente tese passaram por investigar o protocolo de determinação do EEML, verificar a relação entre o EEML e outros parâmetros fisiológicos caracterizadores da capacidade aeróbia que têm vindo a ser associados ao EEML e aprofundar o significado fisiológico deste conceito fisiológico e a sua relação com o desempenho.

O objetivo do primeiro estudo foi verificar se o EEML pode ser indiretamente determinado através de um teste incremental na NPD.

As hipóteses colocadas foram: 1) A metodologia adotada para determinação do LL interfere com os valores alcançados; 2) o LL não permite determinar com rigor o EEML.

Os objetivos do estudo dois foram: 1) verificar se a VC pode ser determinada através de diferentes combinações de distâncias de nado e, 2) analisar se a vEEML pode ser indiretamente determinada através da VC.

As hipóteses equacionadas foram: 1) A VC pode ser determinada através de diferentes combinações de distâncias de nado; 2) a VC sobrestima a vEEML.

Já no terceiro estudo os nossos objetivos passaram por: 1) verificar as respostas fisiológicas e mecânicas em nadadores imediatamente abaixo e acima da vEEML e, 2) observar a relação de parâmetros da cinética do VO_2 com o desempenho na NPD.

As hipóteses formuladas foram: 1) As respostas fisiológicas e mecânicas em nadadores diferem em intensidades de exercício imediatamente abaixo e acima da vEEML; 2) existe uma relação entre os parâmetros da cinética do VO_2 e o desempenho na NPD.

1.3 Estrutura da tese

O capítulo I, Introdução, apresenta uma descrição resumida do estado da arte, atribuindo ênfase a alguns problemas ainda não resolvidos.

O capítulo II, é composto por uma Revisão da Literatura no âmbito do EEML e a sua relação com outros parâmetros fisiológicos e variáveis associadas ao nado. Apresenta igualmente resultados alcançados em estudos anteriormente desenvolvidos relacionados com o EEML no desporto, predominantemente na NPD.

No capítulo III, Descrição dos Estudos, constam as introduções dos três estudos. É realizada uma revisão da literatura específica relativamente a cada um dos três estudos e são sistematizados os objetivos e hipóteses formuladas decorrentes dos problemas identificados na revisão da literatura.

No capítulo IV, Metodologia, é efetuada uma descrição e caracterização da amostra de cada estudo desenvolvido e são retratados os métodos e procedimentos transversais a todos eles bem como os instrumentos utilizados e procedimentos estatísticos empregues.

O capítulo V contém os Resultados que são apresentados de forma concisa com o desígnio de elencar os aspetos mais importantes para a interpretação dos mesmos.

No capítulo VI está presente a Discussão dos Resultados, procede-se à sua análise e confronto com estudos realizados anteriormente no mesmo âmbito. É procurada a confirmação ou infirmação das hipóteses previamente colocadas.

O capítulo VII sumariza as Conclusões do trabalho consagrando os objetivos e hipóteses formuladas assim como as implicações práticas para o treino na NPD.

Por fim, o capítulo VIII contém as Referências Bibliográficas utilizadas no desenvolvimento do trabalho.

Capítulo II. Revisão da literatura

2.1 O estado estacionário máximo de lactato

A resposta da $[La^-]$ em relação a uma intensidade de exercício tem sido amplamente utilizada no acesso à capacidade aeróbia dos nadadores (Olbrecht *et al.*, 1985; Wakayoshi *et al.*, 1993; Dekerle *et al.*, 2005a,b; Baron *et al.*, 2005; Pelarigo *et al.*, 2011). Contudo, a grande maioria dos estudos relacionados com o EEML têm sido conduzidos em outros desportos como o ciclismo, atletismo ou remo (Mocellin *et al.*, 1991; Yamamoto *et al.*, 1991; Williams e Armstrong, 1991; Aunola e Rusko, 1992; Urhausen, 1993; Billat *et al.*, 1994, 2004; Snyder *et al.*, 1994; Beneke, 1995; Beneke e von Duvillard, 1996; Beneke *et al.*, 1996, 2000, 2001; Jones e Doust, 1998; Palmer *et al.*, 1999; Bacon e Kern, 1999; Harnish *et al.*, 2001; Smith e Jones, 2001; Pringle e Jones, 2002; Dekerle *et al.*, 2003; Baron *et al.*, 2003, 2008; Mattern *et al.*, 2003, 2007; Almarwaey *et al.*, 2004; Van Schuylenbergh *et al.*, 2004; Denadai *et al.*, 2004, 2005; Kilding e Jones, 2005; Peinado *et al.*, 2006; Laplaud *et al.*, 2006; Figueira *et al.*, 2008; Czuba *et al.*, 2009, Fontana *et al.*, 2009, Mamen *et al.*, 2009), devido, fundamentalmente, às dificuldades inerentes à condução de testes e recolha de dados em piscina.

Em repouso e durante esforços de baixa intensidade, o lactato é produzido e removido em igual proporção (Billat *et al.*, 2003). A produção, distribuição e remoção de lactato apresentam um importante papel na $[La^-]$ (Brooks, 2000). Existe alguma controvérsia relativamente às causas que provocam o aumento da $[La^-]$. Para alguns, um défice no aporte de oxigénio (O_2) aos músculos durante o exercício não parece ser o fator primário, especialmente em intensidades moderadas de exercício (Connett *et al.*, 1983). Entre outras razões, porque o ácido láctico é por si mesmo um vasodilatador e a sua acumulação aumentaria a entrega de O_2 aos músculos ativos, em segundo lugar porque o aumento de lactato afeta também a curva de dissociação da hemoglobina (Braumann *et al.*, 1982).

Já autores como Katz e Sahlin (1990) referiram que a produção de lactato durante o exercício submáximo relaciona-se com uma restrita disponibilidade de O₂ a nível mitocondrial.

A utilização periódica de mensurações de lactato é inequivocamente aceite como uma ferramenta pertinente na aferição do processo e progresso do treino desportivo (Smith *et al.*, 2002, Stavrianeas e Stephenson, 2007). Por outras palavras, o perfil da [La⁻] obtido através de protocolos de teste estandardizados tem sido utilizado por treinadores e atletas como marcador do progresso efetuado ao longo de um ciclo de treino ou como meio de determinar as intensidades do processo de treino (Mujika *et al.*, 1995; Pyne *et al.*, 2001; Anderson *et al.*, 2006). Tal como em todos os outros desportos, o treino na NPD deve ser apropriadamente específico, mesmo em jovens atletas (Marinho *et al.*, 2011).

Infelizmente, nem todos os nadadores beneficiam destes recursos no treino e os testes mais práticos são geralmente aqueles que podem ser facilmente conduzidos no ambiente de treino. Durante um exercício realizado a uma intensidade moderada e constante, existe um balanço entre a taxa de produção e remoção de lactato no sangue (Beneke e von Duvillard, 1996). O EEML é um parâmetro fisiológico muito popular, é utilizado para conceber o planeamento do treino de atletas de todas as idades, incluindo atletas *masters* (Mattern *et al.*, 2003).

Beneke (1995), referiu que o limite superior de [La⁻] que resulta num equilíbrio durante um esforço constante é definido como EEML. Corresponde à maior capacidade de trabalho que pode ser mantida no tempo sem uma contínua acumulação de lactato (Billat *et al.*, 2003). De acordo com Nader e Whipp (2000), delimita a fronteira entre os exercícios pesados e muitos pesados.

A vEEML tem sido considerada o melhor indicador de capacidade para exercícios aeróbios (Jones e Doust, 1998; Jones e Carter, 2000; Harnish *et al.*, 2001; Billat *et al.*, 2003) e foi indicada como útil na previsão do desempenho (Weltman, 1995). Para a determinação da vEEML é necessário a realização de um teste de 30-min a intensidade

constante em que a $[La^-]$ não aumente mais que 1 mmol.L^{-1} após os 10-min (Beneke, 2003).

Outros parâmetros fisiológicos têm sido associados ao EEML, nomeadamente os que resultam de um teste incremental. O LL é resultado do primeiro aumento significativo de $[La^-]$ acima dos níveis basais através da interpolação linear da velocidade e $[La^-]$ (Beaver *et al.*, 1985). Já o ponto de viragem do lactato (PVL) é definido como o segundo aumento significativo de $[La^-]$ acima do LL mas abaixo do $VO_{2\text{max}}$ (Davis *et al.*, 1983; Smith e Jones, 2001). A interpolação linear entre velocidade e $[La^-]$ permite ainda aferir a VN a que o atleta atinge a $[La^-]$ de 4 mmol.L^{-1} , denominada V_4 .

No estudo de Baron *et al.* (2005) a $v\text{EEML}$ ($1.22 \pm 0.14 \text{ m.s}^{-1}$) correspondeu a $86.5 \pm 5.1\%$ da velocidade aeróbia máxima (VAM). Já na investigação de Dekerle *et al.* (2005b), a $v\text{EEML}$ ($1.24 \pm 0.10 \text{ m.s}^{-1}$, $88.4 \pm 2.9\%$ da VAM) foi significativamente inferior à VC ($1.31 \pm 0.15 \text{ m.s}^{-1}$, $92.7 \pm 2.6\%$ da VAM) embora ambas as VN se evidenciassem correlacionadas ($r = 0.87$, $\text{SEE} = 0.033 \text{ m.s}^{-1}$, $p < 0.01$).

A $v\text{EEML}$ não indica uma intensidade de esforço mas sim o ponto acima do qual a intensidade de esforço causa alterações qualitativas no metabolismo (Beneke *et al.*, 2000). Esta situação é relevante se considerarmos que o glicogénio disponível pode ser modificado pelo treino e poderá afetar a capacidade aeróbia na $v\text{EEML}$ (Billat *et al.*, 2004).

De acordo com Mattern *et al.* (2007), a determinação do EEML em laboratório trata-se de um trabalho muito complexo e intensivo quando consideramos os equipamentos utilizados, técnicas aplicadas, espaço e necessidade temporal. Torna-se desgastante, requerendo aos atletas ou participantes no estudo a visita ao laboratório - ou outros locais de recolha de dados - em várias ocasiões no sentido de realizarem exercícios a intensidade constante durante aproximadamente 30-min.

O conceito de EEML foi previamente proposto por Margaria *et al.* (1963) utilizando 5 a 8 testes a intensidade constante para determinar o EEML. Este aspeto torna-se um

inconveniente tanto para os indivíduos testados como para os treinadores e investigadores. No sentido de evitar estas limitações, diversos métodos mais simples têm sido testados no sentido de determinar o EEML (Yamamoto *et al.*, 1991; Billat *et al.*, 1994; Beneke, 1995; Jones e Doust, 1998; Palmer *et al.*, 1999; Harnish *et al.*, 2001; Denadai *et al.*, 2004; Laplaud *et al.*, 2006; Figueira *et al.*, 2008; Czuba *et al.*, 2009). Contudo, estes métodos raramente têm sido validados relativamente ao método tradicional de determinação do EEML e muitos têm proporcionado pobres estimativas do verdadeiro EEML (Kilding e Jones, 2005).

Com o objetivo de evitar um procedimento tão prolongado, Billat *et al.* (1994) e mais tarde, Bacon e Kern (1999) validaram um protocolo que permite de imediato aceder à intensidade de exercício correspondente ao EEML utilizando apenas duas repetições submáximas de 20-min. Estas duas repetições foram efetuadas entre os 60 e os 90% da intensidade de exercício correspondente ao VO_{2max} e separadas por 40-min de repouso total.

Mais concretamente, o protocolo descrito por Billat *et al.* (1994) envolve duas repetições a intensidade de exercício constante requerendo aproximadamente 67 e 82% do VO_{2max} . Contudo, um estudo piloto na investigação de Kilding e Jones (2005) indicou que o exercício realizado a aproximadamente 82% do VO_{2max} não resulta num apreciável aumento na $[La^-]$ entre o minuto 5 e 20.

Kuipers *et al.* (2003) referiram que a vEEML pode ser estimada através da velocidade de corrida a uma $[La^-]$ de 4 mmol.L^{-1} num teste incremental com etapas de 6-min e ser verificada por um segundo protocolo progressivo com etapas de 15-min em dias separados. Esta duração de 15-min numa velocidade pré-definida, utilizada de forma a verificar o EEML, é mais reduzida do que os 30-min associados ao protocolo tradicional de determinação do EEML.

Billat (2003) referiu que o EEML apresenta uma grande variabilidade entre indivíduos (entre os 2 e os 8 mmol.L^{-1}). Este facto foi confirmado por investigações que reportaram uma $[La^-]$ próxima dos 4 mmol.L^{-1} mas com uma acentuada intervariabilidade. No

estudo de Beneke *et al.* (2000), o EEML ($4.9 \pm 1.4 \text{ mmol.L}^{-1}$) oscilou nos indivíduos testados entre 1.9 e 7.5 mmol.L^{-1} .

Já Beneke *et al.* (1996) num estudo envolvendo 34 indivíduos do género masculino (15.4 ± 2.8 anos de idade) reportaram uma $[\text{La}^-]$ média de $4.2 \pm 0.7 \text{ mmol.L}^{-1}$ com valores extremos de 2.8 - 5.5 mmol.L^{-1} , sem que estes valores variassem com a idade dos adolescentes (dos 10 aos 20 anos de idade). Beneke e von Duvillard (1996) demonstraram que o valor médio do EEML era significativamente inferior em remadores ($3.1 \pm 0.5 \text{ mmol.L}^{-1}$) comparativamente com ciclistas ($5.4 \pm 1.0 \text{ mmol.L}^{-1}$) e patinadores de velocidade ($6.6 \pm 0.9 \text{ mmol.L}^{-1}$) sugerindo que uma única $[\text{La}^-]$ (por exemplo os 4 mmol.L^{-1}) é uma abordagem irrealista.

Em exercícios realizados abaixo do EEML, uma homeostasia relativa é mantida e a ressíntese de adenosina trifosfato (ATP) tem lugar quase somente através da via aeróbia (di Prampero, 1981). Em intensidades de exercício que excedem o EEML, a $[\text{La}^-]$, ventilação pulmonar (V_E) e o VO_2 nunca atingem um equilíbrio e continuam a aumentar até o exercício terminar devido a fadiga (Roston *et al.*, 1987; Poole *et al.*, 1988).

2.1.1 Relação do EEML com o padrão motor do exercício

Beneke (2003) transmitiu que o EEML depende do padrão de solicitação motora em esforço causado por inter-relações específicas entre a produção de força por unidade de massa muscular e a massa muscular específica dos principais músculos solicitados durante o exercício. Na conclusão do seu trabalho, o autor referiu que numerosos estudos adotados para a determinação do EEML não consideraram adequadamente a cinética de $[\text{La}^-]$ durante o longo protocolo de teste utilizado.

Barbosa *et al.* (2010a), por sua vez, referiram que o desempenho na NPD está muito relacionado com o perfil energético e este, com o nível técnico dos atletas. Acrescentaram que os nadadores de alto nível são os mais económicos, já Marinho *et al.* (2009) indicaram que o nadador durante o desempenho deverá adotar a posição mais

hidrodinâmica possível. Mader e Heck (1986) referiram que a produção e remoção de lactato é determinada por fatores como o recrutamento muscular específico, padrão de coordenação intramuscular e recrutamento das fibras musculares.

Em atletas de topo, o EEML verificou-se ser diferente no ciclismo, remo e patinagem de velocidade (Beneke e von Duvillard, 1996). Os valores mais altos de EEML foram observados na patinagem de velocidade, esta constatação parece relacionar-se com o facto de esforços realizados através de pequenas massas musculares resultar em maiores taxas glicolíticas dos músculos, possivelmente através de uma maior estimulação simpatoadrenal (Ahlborg e Jensen-Urstad, 1991; Weltman *et al.*, 1994; Schneider *et al.*, 2000).

Desta forma, o nível do EEML pode estar negativamente relacionado com a massa dos músculos primários solicitados. Consequentemente, o rácio entre a massa dos músculos primários solicitados e músculos assistentes pode mediar a dinâmica do equilíbrio entre a produção e remoção de lactato e o EEML, logo, o acesso fisiológico deve ser específico em cada modalidade desportiva (Beneke e von Duvillard, 1996).

No estudo de Beneke *et al.* (2001) foi possível verificar que os valores de EEML foram menores no remo que no ciclismo. Remar resulta de uma combinação de solicitação muscular ao nível dos membros inferiores, tronco e membros superiores que representa mais de 85% do total da massa muscular. Esta especificidade muscular é consideravelmente maior que a correspondente no ciclismo, que predominantemente se resume ao trabalho dos membros inferiores.

Fatores biomecânicos podem afetar o desempenho em maior medida relativamente ao fator biológico durante a maturação (Bar-Or *et al.*, 1994) aumentando o desgaste energético em nadadores jovens e inexperientes comparativamente a atletas mais velhos e experientes (Zamparo *et al.*, 2000).

2.1.2 Relação do EEML com variáveis de nado e parâmetros fisiológicos

2.1.2.1 Parâmetros do ciclo gestual

A compreensão do comportamento da eficiência dos parâmetros do ciclo gestual e sua relação com a VN é um dos maiores pontos de interesse na investigação biomecânica da NPD competitiva (Anderson *et al.*, 2008; Barbosa *et al.*, 2008; Barden e Kell, 2009). A capacidade dos nadadores melhorarem a sua técnica de nado, particularmente no treino aeróbio, vai provavelmente determinar o sucesso no desempenho.

Hellard *et al.* (2008) referiram que em semifinais olímpicas a VN está associada a diferenças ao nível da frequência gestual (FG) e distância de ciclo (DC). Na NPD competitiva, os melhores registos cronométricos são obtidos no crol, depois na mariposa, em seguida nas costas, e por fim em bruços (Marinho *et al.*, 2011).

Recentemente, Lätt *et al.* (2010) indicaram que a variabilidade de desempenho nos 100 m crol é explicada em 90.3% por fatores biomecânicos, transmitiram ainda que é importante serem considerados os padrões específicos da técnica de nado quando se prepara jovens nadadores para o sucesso.

Costill *et al.* (1985) demonstraram claramente a importância da técnica de braçada no custo energético na NPD e subsequente influência no desempenho aeróbio. Aumentos ou diminuições na VN relacionam-se com a combinação no aumento ou diminuição da FG e DC (Craig e Pendergast 1979; Craig *et al.*, 1985; Keskinen e Komi 1993; Kjendlie *et al.*, 2006; Toussaint *et al.*, 2006).

Estudos anteriores propuseram justificações fisiológicas para a observação de alterações na economia de nado em função da VN (Wakayoshi *et al.*, 1995). Estas diferenças são determinadas por fatores como variáveis antropométricas, força muscular, condição física e economia de nado (Caputo *et al.*, 2006). Tem sido reconhecido que a eficiência biomecânica na NPD apresenta uma grande importância na economia metabólica quando comparativamente com a corrida e ciclismo.

Diversos estudos demonstraram que a eficiência durante uma intensidade de exercício constante depende da frequência gestual nos desportos cíclicos como a NPD (Swaine e Reilly, 1983; Weiss *et al.*, 1988; Pelayo *et al.*, 1996, 1998) e observações da FG e DC com o objetivo de manter a maior VN numa prova são métodos utilizados de forma comum (Craig e Pendergast 1979; Pai *et al.*, 1984; Craig *et al.*, 1985; Chollet *et al.*, 1997; Sidney *et al.*, 1999). Mais recentemente, Zamparo *et al.* (2005) transmitiram que a deterioração nos parâmetros do ciclo gestual em nadadores sobre fadiga espera-se que leve ao aumento do custo energético na NPD.

A técnica de nado desempenha um papel importante na variação do custo energético e eficiência no desempenho durante uma prova competitiva de NPD (Chatard *et al.*, 1990). FG e DC são parâmetros úteis na monitorização do nado como indicadores da técnica de nado (Craig e Pendergast, 1979; Keskinen *et al.*, 1989). Foi anteriormente reportado que a DC era o fator predominante na obtenção de uma alta VN (Keskinen *et al.*, 1989). Contudo, Chatard *et al.* (1990) descobriram que a FG afirma-se como melhor indicador da técnica de nado que a DC uma vez que explica a maior variabilidade de propulsão na NPD.

De acordo com Dekerle *et al.* (2005a), alguns resultados colocam em relevo a constatação de a combinação entre DC e FG permanecer ótima até ao EEML, aludindo ao facto de o EEML ser importante não apenas para manter e desenvolver a capacidade aeróbia, mas também, e principalmente, na realização de um trabalho técnico de qualidade. Pelarigo *et al.* (2011) e Oliveira *et al.* (2011) associaram o EEML à VN ótima para treino da técnica de nado.

É considerado que durante exercícios prolongados os músculos que originalmente evidenciam remoção de lactato no início do exercício podem passar a acumular o metabolito. O aumento da $[La^-]$ relaciona-se com o aumento da taxa de oxidação do piruvato e nicotinamida adenina dinucleótido (NADH), cofator importante que ajuda as enzimas nas tarefas que realizam em todo o organismo (Baron *et al.*, 2005). Estes factos são provavelmente encontrados durante exercícios submáximos realizados a intensidade constante (Gladden, 2000).

Em estado de fadiga, um decréscimo na VN, FG e DC foi observada (Craig e Pendergast 1979; Keskinen e Komi 1988, 1993; Marinho *et al.*, 2006). Por exemplo, durante o nado a velocidade constante, um aumento progressivo no valor da FG com uma concomitante diminuição na DC tem sido observada na manutenção de uma VN imposta (Craig *et al.*, 1985; Wakayoshi *et al.*, 1996; Dekerle *et al.*, 2005a; Alberty *et al.*, 2008, Barden e Kell, 2009; Fernandes *et al.*, 2010b). Estas adaptações têm sido atribuídas ao desenvolvimento da fadiga, um nadador cansado é gradualmente incapaz de produzir a força necessária para superar uma resistência na progressão do movimento (Alberty *et al.*, 2009).

Keskinen e Komi (1993), Wakayoshi *et al.* (1996) e Dekerle *et al.* (2005a) observaram um decréscimo na DC nos patamares acima do limiar anaeróbio (Lan). O decréscimo na DC, aparentemente, pode estar associado ao aumento da $[La^-]$ e outros metabolitos anaeróbios, como previamente observado por Keskinen e Komi (1993). Wakayoshi *et al.* (1995) reportaram uma significativa correlação entre o VO_2 e a VN ($r =$ entre 0.96 e 1, $p < 0.01$), entre o VO_2 e a FG ($r =$ entre 0.93 e 1, $p < 0.01$) e entre FG e VN ($r = 0.90$, $p < 0.05$ e $r = 0.99$, $p < 0.01$) e os indivíduos testados por Keskinen e Komi (1993) revelaram uma correlação positiva ($r = 0.86$) entre a VN e a FG.

Baron *et al.* (2005) referiram que quando os nadadores conseguem selecionar a sua própria VN, espontaneamente nadam à máxima velocidade mantida no EEML. Acrescentaram ainda que a VN selecionada pelos nadadores no seu estudo não foi significativamente diferente da vEEML e a maioria dos parâmetros mantiveram-se estáveis durante um teste de nado de 2-h realizado a uma VN escolhida pelos próprios atletas. Desta forma, segundo os autores, uma VN selecionada pelos nadadores pode ser útil na melhoria da capacidade aeróbia.

Recentemente, Oliveira *et al.* (2012) determinaram em nadadores de nível regional a vEEML através do método contínuo (repetições submáximas de 30-min) e método intermitente (12 x 150 m de repetições submáximas). A vEEML determinada através do método contínuo ($1.13 \pm 0.08 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) revelou-se significativamente inferior comparativamente à vEEML determinada através do método intermitente (1.17 ± 0.09

m.s⁻¹) enquanto que a [La⁻] foi similar em ambas as metodologias utilizadas para determinação do EEML (4.3 ± 1.1 e 4.4 ± 1.5 mmol.L⁻¹, respetivamente).

O aumento na FG e diminuição da DC foram significativos na vEEML determinada através do método intermitente, 102.5% da vEEML determinada através do método intermitente e a 102.5% da vEEML determinada através do método contínuo. Em exercício na vEEML determinada através do método contínuo, a DC também caiu significativamente (- 3.6%) mas sem alterações ao nível da FG. Para os autores, em nadadores de nível regional, as alterações ao nível dos parâmetros do ciclo gestual decorrem ao longo do tempo quando em exercício no EEML ou acima deste.

2.1.2.2 Frequência cardíaca

Atividade física regular, como por exemplo andar, mas especialmente nadar e correr, quando realizada com um volume adequado, é uma forma viável de obter benefícios a nível cardiovascular (Sieverdes *et al.*, 2011).

Estudos anteriores indicaram que a frequência cardíaca (FC) em redor dos 87% da FC máxima (FC_{max}) poderá proporcionar a intensidade de exercício no EEML para a maioria dos indivíduos (Yoshida *et al.*, 1982; Hoffmann *et al.*, 1994; Snyder *et al.*, 1994; Foster *et al.*, 1995).

No estudo de Almarway *et al.* (2004), o EEML foi alcançado nos rapazes a 92% e nas raparigas a 94% da FC_{max}. Vobeja *et al.* (2006) procuraram determinar o EEML através da FC, verificaram correlações entre FC no EEML e na V₄ ($r = 0.84$, $p < 0.01$) e entre a FC_{max} constante durante 30-min e a FC no EEML ($r = 0.82$, $p < 0.01$).

A FC é diferente entre o desempenho no ciclismo e na corrida para intensidades máximas e submáximas (Millet *et al.*, 2009). Este facto foi confirmado por Fontana *et al.* (2009) na sua investigação, a FC (165 ± 8 vs. 175 ± 10 bat.min⁻¹, $p < 0.01$) foi menor no ciclismo quando comparada com a corrida. A [La⁻] média foi maior no ciclismo (5.6 ± 1.7 vs. 4.3 ± 1.3 mmol.L⁻¹, $p < 0.05$).

No estudo de Baron *et al.* (2008), realizado no cicloergómetro, verificou-se que a exaustão ocorreu no teste realizado no EEML enquanto ainda existiam reservas metabólicas, mas em sintonia com um aumento da percepção subjetiva de esforço (PSE). A intensidade de exercício no EEML correspondeu a $71.3 \pm 5.2\%$ do VO_{2max} , a $[La^-]$ média foi $5.5 \pm 1.5 \text{ mmol.L}^{-1}$ com uma amplitude individual entre os 3.6 e os 7.9 mmol.L^{-1} . A FC aumentou entre os 10% ($151 \pm 19 \text{ bat.min}^{-1}$) e os 100% ($175 \pm 14 \text{ bat.min}^{-1}$) dos 30-min de exercício.

No estudo de Dekerle *et al.* (2003) realizado no cicloergómetro, nos 30-min realizados no EEML ($74.3 \pm 4.0\%$ do VO_{2max}), a FC foi $171 \pm 8 \text{ bat.min}^{-1}$ e a $[La^-]$ média $5.87 \pm 1.31 \text{ mmo.L}^{-1}$. Na investigação de Dekerle *et al.* (2005a) conduzida na NPD, o EEML ($3.3 \pm 2.2 \text{ mmol.L}^{-1}$) foi alcançado a $86.1 \pm 3.7\%$ do VO_{2max} e durante o teste de 30-min os atletas evidenciaram uma FC média de $178 \pm 5 \text{ bat.min}^{-1}$.

Também na NPD, Dekerle *et al.* (2005b) encontraram o EEML associado a uma FC média de $179 \pm 7 \text{ bat.min}^{-1}$. Já Denadai *et al.* (2005), num estudo conduzido no futebol, verificaram uma FC no minuto 10 dos 30-min realizados no EEML de $171.3 \pm 10.7 \text{ bat.min}^{-1}$ e no minuto 30 de $179.6 \pm 8.2 \text{ bat.min}^{-1}$.

Hoogeveen *et al.* (1997) determinaram um EEML de $7.4 \pm 2.5 \text{ mmo.L}^{-1}$ durante um teste de 10 x 4 km de ciclismo em pista (com pausas de 30-s e 150-s na quinta repetição) com os valores a oscilarem entre os 3.2 e os 12.2 mmo.L^{-1} . A FC no final das primeiras cinco repetições foi $173.7 \pm 7.1 \text{ bat.min}^{-1}$ e no final das cinco últimas de $174.3 \pm 8.1 \text{ bat.min}^{-1}$. No remo, Mattern *et al.* (2007) verificaram uma FC média no EEML de $169.5 \pm 1.7 \text{ bat.min}^{-1}$, que representou 88.61 ± 0.87 da FC_{max} .

2.1.2.3. Percepção subjetiva de esforço

A escala de Borg (1982) é amplamente utilizada como ferramenta para aceder à percepção subjectiva do esforço durante o exercício. Parece ser uma ferramenta económica, prática e válida para monitorizar e prescrever a intensidade do exercício, independentemente do género, idade, forma de exercício e nível de atividade física (Scherr *et al.*, 2012).

Uma PSE de 12 numa escala de Borg de 15 valores (6-20) foi demonstrada ser um valor correlacionado com o EEML (Ekblom e Goldbarg, 1971; Allen e Pandolf, 1977; Boutcher *et al.*, 1989; Cheng *et al.*, 1992; Potteiger e Hopkings, 1992). Na investigação de Palmer *et al.* (1999), o valor médio da PSE foi de 13.4, um valor superior ao evidenciando nas investigações anteriormente referidas. Realizar exercício num valor entre os 11-13 é recomendado para indivíduos pouco treinados e entre os 13-15 recomendado quando a intensidade do exercício é superior mas ainda com o objetivo do treino aeróbio (Scherr *et al.*, 2012).

O facto de a PSE afirmar-se como indicador do EEML demonstra a sua utilidade nos protocolos de teste em virtude de a PSE manter-se nos mesmos níveis com a evolução do processo de treino (Ekblom e Goldbarg, 1971; Demello *et al.*, 1987; Potteiger e Hopkings, 1992).

O estudo de Green *et al.* (2006) evidenciou uma relação durante o exercício a intensidade elevada e durante a recuperação no ciclismo entre a PSE e a FC, também entre a PSE e a $[La^-]$. Contudo, a verificação de uma relação mais estreita entre PSE e FC comparativamente com a relação entre FC e $[La^-]$ e uma dissociação entre a PSE e a $[La^-]$ sugerem que durante os intervalos do exercício realizado a intensidade elevada no ciclismo a PSE é mais sensível à FC que à $[La^-]$.

O EEML no estudo de Baron *et al.* (2003) variou entre os 5.2 mmol.L⁻¹ e os 5.9 mmol.L⁻¹, sendo a $[La^-]$ média de 5.6 ± 0.3 mmol.L⁻¹. Nos 30-min realizados no cicloergómetro no EEML, a FC aumentou entre o minuto 10 (164.3 ± 8.1 bat.min⁻¹) e o

minuto 30 ($176.2 \pm 10.4 \text{ bat.min}^{-1}$). Já a PSE não diferiu significativamente ao longo do teste (3.6 ± 0.9 na escala de Borg de 1-10).

No estudo de Baron *et al.* (2005) conduzido na NPD, a vEEML ($1.22 \pm 0.14 \text{ m.s}^{-1}$) foi alcançada a $86.5 \pm 5.1\%$ da velocidade média dos 400 m ($1.41 \pm 0.12 \text{ m.s}^{-1}$). Paralelamente, foi realizado um teste de 120-min a uma VN estabelecida pelos próprios nadadores em que a média da PSE até ao minuto 30 foi de 3 na escala de 0-10 de Borg, entre o minuto 30 e o minuto 60 foi alcançado um valor médio de 4 e entre o minuto 60 e 120 um valor de 5.

Fontana *et al.* (2009) realizaram um estudo comparativo entre ciclismo e corrida (em laboratório). Verificaram uma intensidade de exercício para o EEML no ciclismo de $248 \pm 31 \text{ W}$ e na corrida de $13.2 \pm 0.8 \text{ km.h}^{-1}$. A PSE média (escala de 0-10) no EEML no ciclismo (7.2 ± 1.7) e corrida (7.2 ± 1.5) não foram significativamente diferentes.

2.2 Relação entre limiar láctico e o EEML

Em repouso e em exercícios a intensidade constante decorre um balanço entre a produção e remoção de lactato (Brooks, 2000). O LL representa o início da acidose durante um exercício de intensidade progressiva, o ponto onde decorre um aumento abrupto de $[\text{La}^-]$ acima do nível basal (Beaver *et al.*, 1985). Infelizmente, a maioria dos estudos até hoje conduzidos tiveram lugar no atletismo e no ciclismo, segundo Pyne *et al.* (2001), a escassez de estudos realizados na NPD reflete as menores dificuldades de recolha de dados em laboratório (por exemplo na passadeira, cicloergómetro e ergómetro de remo) comparativamente às dificuldades de recolha de dados em piscina.

Relações entre $[\text{La}^-]$ e VN têm sido amplamente utilizadas como meio de monitorizar o estado de treino dos nadadores através da identificação da V_4 ou do LL (Heck *et al.*, 1985; Hein *et al.*, 1989). A premissa de maior importância para este tipo de testes é de que o LL é uma medida útil na aferição da capacidade aeróbia submáxima e assume-se

igualmente que reflete as adaptações provenientes do treino ocorridas no sistema músculo esquelético (Pyne *et al.*, 2001).

Apesar do debate na comunidade científica acerca da metodologia associada à determinação do LL, diversos treinadores utilizam este parâmetro fisiológico no estabelecer das intensidades de treino num momento em que os atletas dispõem de pouca disponibilidade temporal para realizar testes/avaliações em função dos seus compromissos pessoais, académicos e profissionais.

Outra vicissitude atual e importante é a emergência de criação de novos eventos desportivos com fins comerciais que adensam a calendário competitivo anual (Pyne *et al.*, 2009), esta realidade está a ter como resultado que os atletas tenham cada vez menos tempo para treinar e recuperar dos eventos competitivos e simultaneamente, não apresentem disponibilidade para testes e avaliações regulares.

Fatores que poderão desempenhar um papel importante na determinação do LL - que ocorre durante um exercício de intensidade progressiva - incluem o recrutamento de fibras musculares (Brooks, 1985; Katz e Sahlin, 1990), a anaerobiose muscular (Wasserman *et al.*, 1973; Davis, 1985), uma diminuição da taxa de remoção de $[La^-]$ (Brooks, 1985) e a regulação hormonal da glicólise muscular (Brooks, 1985; Weltman *et al.*, 1994).

O LL encontra-se igualmente relacionado com a capacidade muscular oxidativa (Ivy *et al.*, 1980) e apresenta-se como sendo um dos fatores que positivamente influenciam o metabolismo dos ácidos gordos livres durante um exercício submáximo prolongado (Coyle *et al.*, 1988).

Existem vários métodos para determinação da resposta da $[La^-]$ num teste incremental, muitas vezes preferido em relação à obtenção do EEML. Estes métodos têm sido utilizados na previsão do desempenho e na prescrição do treino, a intensidade de exercício associada ao LL tem sido relacionada à intensidade de exercício do EEML (Weltman, 1995).

Numerosos estudos demonstraram que a resposta da $[La^-]$ a exercícios progressivos é altamente correlacionada com vários tipos de desempenho aeróbio (Sjodin *et al.*, 1981; Heck *et al.*, 1985; Weltman, 1995). No sentido de evitar um procedimento temporalmente tão extenso na determinação do EEML foi utilizada a determinação do LL através da utilização de protocolos incrementais.

Segundo Laplaud *et al.* (2006), o LL é considerado um bom substituto do EEML, contudo, a duração e dimensão do aumento da intensidade do exercício progressivo descobriu-se ter influência no valor do LL (Yoshida, 1984). Stegmann *et al.* (1981) e Mognoni *et al.* (1990) indicaram que a intensidade de exercício associada ao EEML tem por diversas vezes sido sobrestimada especialmente em atletas altamente treinados que usam a intensidade de exercício associada ao LL como parte do seu treino.

A determinação do EEML envolve procedimentos que requerem a presença dos indivíduos envolvidos em diferentes dias no local onde decorrem os testes, fator que poderá prejudicar a dinâmica do processo de treino (Czuba *et al.*, 2009). No sentido de eliminar este potencial problema, alguns investigadores procuraram determinar o EEML indiretamente através de um teste incremental (Jones e Doust., 1998; Laplaud *et al.*, 2006; Figueira *et al.*, 2008).

O LL é determinado na maioria das vezes através de dois métodos. O método log-log em que a $[La^-]$ é relacionada com a potência ou velocidade (Beaver *et al.*, 1985) e o método D-max proposto por Cheng *et al.* (1992) em que o LL é definido como o ponto relativo à maior distância entre a reta desenhada através do ponto inicial e final da curva de lactato. É igualmente considerado como o ponto durante um esforço progressivo em que existe uma mudança entre a predominância de utilização dos lípidos e o recurso ao metabolismo glicolítico (Achten e Jeukendrup, 2004).

Outro método associado ao LL mas que apresenta a designação de V_4 consiste na interpolação linear que permite aferir a velocidade a que o atleta atinge a $[La^-]$ de 4 mmol.L^{-1} . Já o PVL é definido como o segundo aumento significativo de $[La^-]$ acima do LL mas abaixo do $VO_{2\text{max}}$ (Davis *et al.*, 1983; Smith e Jones, 2001).

Alguns estudos demonstraram que se torna difícil distinguir o desempenho aeróbio em atletas com base apenas no VO_{2max} e outras variáveis submáximas como o LL são melhores indicadores do desempenho em atletas homogêneos relativamente ao VO_{2max} (Coyle *et al.*, 1988, 1991, 1995; Bourdon, 2000). O estudo de Ivy *et al.* (1980) evidenciou ainda que o LL encontra-se correlacionado com a capacidade respiratória muscular ($r = 0.83$) e com a % de fibras do tipo I ($r = 0.73$), já Gomes-Pereira e Alves (1998) descobriram que a mensuração de níveis de lactato após exercício num teste incremental não se relacionava com o desempenho de nado.

Determinadas investigações no ciclismo evidenciaram que o LL correlaciona-se com o desempenho (Bishop *et al.*, 1998b; Bentley *et al.*, 2001), já Van Schuylenbergh *et al.* (2004), na mesma modalidade desportiva, verificaram que a V_4 encontrava-se correlacionada com a intensidade de exercício associada ao EEML ($r = 0.50$, $p < 0.05$), a intensidade no EEML encontrava-se igualmente correlacionada com a intensidade no LL ($r = 0.72$, $p < 0.05$). Contudo, os autores transmitiram que não é possível determinar o EEML com base num teste incremental e que o EEML deve ser sempre confirmado com um teste realizado a intensidade contínua de 30-min.

Num estudo realizado na passadeira, Mocelin *et al.* (1991) indicaram que o LL (2.6 mmol.L^{-1} e 78% do VO_{2max}) apresenta correlações não significativas com o EEML (5.0 mmol.L^{-1} e 88% do VO_{2max}) e ocorre a uma intensidade de exercício menor que este parâmetro fisiológico. Na NPD, Toubekis *et al.* (2006) encontraram uma correlação positiva significativa entre a velocidade no LL (vLL) e a V_4 ($r = 0.90$, $p < 0.01$).

Embora a $vEEML$ seja considerada como um “*gold standard*” ou critério para determinação da capacidade aeróbia, esta raramente tem sido obtida de uma forma independente (Jones e Doust, 1998). De acordo com Madsen (1982), o LL nos nadadores ocorre, respetivamente, a 78, 84 e 91% do VO_{2max} em estudantes, velocistas experientes e atletas de longa distância experientes.

Urhausen (1993), transmitiu que o Lan individual poderá representar a amplitude do EEML embora as intensidades de exercício possam não representar o exato EEML em

indivíduos treinados concluindo que intensidades de exercício abaixo e a 100% do L_{an} individual se situem no EEML. Já Beneke *et al.* (1995) transmitiram que no remo o L_{an} e a V_4 não representam o EEML.

Deve neste momento ser referido que de acordo com Loat e Rhodes (1993) o L_{an} é de forma comum determinado através do LL ou LV. No entanto, os resultados de Poole e Gaesser (1985) sugeriram que o treino pode induzir um maior aumento na intensidade do exercício associada ao LL em relação à intensidade do exercício associada ao LV, indicando que estes dois fenómenos fisiológicos estão sujeitos a diferentes mecanismos. Os resultados de Poole e Gaesser (1985) demonstraram que o LL e LV não podem ser utilizados alternadamente como indicadores de adaptação ao processo de treino.

Bentley *et al.* (2007) concluíram no seu estudo que em ciclistas bem treinados com semelhantes características, o LL obtido através de exercícios de intensidade progressiva não diferencia a resposta metabólica em exercícios aeróbios de curta ou longa duração. Contudo, os autores afirmaram que é possível que um valor mínimo de LL exista acima do qual a resposta metabólica durante exercícios aeróbios vai diferir em ciclistas com um baixo LL.

A utilização do LL parece ter por base as descobertas científicas de que este parâmetro fisiológico na velocidade de corrida permite prever o desempenho em corridas de longa distância, incluindo os 10.000 m e a maratona (Allen *et al.*, 1985).

2.3 Relação entre a velocidade crítica e o EEML

Desde o clássico trabalho de Hill (1927) que é aceite que a relação entre a intensidade de exercício e o tempo até à exaustão é uma hipérbole. A assíntota desta relação, que é equivalente por conversão à regressão linear entre a intensidade de exercício e o tempo até à exaustão, foi definida como PC por Monod e Scherrer (1965). Representa, pelo menos de forma teórica, a intensidade de exercício mais elevada que pode ser mantida através do metabolismo aeróbio sem acumulação de fadiga. De acordo com Vandewalle

et al. (1997) e Bosquet *et al.* (2002), a PC é um bom indicador caracterizador da capacidade em eventos de longa duração.

Ettema (1966) aplicou o conceito de PC à corrida substituindo a potência por velocidade e o trabalho por distância. A assíntota no eixo das abcissas (eixo do x) da relação hiperbólica entre a velocidade e o tempo até à exaustão, ou por conversão, do declive da relação linear entre distância e tempo até à exaustão, é de forma comum definida como VC.

A VC apresenta diversas vantagens tal como a facilidade de aplicação e análise de grande número de indivíduos, pode ser utilizada durante sessões de treino, e, principalmente, não requerer a utilização de equipamentos dispendiosos. Segundo Jones *et al.* (2010), pode ser útil na monitorização e prescrição do treino e otimização de estratégias no momento competitivo.

Anderson *et al.* (2006) transmitiram que os testes mais práticos para atletas são geralmente aqueles que podem ser conduzidos com facilidade durante o processo de treino. A determinação da VC é um método simples, não invasivo e que requer poucos custos. Foi também anteriormente referido que a VC não difere entre o género masculino e feminino (Greco *et al.*, 2007).

Wakayoshi *et al.* (1992a) foram os primeiros a prolongar o conceito de PC para a NPD, determinando nesse caso a VC. No estudo realizado num *swimming flume* (tanque de nado com 6 m de comprimento, 2.5 m de largura e 1.5 m de profundidade) os autores não observaram grandes diferenças entre VC e V_4 (1.16 ± 0.05 vs. 1.16 ± 0.04 m.s⁻¹) num grupo de nadadores treinados de uma Universidade (18-20 anos de idade).

Correlações significativas foram encontradas pelos investigadores entre V_4 e VC ($r = 0.95$, $p < 0.01$) e entre a velocidade média dos 400 m e a VC ($r = 0.87$, $p < 0.01$), os autores concluíram que a VC pode ser adotada como indicador caracterizador da capacidade aeróbia em nadadores de competição em sintonia com o que transmitiram os estudos de Wakayoshi *et al.* (1992b) e Toussaint *et al.* (1998).

Previamente foi igualmente referido que a VC pode ser apropriada para o treino aeróbio de adultos (Wakayoshi *et al.*, 1993; Rodríguez *et al.*, 2003) e jovens nadadores (Fernandes e Vilas-Boas, 1999; Fernandes *et al.*, 2000; Reis e Alves, 2006). Os resultados de Costa *et al.* (2009) evidenciaram que a VC determinada na NPD com base em registos cronométricos de 100, 200 e 400 m é semelhante à V_4 e Billat *et al.* (2001) escolheram a VC como a intensidade de exercício média do treino intervalado para os indivíduos alcançarem o VO_{2max} .

O estudo conduzido por Brickley *et al.* (2007) não teve sucesso no alcance preciso da capacidade aeróbia máxima e submáxima, o VO_{2max} não foi alcançado durante os 90-s realizados no cicloergómetro e a potência alcançada no final do teste revelou-se superior à PC. Os investigadores concluíram que os 90-s revelaram-se insuficientes para o alcance do VO_{2max} . Também Dekerle *et al.* (2009) referiram que 90-s não são suficientes para esgotar as capacidades anaeróbias em jovens. É recomendada a inclusão no modelo de distâncias que promovam o alcance do VO_{2max} (entre os 2 e os 15-min) para determinação da VC.

Distâncias competitivas entre os 200 e os 1500 m podem ser utilizadas na NPD (Wright e Smith, 1994; Vandewalle *et al.*, 1997; Bishop *et al.*, 1998; Martin e Whyte, 2000). A inclusão de longas distâncias pode subestimar o valor da VC na NPD enquanto que a combinação de distâncias curtas pode levar a uma sobrestimação. Este facto pode ser atribuído a uma não linearidade da distância *versus* tempo observada durante o nado (Wright e Smith, 1994; Dekerle *et al.*, 2002).

De acordo com estes requisitos, e no desejo de tornar a determinação mais rápida e simples para os treinadores, a sugestão de Wakayoshi *et al.* (1993) e Dekerle *et al.* (2002) no sentido de se determinar a VC tendo por base o desempenho na NPD nos 200 e 400 m parece nos dias de hoje pertinente.

No estudo de Dekerle *et al.* (2002), desenvolvido com 9 nadadores, a VC calculada com base nos 200 e 400 m foi corrigida em 3.2% e correspondeu a 85.5 e 91.1% da velocidade média nos 200 e 400 m, respetivamente. Paralelamente, a velocidade média

evidenciada no teste de 30-min ($1.31 \pm 0.06 \text{ m.s}^{-1}$) verificou-se ser altamente correlacionada com a VC ($r = 0.94$). No estudo de Greco *et al.* (2007), a VC foi determinada com base nas mesmas distâncias de nado e revelou-se superior à VN de 30-min.

Toubekis *et al.* (2011) compararam a VC determinada a partir do desempenho em diferentes distâncias de nado com séries típicas de treino. Verificaram que a VN ao longo das 5 x 400 m foi menor comparativamente à VC determinada a partir dos 50, 100, 200 e 400 m e a VN nas 20 x 100 m foi superior quando comparada com a VC determinada a partir do desempenho nos 200 e 400 m ($VC_{200-400}$). A VN nas 10 x 200 m foi similar à $VC_{50-100-200-400}$ e $VC_{200-400}$ (5 x 400 m: $1.27 \pm 0.07 \text{ m.s}^{-1}$ vs. $VC_{50-100-200-400}$: $1.33 \pm 0.09 \text{ m.s}^{-1}$, $p < 0.05$; 20 x 100 m: $1.32 \pm 0.02 \text{ m.s}^{-1}$ vs. $VC_{200-400}$: $1.28 \pm 0.09 \text{ m.s}^{-1}$, $p < 0.05$; 10 x 200 m: $1.30 \pm 0.10 \text{ m.s}^{-1}$). Concluíram no seu estudo que o treino intervalado na NPD pode ser ajustado a partir da VC determinada com base nos 200 e 400 m.

No estudo de Ribeiro *et al.* (2010), os doze atletas realizaram 200 e 400 m crol para determinação da $VC_{200-400}$ ($1.28 \pm 0.05 \text{ m.s}^{-1}$). Em seguida, completaram 5 x 400 m nesta VN com 1.5-min de repouso entre cada repetição. Três atletas não terminaram a série [tempo até limite (T_{lim}) 21.0 ± 3.1 -min]. Dois atingiram exaustão após três repetições e outro após a quarta repetição. Os restantes nadadores oscilaram relativamente aos parâmetros fisiológicos e de ciclo gestual durante a primeira e última repetição de 400 m, [La⁻] (5.7 ± 0.8 vs. $7.9 \pm 2.4 \text{ mmol.L}^{-1}$), FG (29.6 ± 3.2 vs. $32.1 \pm 4.1 \text{ ciclos.min}^{-1}$), FC (169 ± 11 vs. $181 \pm 8 \text{ bat.min}^{-1}$) e PSE (13.3 ± 1.6 vs. 16.3 ± 2.6 na escala de Borg 6-20). Simultaneamente, a DC decresceu significativamente ($p < 0.05$) entre a primeira e quinta repetição (2.48 ± 0.22 vs. $2.31 \pm 0.24 \text{ m.ciclo}^{-1}$).

VC, sensivelmente 92% da VN média dos 400 m em nadadores treinados segundo Dekerle *et al.* (2005b), pode ser representada pelo declive da reta de regressão linear da relação distância-tempo (D_{d-t}). No estudo de Dekerle *et al.* (2005b), a VAM foi determinada como a VN média entre os 50 e os 350 m do desempenho nos 400 m de acordo com Lavoie e Montepetit (1986) e revelou-se altamente correlacionada com a

VC, tal como em outros estudos (Wakayoshi *et al.*, 1992a,b, 1993). Quarto entre os oito nadadores não conseguiram realizar os 30-min a uma intensidade de exercício 5% superior à VAM em relação à vEEML. Nos outros quatro atletas os valores de $[La^-]$ aumentaram mais que 1 mmol.L^{-1} entre o minuto 10 e 30. A vEEML ($1.24 \pm 0.10 \text{ m.s}^{-1}$, $88.4 \pm 2.9\%$ da VAM) foi significativamente inferior ($p < 0.05$) à VC ($1.31 \pm 0.15 \text{ m.s}^{-1}$, $92.7 \pm 2.6\%$ da VAM).

O EEML tem um real significado fisiológico comparativamente com a VC mas a sua determinação no terreno é de maior complexidade (Pelayo *et al.*, 2007). Para além disso, recolhas de lactato nem sempre se afirmam como um procedimento prático, especialmente em populações como crianças em que a determinação da VC pode ser mais atrativa (Toubekis *et al.*, 2006). De uma forma muito pragmática, Poole *et al.* (1998) referiram que a PC tem sido utilizada para delimitar o esforço pesado do esforço muito pesado. Tem igualmente sido sugerido que as limitações metodológicas aumentam o potencial da PC em sobrestimar o EEML (Hill, 1993).

A locomoção na água requer mais energia por unidade de distância do que a locomoção em terra (di Prampero, 1986). O nível da força propulsiva e do arrasto ativo pode interferir no dispêndio energético e eficiência propulsiva (Chatard *et al.*, 1990; Wakayoshi *et al.*, 1995; di Prampero *et al.*, 2008; Zamparo *et al.*, 2011). O modelo de dois parâmetros ($d-t$) pode ser útil numa perspetiva de aplicação prática e providenciaria um meio simples de analisar o perfil de potencial fisiológico de nadadores (di Prampero *et al.*, 2008; Zacca *et al.*, 2010), contudo, Capelli *et al.* (1998) demonstraram que o custo energético na NPD não aumenta exponencialmente quando a VN aumenta o que leva a uma distorção da relação $d-t$. Alguns autores referiram mesmo que a relação $d-t$ não é estritamente linear (Ettema, 1966; Wright e Smith, 1994; Vandewalle *et al.*, 1997; Dekerle *et al.*, 2002).

A comparação indireta entre a vEEML e o D_{d-t} promoveu a primeira pista acerca do mecanismo relacionado com o parâmetro fisiológico com o D_{d-t} a proporcionar valores mais elevados que a vEEML (Dekerle *et al.*, 2005b). Descobertas posteriores sugeriram que o D_{d-t} não é uma intensidade de exercício que os nadadores consigam suportar por

um período prolongado de tempo com uma estabilidade ao nível da $[La^-]$ (Dekerle *et al.*, 2010). Esta evidência encontra-se em acordo com estudos anteriormente desenvolvidos no cicloergómetro (Pringle e Jones, 2002; Dekerle *et al.*, 2003) e na passadeira (Smith e Jones, 2001).

Na investigação de Dekerle *et al.* (2010), a VN correspondente ao D_{d-t} na NPD não foi mantida por um tempo prolongado e afirmou-se como dificilmente tolerável. Os autores transmitiram que nadar à intensidade do D_{d-t} induz um aumento da $[La^-]$ e o alcance do VO_{2max} . Contudo, no referido estudo, a recuperação passiva entre as 10 repetições de 400 m promoveu a manutenção de um equilíbrio na $[La^-]$.

Gaesser e Poole (1996) definiram o exercício severo como a intensidade de exercício associada ao VO_{max} . Os estudos de Poole *et al.* (1988, 1990) e Hill e Ferguson (1999) sugeriram que a PC ou VC são, de facto, uma intensidade acima da qual o VO_{2max} é alcançado. No estudo de Billat *et al.* (2001) desenvolvido com corredores a VC correspondeu a $85.6 \pm 1.2\%$ da vVO_{2max} e a maior descoberta de Dekerle *et al.* (2003) relacionou-se com o facto de a intensidade de exercício associada à PC ser significativamente maior que a associada ao EEML.

2.4 Relação entre o consumo de oxigénio e o EEML

O VO_2 tem sido amplamente analisado ao longo dos últimos 30 anos (Millet *et al.*, 2011). O VO_{2max} é um parâmetro de avaliação que corresponde à taxa máxima de captação e utilização de O_2 pelo organismo durante um exercício de grande intensidade prolongado no tempo. Alguns investigadores consideram-no o melhor indicador da capacidade do sistema cardiovascular, uma vez que está diretamente relacionado com o débito cardíaco, com o conteúdo arterial de O_2 e com a capacidade extrativa de O_2 a nível muscular [diferença artériovenosa em oxigénio - (a-v) O_2].

O VO_{2max} traduz o ponto a partir do qual não ocorre aumento do VO_2 apesar de aumentar a intensidade do exercício (Brooks *et al.*, 2000). Este parâmetro fisiológico é considerado um importante indicador cardiorrespiratório, sendo inclusivamente, por muitos, considerado o melhor indicador para avaliar a capacidade aeróbia de diferentes indivíduos. Recentemente, Hughson (2009) sugeriu que a modelação através de computador do transporte e utilização de O_2 poderá colaborar na resolução de questões ainda pendentes.

Os três domínios de intensidade de exercício apresentam demarcações específicas (Jones e Poole, 2005). O domínio da intensidade moderada engloba as intensidades de exercício em que o VO_2 aumenta até alcançar um equilíbrio dentro de 2-3-min. O domínio da intensidade pesada é definido pela intensidade de exercício que promove um aumento da $[La^-]$ que é estabilizada após os 5-10-min.

Poderá igualmente ser necessário 5-15-min para obter uma estabilização no VO_2 a estas intensidades de exercício como consequência de uma resposta da componente lenta do VO_2 ($clVO_2$) emergir após uma fase inicial de transição (Roston *et al.*, 1987; Poole *et al.*, 1988), situação que resulta num maior custo de O_2 do que previsível nas intensidades moderadas (Whipp, 1994). Finalmente, no domínio das intensidades severas, ambos $[La^-]$ e VO_2 aumentam com o tempo até o VO_2 atingir o seu valor máximo e a fadiga, previsivelmente, instalar-se (Billat *et al.*, 1999; Hill *et al.*, 2002).

A mensuração do VO_{2max} é importante uma vez que em muitos eventos desportivos uma grande quantidade de energia necessária para realizar o exercício é alcançada através da utilização do O_2 . Por exemplo, estima-se que aproximadamente 25% da energia total deriva do O_2 em eventos de curta duração entre os 40 e os 60-s.

Em eventos com duração entre os 100 e os 120-s cerca de 50% da energia deriva do O_2 e em eventos com duração entre 3 e 4-min cerca de 65% da energia provém igualmente do O_2 . Yoon *et al.* (2007) transmitiram que a duração do teste para alcance do VO_{2max} deve ter entre 8 e 10-min para indivíduos saudáveis e moderadamente treinados.

Na maioria das pessoas, a relação entre a intensidade do exercício e o VO_2 é linear. Desta forma, a intensidades de exercício superiores correspondem valores de VO_2 mais elevados. Existe variabilidade entre os indivíduos no que respeita ao VO_2 a determinada intensidade de exercício, o que traduz diferenças fisiológicas e de eficiência durante a atividade (Brooks *et al.*, 2000).

A capacidade de utilização de O_2 não difere, em repouso, entre sujeitos treinados e sedentários. Contudo, em esforço, o $\text{VO}_{2\text{max}}$ de um indivíduo treinado pode atingir o dobro de um indivíduo sedentário.

Tem igualmente sido referido que a vEEML apresenta uma grande variabilidade entre atletas e relaciona-se com o equilíbrio do VO_2 em esforço (Billat *et al.*, 2003). Em exercícios realizados abaixo do EEML, uma homeostasia relativa é mantida e a ressíntese de ATP tem lugar quase somente através da via aeróbia (di Prampero, 1981).

Abaixo do EEML, a $[\text{La}^-]$ cai ao longo do tempo após um aumento inicial ou atinge um nível elevado mas estável (Haverty *et al.*, 1988; Aunola e Rusko, 1992). Em contraste, em intensidades que excedem o EEML, a $[\text{La}^-]$, ventilação pulmonar (V_E) e VO_2 nunca atingem um equilíbrio, continuam a aumentar até o exercício terminar devido a fadiga (Roston *et al.*, 1987; Poole *et al.*, 1988).

Baron *et al.* (2003) referiram que a maior descoberta do seu estudo (30-min de esforço no cicloergómetro em EEML) foi o facto de o EEML não corresponder a um completo equilíbrio fisiológico. Embora entre outros, a $[\text{La}^-]$, VO_2 e volume de dióxido de carbono expirado ($V\text{CO}_2$) se tenham mantido constantes, a FC e pH aumentaram entre o minuto 10 e 30 do teste. Também acima do LL, tornam-se evidentes não-linearidades no VO_2 (Linnarsson, 1974; Özyener *et al.*, 2001; Whipp e Rossiter, 2005) e Wakayoshi *et al.* (1995) demonstraram correlações positivas entre a FG e o VO_2 .

Parece existir um ponto de inflexão inicial na V_E quando expressa como uma função do consumo de O_2 (por exemplo no primeiro limiar ventilatório - LV_1). Foi descoberto que este parâmetro delimita o limite superior do exercício moderado (Whipp, 1994). O

treino nestas intensidades de exercício não é de forma comum relacionado com um *stress* fisiológico considerável que é responsável pelo aumento do aporte de O₂ aos músculos em atividade.

A intensidade do exercício associada ao LV₁ tem sido utilizada como estimativa não invasiva da intensidade do exercício associada ao LL mas parece subestimar esta última em muitos atletas (Plato *et al.*, 2008). Por exemplo no estudo de Quinn e Coons (2011), os valores associados à intensidade do exercício no LL foram significativamente maiores que os valores associados à intensidade do exercício no LV₁ ($p < 0.05$).

Tem sido demonstrado que as intensidades de exercício abaixo da LV₁ não estão associadas a um aumento sustentável dos níveis de [La⁻] e, portanto, o exercício apresenta uma tolerância muito maior. O uso do LV₁ para a prescrição de treino apresenta-se como uma justificação científica sólida como recentemente indicado por Meyer *et al.* (2005) mas parece não proporcionar aos atletas níveis elevados de fadiga.

Também importante, um LV₂ foi encontrado na transição de uma intensidade pesada para outra não sustentável situada no domínio da intensidade severa: LV₂ é definido como associado a um ponto de compensação respiratório (PCR) para a acidose metabólica em curso (Dekerle *et al.*, 2003). O LV₂ representa o ponto em que a V_E aumenta desproporcionalmente relativamente às necessidades metabólicas numa tentativa de eliminar o excesso de dióxido de carbono (CO₂).

O exercício em equilíbrio diminui drasticamente acima do LV₂, provavelmente devido a uma combinação sistémica (níveis de lactato, temperatura corporal, sistema cardiovascular) e relacionada com fadiga muscular local e fatores centrais.

Portanto, a intensidade de exercício entre o LV₁ e LV₂ é propícia a provocar um nível de considerável *stress* cardiovascular e metabólico, suficientemente intenso para estimular a via aeróbia, mas não excessivamente elevado no sentido de encurtar a duração do exercício, o que reduziria o trabalho total realizado numa sessão de treino.

Os dados de Peinado *et al.* (2006) encontram-se em acordo com os de outros estudos, embora tenha de ser assumido que estes autores não determinaram o EEML mas o equilíbrio fisiológico entre o LV₁ e o LV₂ o que reduz de forma significativa o número de repetições a serem concretizadas se futuras investigações confirmarem que se trata, de facto, do EEML.

No estudo de Peinado *et al.* (2006), a intensidade de exercício foi $82.2 \pm 1.7\%$ do VO_{2max}, os autores transmitiram que a [La⁻] manteve-se constante ao longo do teste de 30-min acima dos 4 mmol.L⁻¹, contudo, outros parâmetros fisiológicos evidenciaram alterações.

Segundo Dekerle *et al.* (2003), uma avaliação rigorosa da capacidade aeróbia poderá apenas ser realizada através de uma direta, mas longa metodologia de determinação do EEML. Peinado *et al.* (2006) na conclusão do seu estudo, referem que o LV como aproximação do EEML poderá ser útil na redução do número de testes necessários à sua determinação.

Dekerle *et al.* (2003) indicaram que a intensidade de exercício associada à PC e ao LV₂ são significativamente maiores que a intensidade de exercício associada ao EEML. Transmitiram que estes dois parâmetros fisiológicos não representam a intensidade máxima que pode ser mantida por um período prolongado de tempo sem o aumento contínuo de [La⁻], embora a intensidade de exercício do LV₂ e EEML se tenham revelado fisiologicamente relacionados em contraste com a intensidade de exercício da PC e EEML. Acima do EEML, um aumento da [La⁻] é observado uma vez que a componente anaeróbia de processos metabólicos do organismo torna-se maior (Hill *et al.*, 1924).

Algumas teorias sugerem que a regulação respiratória durante o exercício é impulsionada por estímulos cerebrais oriundos do córtex motor e/ou aferências dos músculos para o centro respiratório (Kaufman e Forster, 1996).

No estudo de Baron *et al.* (2005), durante o teste de nado de 2-h, o VO_2 e VCO_2 não evoluíram entre os 10 e os 30-min. Estes resultados estão de acordo com o estudo que demonstrou uma estabilização dos parâmetros ventilatórios durante um teste realizado no EEML (Baron *et al.*, 2003). No estudo de Baron *et al.* (2008), o EEML ocorreu a 71.3 ± 5.2 % do $\text{VO}_{2\text{max}}$, em linha com o estudo de Dekerle *et al.* (2003) e o tempo médio até à exaustão na intensidade de exercício associada ao EEML foi 55-min.

Na investigação de Mamen e Tilaar (2009) realizada no cicloergómetro, o EEML foi alcançado a 77 ± 5 % do $\text{VO}_{2\text{max}}$. Durante os 30-min no EEML, a FC determinada foi 163.1 ± 11.1 bat.min⁻¹, correspondente a 87 ± 2 % da FC_{max} . Já na investigação de Smith e Jones (2001) conduzida na passadeira rolante, o EEML ocorreu a 86 ± 4 % do $\text{VO}_{2\text{max}}$.

Existem algumas evidências de que o EEML ocorre a uma percentagem maior do $\text{VO}_{2\text{max}}$ durante uma corrida quando comparada com o ciclismo em participantes com uma equivalente condição física (Billat *et al.*, 1994; Harnish *et al.*, 2001; Smith e Jones, 2001; Pringle e Jones, 2002). O EEML ocorre tipicamente entre os 80 e 90% do $\text{VO}_{2\text{max}}$ em atletas bem treinados (Billat *et al.*, 2000, 2004; Smith e Jones, 2001; Harnish *et al.*, 2001; Almarway *et al.*, 2004; Kilding e Jones, 2005; Beneke *et al.*, 2011).

2.5 Relação entre a cinética do VO_2 e o EEML

Dado que a resíntese aeróbia de ATP é a principal fonte de energia para o corpo humano (Åstrand *et al.*, 2003; Wilmore *et al.*, 2008), o estudo da cinética do VO_2 pode fornecer uma visão esclarecedora do metabolismo muscular e dos mecanismos fisiológicos envolvidos na transição entre o repouso e o exercício.

Além disso, a resposta do VO_2 no momento supra referido determina a contribuição relativa do metabolismo oxidativo e não oxidativo relativamente às necessidades energéticas do exercício (Jones e Burnley, 2009). Segundo Poole *et al.* (2008), o estudo da cinética do VO_2 proporciona uma janela única na compreensão do controlo metabólico.

Existem três tipos básicos de cinética do VO_2 relacionados com diferentes domínios de intensidade de exercício: (i) domínio das intensidades moderadas, incluindo todas as intensidades que não provoquem um aumento significativo da $[\text{La}^-]$ em relação aos valores de repouso. Na fase inicial de transição a $[\text{La}^-]$ pode subir ligeiramente mas, com o aproximar do equilíbrio metabólico, retorna aos valores de repouso. O limite superior deste domínio é definido pelo LL ou LV; (ii) domínio das intensidades pesadas, que inclui todas as intensidades de exercício que induzem um aumento notório da $[\text{La}^-]$ em relação aos valores de repouso mas em que é possível restabelecer o equilíbrio entre a produção e a remoção a um nível mais elevado da $[\text{La}^-]$. O limite superior deste domínio é estabelecido pelo EEML; (iii) domínio das intensidades severas, englobando as intensidades de exercício que já se encontram acima do EEML, provocando um aumento contínuo do nível de $[\text{La}^-]$.

No domínio das intensidades moderadas podem ser identificadas 3 fases da cinética do VO_2 (Whipp *et al.*, 1982; Whipp e Ward, 1990; Gaesser e Poole, 1996), uma primeira fase, imediatamente após o aumento da intensidade de exercício, com uma duração de 15 a 25-s, em que o VO_2 aumenta rapidamente. Nesta fase, dado que ainda não existiu tempo suficiente para que o sangue venoso proveniente dos músculos ativos tenha chegado aos pulmões, o aumento do VO_2 deve-se principalmente ao aumento do débito sanguíneo pulmonar (Linnarsson, 1974).

A fase 2 reflete já a chegada aos pulmões de sangue proveniente dos músculos ativos e, portanto, com menor conteúdo em O_2 . O VO_2 começa a refletir, também, o O_2 do metabolismo muscular, pelo que o seu aumento resulta do produto de um maior débito sanguíneo pulmonar por um aumento progressivo da $(a-v)\text{O}_2$. Nesta fase, o aumento do VO_2 é progressivamente mais lento e a cinética assume um comportamento aproximadamente monoexponencial, tendendo assintoticamente para um valor de estabilidade.

A fase 3 corresponde à fase de equilíbrio em que o VO_2 se mantém aproximadamente constante ao longo do tempo. O equilíbrio é atingido após cerca 3-min (Barstow, 1994;

Gaesser e Poole, 1996) e as reservas locais de O₂ encontram-se estáveis, embora reduzidas em relação aos valores de repouso.

No domínio das intensidades pesadas o aumento é também exponencial mas a fase de estabilização não é atingida até aos 3-min. Após a fase 2 verifica-se o aparecimento de um aumento muito paulatino do VO₂ que se vai desenvolvendo ao longo do tempo (a cIVO₂) e atrasa o atingir do equilíbrio.

Durante um exercício a intensidade constante acima do LL ou LV, a resposta fisiológica ao exercício torna-se mais complexa, tanto a nível de [La⁻] como do VO₂ (Linnarson, 1974; Barstow e Molé, 1991; Poole *et al.*, 1991). O aumento exponencial na fase primária não é suficiente para atingir um estado estacionário e o VO₂ tende a ser maior do que seria previsível com base na relação submáxima entre o VO₂ e a intensidade do exercício (Whipp e Wasserman, 1972; Whipp *et al.*, 1982; Barstow e Molé, 1991).

Após 90 a 150-s de exercício tem origem o aumento mais pronunciado do VO₂ mas a uma velocidade mais lenta (Barstow e Molé, 1991; Patterson e Whipp, 1991). Nesta intensidade de exercício a resposta no VO₂ pode ser caracterizada através da seguinte equação biexponencial:

$$\dot{V}O_2(t) = \begin{cases} \dot{V}O_{2\text{base}} & \text{for } t < t_{d_p} \\ \dot{V}O_{2\text{base}} + A_p \left(1 - e^{-(t-t_{d_p})/\tau_p}\right) & \text{for } t_{d_p} \leq t < t_{d_{sc}} \quad (\text{primary component}) \\ \dot{V}O_{2\text{base}} + A_p \left(1 - e^{-(t_{d_{sc}}-t_{d_p})/\tau_p}\right) + A_{sc} \left(1 - e^{-(t-t_{d_{sc}})/\tau_{sc}}\right) & \text{for } t \geq t_{d_{sc}} \quad (\text{slow component}) \end{cases}$$

O limite superior para o exercício na intensidade pesada corresponde ao EEML (Smith e Jones, 2001; Pringle e Jones, 2002) e geralmente ocorre a ~50% [correspondente à diferença entre a vLL ou velocidade no limiar ventilatório (vLV) e vVO_{2max}] (Poole *et al.*, 1988; Carter *et al.*, 2000, 2002; Wilkerson *et al.*, 2004). No estudo de Pringle e Jones (2002) o EEML foi alcançado a 80 ± 3% do VO_{2max}. Este valor foi equivalente a 56 ± 4% do . O valor médio do EEML foi 3.8 ± 0.5 mmol.L⁻¹.

Por definição, os limites fisiológicos para a descrição dos domínios de intensidade compreendem o LV e LL (moderado/pesado), o EEML e a PC (pesado/severo), e o $\text{VO}_{2\text{max}}$ (severo/extremo), que induzem alterações a nível metabólico e diferentes respostas ventilatórias durante o exercício a intensidade constante (Xu e Rhodes, 1999; Whipp e Rossiter, 2005; Burnley e Jones, 2007). No passado, Barstow (1994) indicou que de acordo com a cinética do VO_2 , o EEML representa a transição entre o domínio das intensidades pesadas e severas.

A maior descoberta no estudo de Pessoa Filho *et al.* (2010) foi que a cinética do VO_2 na NPD em redor do LV_2 promove respostas ao nível do VO_2 que refletem o domínio das intensidades pesadas e severas. Nesse sentido, os autores sugeriram a aplicação da cinética do VO_2 em detrimento da PC com o objetivo de diminuir o número de testes para acesso ao limite do domínio de intensidades.

2.5.1 Mecanismos básicos para a componente lenta do VO_2

A existência da clVO_2 tem sido associada à elevação da $[\text{La}^-]$ em relação aos valores de repouso (Whipp e Wasserman, 1972; Poole *et al.*, 1988; Casaburi *et al.*, 1989; Whipp e Ward, 1990).

A amplitude significativa da clVO_2 reflete uma ineficiência crescente (Krustrup *et al.*, 2009), que é confirmada pelos valores atingidos nas intensidades de exercício onde esta fase decorre (Özyener *et al.*, 2001; Carter *et al.*, 2002; Whipp *et al.*, 2002). Além disso, esta fase reflete também o aumento da taxa metabólica (Bangsbo *et al.*, 2001) e uma contínua redução da fosfocreatina do músculo (Rossiter *et al.*, 2002; Wilkerson *et al.*, 2004; Jones *et al.*, 2008), fatores associados à fadiga.

Segundo Billat *et al.* (2000), a intensidades de exercício elevadas, na ordem dos 90% da $\text{vVO}_{2\text{max}}$, a velocidade de produção de lactato excede a de remoção, logo, a $[\text{La}^-]$ aumenta. Após um primeiro aumento monoexponencial do VO_2 , decorre um segundo aumento após sensivelmente 3-min que é definido como clVO_2 . Os autores acrescentaram que a clVO_2 pode chegar aos $500 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ e é geralmente considerada

significante quando os valores atingem patamares acima dos $200 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$. Turner *et al.* (2006) indicaram que a cinética do VO_2 em exercícios intervalados a intensidades elevadas tende a associar-se ao perfil de $[\text{La}^-]$ como previamente reportado para exercícios a intensidade constante.

Um decréscimo na clVO_2 pode igualmente surgir para as mesmas velocidades relativas (em % do $v\text{VO}_{2\text{max}}$) devido ao aumento do EEML (Yoshida *et al.*, 1992). Como a clVO_2 é encontrada apenas em intensidades de exercício que promovem uma acidose sustentada (Whipp *et al.*, 2002), a $[\text{La}^-]$ induzida pelo exercício é geralmente considerada como estando intimamente ligada com a clVO_2 , além disso, verificou-se ser correlacionada com o tempo e magnitude da clVO_2 (Whipp, 1987; Roston *et al.*, 1987; Poole *et al.*, 1988).

Outro fator que tem sido relacionado com a clVO_2 é o recrutamento progressivo de fibras musculares do tipo II (Coyle, 1992; Shinohara e Moritani, 1992; Poole *et al.*, 1994) que são menos eficientes do que as fibras musculares do tipo I (Åstrand *et al.*, 2003; Poole e Jones, 2005). O surgir da clVO_2 deriva fundamentalmente do recrutamento de fibras rápidas de tipo II (Poole *et al.*, 1991). Foi demonstrado que este tipo de fibras apresentam um rácio entre fosfogénio e O_2 que é 18% mais baixo que nas fibras do tipo I. Nesse sentido, é necessário mais O_2 para produzir os mesmos níveis de ATP e manter uma intensidade de exercício (Billat *et al.*, 2000).

Vários estudos mostraram que existe uma significativa correlação inversa entre a percentagem de fibras tipo I e da amplitude da clVO_2 (A_{cl}) (Barstow *et al.*, 1996; Russel *et al.*, 2002; Pringle *et al.*, 2003). Por exemplo, Barstow *et al.* (1996) relataram um coeficiente de correlação para estas duas variáveis entre -0.64 e -0.83 para diferentes intensidades de exercício no ciclismo.

Além disso, vários estudos têm plasmado que mudanças na atividade neuromuscular consistentes com o recrutamento de fibras do tipo II encontram-se correlacionadas com o desenvolvimento da clVO_2 (Borrani *et al.*, 2001; Perrey, *et al.*, 2001; Vercruyssen, *et al.*, 2009).

Suportando a teoria de que o recrutamento de fibras tipo II está relacionado com o surgir da $clVO_2$, Carter *et al.* (2006) e Deley *et al.* (2006) mostraram que a $clVO_2$ foi menor e surgiu mais tarde após o exercício ter induzido a depleção de glicogénio nas fibras do tipo II. Em maiores intensidades de exercício no ciclismo ou movimentos dos membros superiores no remo que induzam uma maior utilização de fibras do tipo II, a $clVO_2$ revelou-se maior (Smith *et al.*, 2006, Vercruyssen *et al.*, 2009).

O aspeto distintivo do domínio de intensidades severas é a impossibilidade de alcançar o equilíbrio no VO_2 . Este nunca estabiliza, pelo que a $clVO_2$ mantém-se crescente até que, caso o aumento da acidez não provoque fadiga láctica precoce, seja atingido o $\dot{V}O_{2\max}$ (Poole *et al.*, 1988; Gaesser e Poole, 1996).

A $clVO_2$ é considerada um custo adicional de O_2 que reduz a energia disponível do corpo, estando associada a uma diminuição na eficiência mecânica (Poole *et al.*, 1991; Gaesser e Poole, 1996; Jones e Carter, 2000), em teoria, deve ser considerada como um fator determinante do desempenho, especialmente durante eventos de longa duração (Jones e Burnley, 2009).

Fernandes *et al.* (2003), analisaram transições na $vVO_{2\max}$ na NPD confirmando os resultados de Demarie *et al.* (2001), o desenvolvimento de uma $clVO_2$. Contudo, no estudo não foi realizada recolha de VO_2 através de *breath-by-breath - respiração por respiração-* (BxB) e a $clVO_2$ foi calculada como a diferença no VO_2 entre os valores determinados aos 3-min e no final do exercício. Este grupo de investigação confirmou mais tarde que a $clVO_2$ parece ser uma determinante da $vVO_{2\max}$ na NPD (Fernandes *et al.*, 2008).

Os resultados parecem indicar que o desempenho em provas de NPD de meio fundo é influenciado pelo $VO_{2\max}$ dos nadadores, em linha com o que foi previamente reportado (Costill *et al.*, 1985; Alves *et al.*, 1996; Fernandes *et al.*, 2006; Reis *et al.*, 2012a). A $clVO_2$ não parece estar relacionada com o T_{lim} , uma vez que vários estudos não encontraram correlações significativas entre o aumento do tempo até à exaustão e a

diminuição da $\dot{V}O_2$ (Billat *et al.*, 1998; Demarle *et al.*, 2001; Bailey *et al.*, 2009). No entanto, Bailey *et al.* (2009) verificaram que em indivíduos não treinados, a magnitude da $\dot{V}O_2$ estava inversamente correlacionada com o T_{lim} num exercício em intensidade severa realizado no ciclismo.

2.5.2 Implicações fisiológicas da constante de tempo da componente primária

A capacidade de desenvolver rapidamente níveis elevados de energia através do metabolismo aeróbio tem sido associada ao sucesso na maioria das atividades desportivas e ocupacionais (Whipp *et al.*, 2005).

Durante a transição para o exercício, o consumo de O_2 por parte dos músculos é elevado e até que um novo estado de equilíbrio seja atingido, os músculos dependem das fontes anaeróbias disponíveis (Tschakovsky e Hughson, 1999; Jones e Burnley, 2009). Este défice é chamado défice de O_2 e até que o estado de equilíbrio seja alcançado, os requisitos energéticos são obtidos através das reservas de O_2 do sangue venoso, dos músculos e da reação acelerada da creatina quinase (CK) e taxa glicolítica que resulta, respetivamente, na diminuição da fosfocreatina, aumento de hidrogénio (H^+) e produção de lactato (di Prampero e Margaria, 1968; Rossiter *et al.*, 1999).

No exercício realizado a intensidade moderada, a magnitude do défice de O_2 é uma função da amplitude da resposta e da constante temporal (Whipp *et al.*, 2002; Bosquet *et al.*, 2007; Jones e Burnley, 2009). Parece lógico que uma rápida adaptação a um aumento da necessidade metabólica minimiza o défice de O_2 e, conseqüentemente, a contribuição do sistema anaeróbio, que é um dos principais contribuintes para o processo de fadiga (Hepple, 2002; Jones e Koppo, 2005).

Assim, uma menor τ_p e, conseqüentemente, mais rápida cinética do $\dot{V}O_2$ permite uma maior preservação temporal da homeostasia e, conseqüentemente, a capacidade de manter um exercício no domínio da intensidade pesada (Jones e Poole, 2005). Já o

estudo de Murias *et al.* (2011) sugere que com uma cinética mais lenta do VO_2 o grau de adaptação do VO_2 pode ser limitado pelo O_2 disponível.

Portanto, para o mesmo aumento na intensidade de exercício (e, conseqüentemente, para uma taxa metabólica similar), os indivíduos com uma cinética lenta vão depender numa maior medida das vias metabólicas não-oxidativas para alcançar as necessidades energéticas associadas à intensidade do exercício, atingindo a fadiga precoce, como demonstrado em estudos anteriores (Demarle *et al.*, 2001; Bailey *et al.*, 2009).

Kilding *et al.* (2007) estudaram a cinética do VO_2 final e durante o exercício em atletas de meia e longa distância, encontraram relações significativas entre $\text{VO}_{2\text{max}}$ e t_p nos atletas de longa distância contrariamente ao verificado para os atletas de meia distância. O mesmo fenômeno foi verificado relativamente ao LV, onde novamente não se verificaram relações significativas relativamente aos atletas de meia distância.

Alguns autores têm demonstrado que uma menor t_p está associada a maiores valores de $\text{VO}_{2\text{max}}$ (Powers *et al.*, 1985; Chilibeck *et al.*, 1996; Caputo *et al.*, 2003; Scheuermann e Barstow, 2003; Bailey *et al.*, 2009) enquanto outros estudos não conseguiram demonstrar tal relação (Barstow *et al.*, 2000; Pringle *et al.*, 2003). A cinética parece ser mais sensível, e refletir de forma mais adequada, a adaptação ao treino aeróbio do que o $\text{VO}_{2\text{max}}$ (Norris e Petersen, 1998; Bailey *et al.*, 2009).

Estudos prévios têm relatado que a cinética mais rápida do VO_2 e redução da A_{cl} encontram-se altamente correlacionados com os níveis mais elevados de aptidão aeróbia (Powers *et al.*, 1985; Chilibeck *et al.*, 1996; Scheuermann e Barstow, 2003), melhoria do estado de treino (Norris e Petersen, 1998; Koppo *et al.*, 2004; Berger *et al.*, 2006) e melhor tolerância à fadiga (Demarle *et al.*, 2001; Bailey *et al.*, 2009). Além disso, a t_p tem sido demonstrada como significativamente correlacionada com o desempenho no remo e na corrida (Kilding *et al.*, 2006; Ingham *et al.*, 2007).

Sousa *et al.* (2011a) encontraram no seu estudo uma relação direta entre a t_p do período de cinética final (*off-transient*) e a velocidade média nos 200 m crol ($r = 0.77$, $p < 0.02$),

t_p do período de cinética final e $\dot{V}O_2$ ($r = 0.76$, $p < 0.03$) e t_p do período de cinética final e amplitude da primeira fase da cinética do consumo de oxigénio (A_p) ($r = 0.72$, $p < 0.04$).

Por exemplo, Kilding *et al.* (2006) relataram uma t_p mais curta (isto é, a cinética mais rápida) em exercício de intensidade moderada como associada a mais rápidos desempenhos nos 5 km em 36 corredores treinados do género masculino. Ingham *et al.* (2007) apresentaram resultados semelhantes para o remo. Nesse estudo, em que existiram dois grupos de oito remadores, foi referido que o grupo de elite, que incluía campeões olímpicos, apresentou uma t_p mais rápida tanto em intensidades de exercício moderadas como pesadas, que um grupo de remadores de nível de clube. Também foi referida uma correlação significativa entre t_p e o desempenho nos 2000 m de remo.

A análise realizada a um recordista mundial reportou uma t_p de 10-s numa transição de repouso para corrida moderada (Jones e Poole, 2005). Este valor é mais rápido do que os valores associados de forma comum a indivíduos treinados e não treinados em intensidades de exercício semelhantes (Özyener *et al.*, 2001; Carter *et al.*, 2002; Koppo *et al.*, 2004). Além disso, Ingham *et al.* (2007) referiram-se a um valor impressionante de t_p de 5.6-s que foi atingido por um múltiplo campeão olímpico de remo.

O impacto potencial no desempenho da cinética é de particular importância em eventos de meia-distância (exigem 1-15-min de exercício) uma vez que solicitam significativamente tanto a via anaeróbia como a aeróbia (Medbø e Tabata, 1989; Gastin, 1991; Hill, 1999). Como se sabe, a grande maioria dos eventos competitivos na NPD situa-se neste balizamento temporal, esta modalidade desportiva é consideravelmente diferente dos desportos terrestres, o meio aquático induz diferentes respostas metabólicas e biomecânicas no corpo do nadador (Holmer, 1974; Toussaint e Beek, 1992; Zamparo *et al.*, 2011).

Alves *et al.* (2009) determinaram a relação entre os parâmetros da cinética do $\dot{V}O_2$ na NPD no domínio da intensidade pesada e o desempenho nos 400 m. Apenas a componente rápida mostrou-se correlacionada com o desempenho nos 400 m. Reis *et al.*

(2009) estudaram a relação entre os parâmetros da cinética do VO_2 numa intensidade constante no domínio da intensidade severa e o desempenho nos 400 m. A componente rápida da resposta do VO_2 mostrou-se significativamente correlacionada com o desempenho, com o $\text{VO}_{2\text{max}}$ absoluto e com a $v\text{VO}_{2\text{max}}$. Estes estudos evidenciaram que a resposta da \dot{V}_p na NPD está associada a uma maior capacidade e desempenho aeróbio.

Num estudo que descreveu a cinética do VO_2 envolvendo os 200 m máximos, Fernandes *et al.* (2010a) demonstraram que apenas a componente rápida se relacionou com o desempenho, paralelamente, que não foi observada clVO_2 . Foi igualmente referido que o $\text{VO}_{2\text{max}}$ encontrava-se altamente correlacionado com o desempenho nos 200 m.

2.5.3 Cinética do VO_2 , modalidade de exercício e posição corporal

Como a cinética do VO_2 durante o exercício submáximo é influenciada tanto pelo modo de exercício (Schneider *et al.*, 2002) como pela posição do corpo (Koga *et al.*, 1999), é possível que as particularidades na NPD em relação à posição corporal e restrições ambientais possam ser responsáveis pelas diferenças significativas nas cinéticas do VO_2 que têm sido reportadas relativamente a exercícios na posição vertical.

Hill *et al.* (2003) referiram que para o exercício de intensidade severa, a A_p é maior e a \dot{V}_p foi mais rápida na corrida comparativamente ao ciclismo. Além disso, também têm sido referidas menores constantes temporais da clVO_2 (t_{cl}) na corrida em relação ao ciclismo (Billat *et al.*, 1998; Jones e MaConnell, 1999; Carter *et al.*, 2000).

Estudos anteriores revelaram que a \dot{V}_p foi mais lenta em exercícios que solicitam predominantemente grupos musculares dos membros superiores do que em exercícios que solicitam predominantemente grupos musculares dos membros inferiores (Koga *et al.*, 1996; Koppo *et al.*, 2002). Também a clVO_2 tem sido indicada como semelhante (Koppo *et al.*, 2004) e superior (Schneider *et al.*, 2002) em exercícios que solicitam predominantemente grupos musculares dos membros superiores em relação a membros

inferiores. No entanto, Roberts *et al.* (2005) não relataram diferenças na p ou na amplitude da $clVO_2$ (A_2) entre o exercício no ergómetro de remo e no cicloergómetro.

O exercício numa posição supina promove uma cinética do VO_2 mais lenta, possivelmente devido à redução do fluxo sanguíneo e perfusão muscular (Koga *et al.*, 1999; Egaña *et al.*, 2010). Paralelamente, a posição dos músculos solicitados em relação ao coração, e, conseqüentemente, as diferentes pressões de perfusão induzidas, também alteram a cinética do VO_2 (Hughson *et al.*, 1996; Koppo e Bouckaert, 2005; Egaña *et al.*, 2010). A posição do corpo assumida na NPD poderá reduzir a perfusão muscular (Jones *et al.*, 2006; DiMenna *et al.*, 2010).

Capítulo III. Descrição dos estudos

3.1 Introduções

Estudo 1 - Um teste incremental não permite estimar com precisão o estado estacionário máximo de lactato na natação

Palavras-chave: Natação, Estado Estacionário Máximo de Lactato; Teste Incremental

A determinação e monitorização periódica dos parâmetros fisiológicos e variáveis associadas ao exercício afirma-se como uma ferramenta essencial para o planeamento e análise do processo de treino dos atletas. Ao longo do tempo, vários testes têm sido utilizados com o objetivo de avaliar a condição física dos atletas. A determinação da $[La^-]$ é uma ferramenta muito popular, utilizada por técnicos e investigadores para quantificar as intensidades de treino (Mujika *et al.*, 1995; Pyne *et al.*, 2001; Anderson *et al.*, 2006),

Uma relação entre $[La^-]$ e o exercício muscular foi verificada à 200 anos atrás (Beneke *et al.*, 2011), a acumulação deste metabolito induz falhas catastróficas da homeostasia nos músculos em atividade conduzindo diretamente ao término do exercício por parte dos atletas (Baron *et al.*, 2008). Alguns autores transmitiram que a relação entre $[La^-]$ e VN é importante para a avaliação do desempenho na NPD (Dekerle *et al.*, 2005a; Baron *et al.*, 2005; Anderson *et al.*, 2006; Pelarigo *et al.*, 2011). Especificamente, procedimentos associados à curva da relação velocidade-concentração de lactato têm sido extensivamente aplicados para determinação da capacidade aeróbia e treino em atletas de elite (Pyne *et al.*, 2001; Toubekis *et al.*, 2006).

Vários estudos têm evidenciado que a resposta da $[La^-]$ ao exercício de intensidade incremental é altamente correlacionada com o desempenho aeróbio (Heck *et al.*, 1985; Weltman, 1995). O LL representa o início de uma acidose metabólica durante um teste de exercício incremental, o ponto em que existe um aumento abrupto na $[La^-]$ acima dos níveis basais (Beaver *et al.*, 1985). Pode ser determinado a partir de diferentes metodologias e é um importante ponto de referência quando se define intensidades de

treino para atletas de fundo (Plato *et al.*, 2008), é geralmente considerado como um bom substituto do EEML (Heck *et al.*, 1985).

Recentemente, Fernandes *et al.* (2011) indicaram que a utilização de protocolos progressivos de 200 m é um processo válido para determinação do LL individual e acrescentaram que o teste incremental de 7 x 200 m parece ser um bom protocolo de avaliação da evolução da capacidade aeróbia em nadadores como alternativa ao EEML.

De acordo com Faude *et al.* (2009), existem evidências de que algumas formas de determinação do LL poderão proporcionar estimativas indiretas do EEML. A vEEML é considerada o melhor preditor de capacidade aeróbia (Jones e Doust, 1998; Jones e Carter, 2000; Billat *et al.*, 2003), este conceito fisiológico não indica uma determinada intensidade de exercício mas sim uma intensidade de exercício acima da qual as alterações qualitativas do metabolismo tornam-se evidentes (Beneke *et al.*, 2000).

Conseqüentemente, o EEML corresponde à maior intensidade de exercício ou velocidade que pode ser mantida ao longo do tempo sem uma acumulação contínua de lactato no sangue (Beneke, 1995; Beneke *et al.*, 2000; Billat *et al.*, 2003). É também definido como a maior intensidade de exercício constante que pode ser suportada, mantendo o equilíbrio entre os processos de acumulação e eliminação de lactato sanguíneo (Jones e Carter, 2000).

A metodologia de determinação do EEML separa este conceito fisiológico da maioria de outros (entre os quais o LL). A principal diferença metodológica é que requer várias repetições de longa duração (20 a 30-min) que terão de ser realizadas em diferentes intensidades de exercício (constantes) e diferentes dias, procedimento que requer bastante tempo e torna-se exigente para todos os indivíduos envolvidos.

Beneke (2003) indicou que os testes de intensidade de exercício constante que apresentam uma duração de pelo menos 30-min, e um aumento de $[La^-]$ não superior a 1.0 mmol.L^{-1} após o minuto 10 do teste parece ser a metodologia mais aceitável relativamente à determinação do EEML e Billat *et al.* (2003) afirmaram que, para

alcançar um verdadeiro EEML, torna-se necessário realizar quatro ou cinco exercícios prolongados até aos 30-min de duração.

Baron *et al.* (2003) salientaram que este conceito fisiológico pode representar um "*gold standard*" para manter e melhorar a capacidade aeróbia. O EEML já foi estudado por exemplo na passadeira, cicloergómetro, ergómetro de remo e patinação de velocidade, mas o número de estudos que determinaram diretamente este conceito fisiológico é bastante limitado, especificamente na NPD, onde as condições de terreno diferem significativamente do ambiente de laboratório, local onde a maioria dos estudos anteriores relacionados com este conceito fisiológico foram conduzidos.

De acordo com Beneke (1995), o LL obtido nos 4 mmol.L⁻¹ é um dos métodos mais utilizados para a deteção do LL em remadores e parece ser bastante representativo do EEML na corrida e ciclismo. Particularmente na NPD, o teste dos 400 m tem sido muito utilizado para estimar a VAM e na prescrição de intensidades de treino (Pelayo *et al.*, 2007).

Muitas investigações associadas ao EEML na NPD indicam valores relacionados com o EEML a sensivelmente 90% da VAM (Baron *et al.*, 2005; Dekerle *et al.*, 2005a,b; Pelarigo *et al.*, 2011), mas algumas recorreram a quatro ou cinco repetições de 30-min realizadas em diferentes dias a intensidade de exercício constante (Baron *et al.*, 2005; Dekerle *et al.*, 2005a).

Os nadadores também devem apresentar uma boa combinação e controle dos parâmetros do ciclo gestual com o objetivo de alcançar um desempenho de alto nível (Costill *et al.*, 1985; Pelayo *et al.*, 1996). A associação entre o EEML e parâmetros do ciclo gestual foi igualmente o foco de estudos anteriores que reportaram uma estreita relação entre ambos (Dekerle *et al.*, 2005a; Pelayo *et al.*, 2007; Pelarigo *et al.*, 2011; Oliveira *et al.*, 2011).

O EEML não pode servir como um marcador de capacidade de desempenho (Hoogeveen *et al.*, 1997; Beneke *et al.*, 2000), não só representa uma intensidade de exercício limite entre os domínios da intensidade pesada e severa, mas também um limite para além do qual a eficiência biomecânica - por exemplo a DC - torna-se comprometida ao longo do tempo (Dekerle *et al.*, 2005a; Pelarigo *et al.*, 2011; Oliveira *et al.*, 2011).

Previamente, Anderson *et al.* (2006) salientaram que os testes incrementais na NPD poderão facultar *feedbacks* relativamente ao desempenho. No passado, também a PSE tem sido sugerida como uma ferramenta útil na prescrição de intensidades de exercício (Steed *et al.*, 1994). Alguns autores indicaram uma boa relação entre a resposta de $[La^-]$ durante o exercício e a PSE (DeMello *et al.*, 1987; Steed *et al.*, 1994.).

O objetivo deste estudo foi verificar se o EEML pode ser indiretamente determinado através de um teste incremental na NPD.

As hipóteses colocadas foram: 1) A metodologia adotada para determinação do LL interfere com os valores alcançados; 2) o LL não permite determinar com rigor o EEML.

Estudo 2 - A relação distância-tempo e a velocidade do estado estacionário máximo de lactato na natação

Palavras-chave: Natação, Estado Estacionário Máximo de Lactato; Velocidade Crítica

A NPD é um desporto olímpico que está a receber bastante atenção de investigadores na tentativa de estabelecer uma melhor prescrição, monitorização e avaliação num momento em que os avanços na área da fisiologia do exercício permite que os treinadores desenvolvam e prescrevam programas de treino e avaliem o efeito deste sobre o desempenho aeróbio.

Monod e Scherrer (1965) foram os primeiros a observar uma relação hiperbólica entre potência e tempo até à exaustão num grupo muscular. Ettema (1966) aplicou o conceito de PC para a corrida substituindo a velocidade por potência e distância por trabalho. A assíntota da relação entre a velocidade hiperbólica e tempo até exaustão, ou por conversão, o declive da relação linear entre a distância e o tempo até à exaustão é usualmente denominada VC e afirma-se como uma ferramenta útil para avaliar o desempenho em várias formas de locomoção (di Prampero *et al.*, 2008).

Wakayoshi *et al.* (1992a), foram os primeiros a prolongar o conceito de PC para a NPD, determinaram nesse caso, a VC, parâmetro que parece representar a maior potência ou velocidade que pode ser mantida através da capacidade aeróbia em provas de longa duração (Hill, 1993; Vandewalle *et al.*, 1997). De acordo com Zacca *et al.* (2010), a VC é um método de baixo custo, fácil de aplicar em diferentes populações, apresenta muitas vantagens, tais como a fácil aplicação e análise de um grande número de atletas. Não requer o uso de equipamento dispendioso ou procedimentos invasivos (Hill, 1993) e pode ser realizado durante sessões de treino ou utilizando a análise de resultados em competição (Costa *et al.*, 2009).

Anteriormente, foi sugerido que a VC pode ser usada como um índice de capacidade aeróbia na NPD (Toussaint *et al.*, 1998; Wakayoshi *et al.*, 1992b) e pode ser apropriada para a prescrição do treino aeróbio em nadadores adultos (Wakayoshi *et al.*, 1993;

Rodríguez *et al.*, 2003). O EEML apresenta um real significado fisiológico quando comparado com a VC, mas a sua forma de determinação é bastante difícil de aplicar no terreno, porque tradicionalmente requer quatro a cinco repetições de 30-min realizadas a intensidades de exercício constantes em diferentes dias, procedimento que consome bastante tempo e torna-se exigente para todos os indivíduos envolvidos.

Este conceito fisiológico corresponde à maior intensidade ou velocidade de exercício que pode ser mantida ao longo do tempo, sem que decorra uma contínua acumulação de [La⁻]. Não proporciona uma determinada intensidade de exercício, mas sim uma intensidade de exercício acima da qual o metabolismo muda qualitativamente (Beneke *et al.*, 2000). Particularmente na NPD, o teste dos 400 m tem sido muito utilizado para estimar a VAM e prescrever as intensidades de treino (Pelayo *et al.*, 2007).

Wakayoshi *et al.* (1993) utilizaram na determinação da VC distâncias preestabelecidas assumindo que a relação entre a VN e a duração do esforço é linear para distâncias entre 200 e 1500 m, verificaram que a VC determinada numa piscina comum, com a realização de apenas duas repetições máximas em distâncias de nado de 200 e 400 m correspondia à vEEML, sugerindo a utilização destas distâncias de nado na avaliação do desempenho, sem requerer a utilização de recolha de sangue ou equipamentos sofisticados.

Alguma controvérsia persiste relativamente à relação entre a vEEML e a VC, resultados anteriores evidenciaram que a VC não pode ser semelhante ao designado “*gold standard*” na NPD (Dekerle *et al.*, 2005b). O mesmo também tem sido questionado relativamente à corrida e ciclismo (Smith e Jones, 2001; Pringle e Jones, 2002).

Mais recentemente, Barden e Kell (2009) indicaram que na NPD, a VC está associada ao ponto no qual as alterações substanciais na FG e DC ocorrerem. No seu estudo (8 x 100 m com início a 65% do melhor desempenho nos 100 m e repouso individualizado no rácio 1:1), em intensidades de exercício acima da VC (aproximadamente 80% do melhor registo nos 100 m), tornou-se evidente uma substancial e significativa alteração na FG, especificamente entre a 4^a (80% do melhor registo) e 5^a repetição (85% do

melhor registo). Esta constatação evidenciou que existe uma relação linear entre a FG e a VN até ao momento em que a VC é alcançada.

A modelação da relação $d-t$ utilizando um modelo de dois parâmetros para estimar a VC tem sido amplamente utilizada na NPD (Wakayoshi *et al.*, 1992a,b, 1993; Pelayo *et al.*, 2000; Dekerle *et al.*, 2002, 2005b, 2010; Pelarigo *et al.*, 2011), embora o custo energético na NPD aumente exponencialmente com o aumento da VN, situação que conduz a uma distorção da relação $d-t$ (di Prampero *et al.*, 2008).

Nos últimos anos, as necessidades energéticas de cariz anaeróbio receberam relativamente pouca atenção no campo da fisiologia do exercício. De acordo com Hill (1993), a interceção no eixo do y da relação $d-t$ representa a capacidade de trabalho anaeróbio (CTA), denominada para a NPD como capacidade de nado anaeróbio (CNA), em metros e corresponde à máxima distância que pode ser realizada anaerobiamente. É sugerido que proporciona a capacidade anaeróbia e está relacionada com a capacidade de executar exercícios de alta intensidade.

Estudos anteriores demonstraram associações significativas entre a CTA e o Teste de Wingate e défice de oxigénio (Hill, 1993), o trabalho realizado em 5 repetições máximas de 1-min de exercício (Jenkins e Quigley, 1991), a produção de ATP muscular (Green *et al.*, 1994) e a máxima $[La^-]$ após exercício (Vandewalle *et al.*, 1997). Este parâmetro pode ser utilizado como medida indireta na avaliação e predição de desempenhos anaeróbios (Green *et al.*, 1994; Hill *et al.*, 1994), revelou uma excelente correlação com exercícios predominantemente anaeróbios (Jenkins e Quigley, 1991; Hill, 1993).

Os objetivos deste estudo foram: 1) verificar se a VC pode ser determinada através de diferentes combinações de distâncias de nado e, 2) analisar se a vEEML pode ser indiretamente determinada através da VC.

As hipóteses equacionadas foram: 1) A VC pode ser determinada através de diferentes combinações de distâncias de nado; 2) a VC sobrestima a vEEML.

Estudo 3 - As respostas fisiológicas e mecânicas abaixo e acima do estado estacionário máximo de lactato em nadadores

Palavras-chave: Natação, Estado Estacionário Máximo de Lactato; Cinética do VO_2

No desporto moderno, o controlo fisiológico do processo de treino representa um importante papel na perspetiva do diagnóstico metabólico e motor dos atletas e previsão e expectativa de desempenho, bem como na avaliação dos benefícios do processo de treino e compreensão do mesmo. A adaptação do VO_2 após o início do exercício em diferentes intensidades pode ter impacto sobre o metabolismo muscular e influenciar o desempenho do exercício (Jones e Burnley, 2009).

A cinética do VO_2 proporciona informação relacionada com a eficiência e condicionalismo de vários sistemas integrados e as variáveis reveladas pela modelação da resposta da cinética do VO_2 têm sido evidenciadas como importantes para o desempenho físico durante exercícios de alta intensidade (Ingham *et al.*, 2007; Reis *et al.*, 2010, 2012a).

Durante exercícios de alta intensidade, onde o atleta consegue manter uma determinada intensidade de exercício constante por um período considerável de tempo, a $clVO_2$ representa um custo adicional de oxigénio que proporciona ao organismo energia mais rapidamente. Jones *et al.* (2011) indicaram que a $clVO_2$ é uma propriedade fundamental da resposta metabólica ao exercício realizado acima do LL que tem sido por vezes excluída dos livros relacionados com a fisiologia do exercício, presumivelmente porque a sua existência representa um desafio inconveniente para a compreensão das necessidades energéticas musculares.

De acordo com Jones e Poole (2005), o limite superior para o domínio da intensidade pesada é definido como a maior intensidade de exercício na qual a acumulação de $[La^-]$ pode ser mantida num elevado nível, mas em estado estacionário. Em exercícios de intensidade severa, onde a $clVO_2$ continua a aumentar, o VO_{2max} é atingido e sinaliza o término iminente do exercício (Burnley e Jones, 2007).

O aspeto característico do domínio da intensidade severa é a impossibilidade de atingir um estado estacionário no $\dot{V}O_2$, este nunca estabiliza, a $c\dot{V}O_2$ continua a crescer até (no caso em que o aumento da acidose não promove a fadiga láctica precoce) o $\dot{V}O_{2max}$ é atingido (Gaesser e Poole, 1996). Existem evidências de que a $c\dot{V}O_2$ é determinada principalmente por processos intrínsecos dos músculos em contração que resulta numa perda progressiva da eficiência do músculo (Gaesser e Poole, 1996; Jones e Carter, 2000).

O LL representa o início de uma acidose metabólica durante um teste incremental, o ponto em que existe um aumento abrupto na $[La^-]$ acima dos níveis basais (Beaver *et al.*, 1985). O LV ou LL são geralmente considerados como bons substitutos de EEML (Heck *et al.*, 1985; Wasserman *et al.*, 1973). LV_1 ou limiar da adaptação ventilatório à produção de dióxido de carbono, corresponde aos primeiros aumentos não lineares no $\dot{V}CO_2$ e \dot{V}_E , devido ao efeito tampão do bicarbonato no H^+ em resposta ao aumento sistemático da $[La^-]$ acima dos valores de repouso (Wasserman *et al.*, 1973).

O LV_2 , também definido como PCR ou limiar de desacoplamento da \dot{V}_E a partir do $\dot{V}CO_2$, pode ser identificado como o segundo ponto de interrupção na resposta da \dot{V}_E principalmente explicado por uma acidose (diminuição do pH) uma vez que o bicarbonato é sobrecarregado pela crescente produção de lactato (Vallier *et al.*, 2000).

A $vEEML$ é considerada a melhor preditora de desempenho da capacidade aeróbia (Billat *et al.*, 2003). Este conceito fisiológico não indica uma determinada intensidade de exercício, mas sim uma intensidade de exercício acima da qual o metabolismo muda qualitativamente (Beneke *et al.*, 2000).

Por conseguinte, o EEML corresponde à maior intensidade ou velocidade de exercício que pode ser mantida ao longo do tempo, sem uma contínua acumulação de lactato (Beneke *et al.*, 2000, Billat *et al.*, 2003), enquanto decorre o equilíbrio entre os processos de acumulação e eliminação de lactato (Jones e Carter, 2000) e foi descrito como a intensidade de exercício relacionada com o limite do domínio da intensidade pesada (Smith e Jones, 2001; Pringle e Jones, 2002).

A metodologia de determinação do EEML separa este conceito fisiológico da maioria dos outros parâmetros de lactato. A principal diferença é que requer várias repetições de exercício de longa duração (20 a 30-min) a serem realizadas em diferentes dias a uma intensidade constante, procedimento que consome bastante tempo e torna-se exigente para todos os sujeitos envolvidos, no entanto, Van Schuylenbergh *et al.* (2004) concluíram que a determinação direta do EEML continua a ser o procedimento mais preciso para a prescrição de exercícios visando o treino aeróbio.

Wakayoshi *et al.* (1992a) foram os primeiros a aplicar o conceito de VC na NPD. A VC parece representar a maior potência ou velocidade que pode ser mantida a partir da capacidade de reconstituição aeróbia em provas de longa duração (Hill, 1993). Wakayoshi *et al.* (1993) com distâncias pré-estabelecidas, verificaram que a VC determinada numa piscina comum, com apenas a realização de dois esforços máximos nas distâncias de 200 e 400 m corresponde à vEEML, sugerindo a utilização destas distâncias de NPD na avaliação do desempenho sem a utilização de recolhas de sangue ou equipamentos sofisticados.

Dekerle *et al.* (2002) verificaram no seu estudo que a VC determinada a partir de 200 e 400 m de NPD não foi significativamente diferente comparativamente com o teste dos 30-min na NPD. Alguma controvérsia persiste relativamente à relação entre a vEEML e a VC, as conclusões de estudos anteriores revelam que a VC não é semelhante à vEEML na NPD (Dekerle *et al.*, 2005b). O mesmo também tem sido questionado na corrida e ciclismo (Smith e Jones, 2001; Pringle e Jones, 2002).

Anteriormente, Yamamoto *et al.* (1991) indicaram que o LV proporciona a estimação do EEML e Dekerle *et al.* (2003) referiram que o valor médio de EEML se situava entre os valores de LV_1 e LV_2 e encontrava-se correlacionado com ambos os limiares ($r = 0.68$ e 0.69 , respetivamente, $p < 0.05$).

Recentemente, Pessôa Filho *et al.* (2012) numa investigação conduzida na NPD, descobriram que o LV_2 representado sobre forma de % da vVO_{2max} (94%) era similar à VC reportada por Demarie *et al.* (2001) (91.4% da vVO_{2max}).

A utilização da VN média durante uma prova de 400 m crol, ou mais precisamente, a VN média dos 300 m centrais da prova, tem sido identificada como preditora da $v\text{VO}_{2\text{max}}$ (Lavoie e Montpetit, 1986), e amplamente utilizada no treino e investigação dadas as dificuldades inerentes à recolha de gases respiratórios.

Muito poucas investigações foram desenvolvidas na NPD, comparativamente com a corrida ou ciclismo, principalmente porque a NPD requer a utilização de um sistema de telemetria acoplado ao sistema de válvula e tubagem *Aquatrainner*[®] para a coleta dos gases expirados em situação de nado, mecanismos que permitem mensurar todas as trocas gasosas BxB.

Os nossos objetivos no estudo 3 passaram por: 1) verificar as respostas fisiológicas e mecânicas em nadadores imediatamente abaixo e acima da $v\text{EEML}$ e, 2) observar a relação de parâmetros da cinética do VO_2 com o desempenho na NPD.

As hipóteses formuladas foram: 1) As respostas fisiológicas e mecânicas em nadadores diferem em intensidades de exercício imediatamente abaixo e acima da $v\text{EEML}$; 2) existe uma relação entre os parâmetros da cinética do VO_2 e o desempenho na NPD.

Capítulo IV. Metodología

4.1 Estudo 1

Catorze nadadores competitivos voluntariaram-se para o primeiro estudo (quadro 1). Os indivíduos treinavam regularmente, pelo menos, desde há oito anos (sete a oito sessões de treino por semana) e não foram alvo de qualquer medicação durante o estudo. Todos os nadadores encontravam-se familiarizados com os procedimentos de testes fisiológicos na piscina e foram informados relativamente à natureza dos testes.

Quadro 1. Dados antropométricos dos indivíduos do estudo 1

<i>N=14</i>	Idade (anos)	Altura (cm)	Peso corporal (kg)	Massa gorda (%)
	16.8 ± 2.8	178.2 ± 4.7	66.5 ± 7.2	10.2 ± 2.6

4.2 Estudo 2

Dezessete nadadores competitivos voluntariaram-se para o segundo estudo (quadro 2). Todos os atletas encontravam-se envolvidos em programas de treino de 40 a 45 km por semana, foram finalistas nos Campeonatos Absolutos de Portugal em NPD e competiam a nível internacional. Os nadadores encontravam-se familiarizados com os procedimentos de testes fisiológicos na piscina e foram informados relativamente à natureza dos testes.

Quadro 2. Dados antropométricos dos indivíduos do estudo 2

<i>N=17</i>	Idade (anos)	Altura (cm)	Peso corporal (kg)	Massa gorda (%)
	16.9 ± 2.9	177.4 ± 5.8	66.3 ± 9.2	10.2 ± 2.5

4.3 Estudo 3

Doze nadadores competitivos voluntariaram-se para o terceiro estudo (quadro 3). Os indivíduos treinavam regularmente, pelo menos, desde à oito anos e participavam com regularidade em competições nacionais e internacionais. Todos os nadadores encontravam-se familiarizados com os procedimentos de testes fisiológicos na piscina e foram informados relativamente à natureza dos testes.

Quadro 3. Dados antropométricos dos indivíduos do estudo 3

<i>N=12</i>	Idade (anos)	Altura (cm)	Peso corporal (kg)	Massa gorda (%)
	16.3 ± 3.2	175.2 ± 9.1	65.4 ± 8.9	9.9 ± 1.5

4.4 Procedimentos transversais a todos os estudos

Em todos os testes, os atletas foram instruídos a evitar treino muito intenso nos dias anteriores e a manter os seus hábitos nutricionais. Um aquecimento padrão de 600 m de nado aeróbio de intensidade baixa a moderada foi realizado antes de cada sessão de testes.

Os testes foram conduzidos num período horário similar entre os diferentes dias (± 2 h) por parte de cada nadador com o objetivo de minimizar o efeito da variação circadiana no desempenho (Atkinson e Reilly, 1996). Os testes decorreram em dias separados (um dia de repouso total entre testes), numa piscina de 25 m com a temperatura da água a 28.2 ° C. Todos os testes foram realizados em crol.

Dentro de um período de 14 dias, cada participante completou os seguintes testes:

Velocidade Aeróbia Máxima

Um teste máximo de 400 m crol foi realizado com o objetivo de utilizar a VN entre os 50 e 350 m como estimativa da VAM (Lavoie e Montpetit, 1986).

Estado Estacionário Máximo de Lactato

Os indivíduos realizaram, de forma aleatória e em diferentes dias, 30-min a VN constante a 85, 90 e 95% da VAM. As VN foram divididas em distâncias de 50 m, e utilizadas por dois colaboradores posicionados aos 7.5 e 17.5 m da piscina no sentido de controlar a VN dos atletas. Foi solicitado a cada nadador que mantivesse a VN pré-estabelecida durante o maior tempo possível.

O teste foi interrompido quando o nadador já não conseguia coincidir a sua VN com a VN requerida. Todos os sujeitos pararam a cada 400 m (30 a 45-s) para recolha de sangue e registo da PSE numa escala de 6 a 20 nos estudos 1 e 2 e numa escala de 1 a 10 no estudo 3 (Borg, 1982). O EEML foi definido como a maior $[La^-]$ que aumentou não mais que 1 mmol.L⁻¹ durante os últimos 20-min dos testes de 30-min realizados a

VN constante (Baron *et al.*, 2005). Quando este critério não foi cumprido, o teste foi interrompido.

A vEEML foi a VN associada ao EEML. De acordo com a proposta de Craig e Pendergast (1979), a FG foi determinada a partir de três ciclos de braçada realizados no meio da piscina em cada 50 m. A DC foi calculada dividindo VN por FG.

No estudo 2, os valores médios de FC foram recolhidos durante os últimos 20-min do teste de 30-min realizado para determinar o EEML.

Limiar Láctico

Os nadadores realizaram um teste máximo de 200 m para determinação do registo cronométrico nos 200 m crol (T_{200}) e para a determinação das intensidades de exercício do teste incremental. Em seguida, completaram 7 x 200 m crol em VN progressiva (Pyne *et al.*, 2001). Todos os patamares tiveram início a cada 5-min, o primeiro a 70% do T_{200} e os subsequentes com um incremento de 5%. Durante as recuperações e no final do teste a PSE foi registada.

Os valores de lactato foram mensurados e os resultados foram comparados com a respetiva VN usando o *software* Lactato-E (Newell *et al.*, 2007). O LL foi determinado de acordo com a metodologia log-log ($LL_{\log-\log}$), o momento em que a $[La^-]$ aumentou exponencialmente quando o log ($[La^-]$) é comparado com o outro log (VN) (Beaver *et al.*, 1985).

O LL foi também determinado de acordo com a metodologia D-max ($LL_{D-\max}$) como a distância perpendicular máxima da curva de lactato considerando a linha que liga o início com o ponto de extremidade da curva de lactato (Cheng *et al.*, 1992). A VN no $LL_{D-\max}$ ($vLL_{D-\max}$) e no $LL_{\log-\log}$ ($vLL_{\log-\log}$) foram as VN associadas a ambas as metodologias de determinação do LL.

A V_4 foi considerada como a VN que promoveu uma $[La^-]$ de 4 mmol.L^{-1} através de interpolação linear (Sjodin e Jacobs, 1981). A velocidade máxima (V_{max}) foi assumida como a VN aplicada na última repetição do teste incremental.

Velocidade Crítica

A VC foi calculada a partir do D_{d-t} , tendo por base testes máximos realizados em treino e assumindo o tempo necessário para completar determinada distância de nado (100, 200, 400 e 800 m). $VC_{200-400}$ correspondeu à relação de 200 e 400 m, $VC_{200-400-800}$, relação entre 200, 400 e 800 m, e, finalmente, $VC_{100-200-400-800}$ relação entre 100, 200, 400 e 800 m.

Capacidade de Nado Anaeróbio

A CNA resultou do coeficiente linear (intersecção no eixo do y) do modelo D_{d-t} onde a regressão linear de cada indivíduo representou a CNA. Para análise, o melhor desempenho nos 50 m numa prova de NPD competitiva foi solicitado a todos os nadadores.

Consumo de oxigénio

Na NPD existem algumas dificuldades associadas à análise do VO_2 que se afirma como menor nos nadadores mais jovens comparativamente aos mais velhos a uma igual VN (Kjendlie *et al.*, 2004). Para tal, tem-se recorrido a um instrumento que possibilita recolher o VO_2 BxB durante todo o percurso de nado, o sistema de válvula e tubagem *Aquatrainner*[®] para a coleta dos gases expirados em situação de nado.

Keskinen *et al.* (2003) e Reis *et al.* (2010) constataram que as diferenças quantitativas entre este sistema e a máscara padrão (utilizada em laboratório) foram praticamente nulas para fins práticos. Embora os participantes só possam respirar através da sua boca (não através da suas narinas), não foram relatados inconvenientes perceptíveis para além da boca seca no final dos testes. Além disso, foi descoberto que o uso do sistema de válvula e tubagem *Aquatrainner*[®] não aumenta significativamente o arrasto total do corpo, em comparação com o nado totalmente livre (Barbosa *et al.*, 2010b).

O estudo de Roels *et al.* (2005) confirmou o de Keskinen *et al.* (2003) em que se faz referência ao facto de o sistema de válvula e tubagem *Aquatrainner*[®] ser um dispositivo válido para a avaliação das capacidades fisiológicas de atletas que realizam atividades na piscina. Mais recentemente, Rodriguez *et al.* (2008) reforçaram este facto.

No estudo 3, o VO_2 foi recolhido durante todos os testes realizados com um sistema de telemetria (*Cosmed K4^{b2}, Rome, Italy*), acoplado ao sistema de válvula e tubagem *Aquatrainner*[®] para a coleta dos gases expirados em situação de nado. Os atletas foram orientados no sentido de realizarem a viragem lateral, sempre para o mesmo lado relativamente à parede e sem imersão do corpo posterior ao empurrar da parede.

Todos os nadadores completaram um teste incremental composto por 5 x 250 e 1 x 200 m. No final de cada patamar decorreu uma pausa de 30-45-s, o primeiro teve início a 75% da VAM e os subsequentes um aumento de 5%, a última repetição (200 m) foi máxima. O teste foi realizado até a exaustão voluntária para determinação do $\text{VO}_{2\text{max}}$ (Bentley *et al.*, 2005). As respostas ventilatórias foram suavizadas e normalizadas em médias de 15-s.

A $v\text{VO}_{2\text{max}}$ foi assumida como a VN mínima à qual o $\text{VO}_{2\text{max}}$ foi alcançado, e foi sempre atingida na última repetição do teste incremental. LV_1 foi determinado visualmente utilizando parcelas de V_E/VCO_2 , V_E/VO_2 , expiração final PCO_2 (PET_{CO_2}) e expiração final PO_2 (PET_{O_2}).

Os critérios utilizados para a determinação de LV_1 e LV_2 foram, respetivamente, um aumento não linear nas curvas de V_E/VO_2 e PET_{O_2} sem uma alteração correspondente na V_E/VCO_2 e curvas PET_{CO_2} e um aumento tanto na V_E/VO_2 como V_E/VCO_2 e uma diminuição na PET_{CO_2} (Whipp *et al.*, 1989). Os pontos de localização do LV_1 e LV_2 foram estimados por dois observadores independentes e a velocidade de nado no LV_1 e LV_2 ($v\text{LV}_1$ e $v\text{LV}_2$) foi determinada.

Cinética do VO₂

Depois da determinação do EEML, os nadadores realizaram, em dias subsequentes, quatro repetições de 500 m a VN constante a 97.5% e 102.5% da vEEML. O VO₂ foi estimado com base nos valores médios dos últimos 2-min de cada repetição. Em dias diferentes, duas repetições de 500 m foram realizadas para cada VN separadas por uma hora de repouso passivo entre repetições. Burnley *et al.* (2006) indicaram que este período de repouso entre repetições assegura que o exercício realizado na intensidade anterior não influencia a cinética do VO₂ nos exercícios realizados em seguida.

Os dados BxB de cada transição foram primeiro limpos para exclusão de valores que apresentavam mais do que três valores no desvio padrão da média local. Os dados das duas transições foram em seguida interpolados em valores de 1-s, alinhados temporalmente e agrupados em valores médios no sentido de proporcionar dados para apenas uma transição relativa às duas realizadas pelos nadadores.

Para remover a influência da fase cardiodinâmica sobre a resposta subsequente ao nível do VO₂, removeram-se os primeiros 20-s dos dados em análise (Borrani *et al.*, 2001). Calculou-se o atraso individual do *snorkel* - *individual snorkel delay* (ISD) - para cada repetição. O ISD [que corresponde à diferença entre o início do exercício e o tempo em que as ventilações seguintes somam um volume tidal superior ao volume do tubo de saída] foi então integrado no tempo de atraso da fase primária, tal como descrito por Reis *et al.* (2010).

A cinética do VO₂ foi modelada de acordo com a equação:

$$\dot{V}O_2(t) = \begin{cases} \dot{V}O_{2\text{base}} & \text{for } t < t_{d_p} \\ \dot{V}O_{2\text{base}} + A_p \left(1 - e^{-(t-t_{d_p})/\tau_p}\right) & \text{for } t_{d_p} \leq t < t_{d_{sc}} \quad (\text{primary component}) \\ \dot{V}O_{2\text{base}} + A_p \left(1 - e^{-(t_{d_{sc}}-t_{d_p})/\tau_p}\right) + A_{sc} \left(1 - e^{-(t-t_{d_{sc}})/\tau_{sc}}\right) & \text{for } t \geq t_{d_{sc}} \quad (\text{slow component}) \end{cases}$$

em que VO₂(t) representa o VO₂ relativo num dado momento, VO₂base representa o VO₂ de repouso (que por si só foi calculado como o valor médio de VO₂ dos primeiros

30-s do último minuto antes do início do exercício), td_p , A_p representam o tempo de atraso, a constante de tempo e a amplitude da fase primária e td_{sc} , A_{sc} , representam os equivalentes parâmetros para a componente lenta [em inglês, *slow component (sc)*].

Devido ao facto de o valor da assíntota da segunda função não necessariamente ser alcançado no final do exercício, a amplitude do VO_2 foi definida como $A'_{sc} = A_{sc} \left(1 - e^{-(t - td_{sc})/\tau_{sc}} \right)$, onde t foi o tempo no final do exercício (Borrani *et al.*, 2001). Os parâmetros da cinética do VO_2 foram calculados através de um processo iterativo, minimizando a soma da média dos quadrados das diferenças entre os valores modelados e os valores mensurados.

Materiais

As [La] foram analisadas recorrendo a um dispositivo de lactato LT Pro (Arkray, Kyoto, Japão). FG e DC foram monitorizadas utilizando um cronómetro manual digital (Seiko S140, Japão). Um relógio Polar Sport Tester (S410) registou a FC a cada 5-s durante os testes realizados para determinação do EEML.

No estudo 3, o sistema utilizado para recolha de gases foi calibrado seguindo as instruções do fabricante, a turbina foi calibrada usando uma seringa de 3-L (Quinton Instruments, Wisconsin, EUA). Um marcador luminoso foi colocado no fundo da piscina (TAR. 1.1, GBK-Electronics, Aveiro, Portugal), com a intenção de dar apoio aos nadadores no sentido de manterem a VN pré-determinada em todos os testes.

Análise Estatística

O teste t foi utilizado para comparar os parâmetros de nado e variáveis. O coeficiente linear de Pearson foi usado para as correlações. A significância estatística foi aceite a $p < 0.05$. O *software statistical package for the social sciences* (SPSS versão 20.0, Chicago, IL) foi utilizado para análise de dados.

Capítulo V. Resultados

5.1 Estudo 1

No estudo 1, os valores médios e desvio padrão para todos os nadadores da Vmax, VAM, vLL_{D-max} , vEEML, V_4 e $vLL_{log-log}$ constam no quadro 4. Corresponderam, respetivamente, a 112% (Vmax), 111% (VAM), 103% (vLL_{D-max}), 100% (V_4) e 99% ($vLL_{log-log}$) da vEEML. O T_{200} ($1.60 \pm 0.07 \text{ m.s}^{-1}$) e T_{400} ($1.52 \pm 0.07 \text{ m.s}^{-1}$) revelaram-se associados com o registo cronométrico médio de, respetivamente, 2:04 (124-sec) e 4:22 (262-sec).

Quadro 4. Valores médios e desvio padrão de todas as velocidades de nado dos diferentes conceitos

Vmax (m.s^{-1})	VAM (m.s^{-1})	vLL_{D-max} (m.s^{-1})	vEEML (m.s^{-1})	V_4 (m.s^{-1})	$vLL_{log-log}$ (m.s^{-1})
1.53 ± 0.07	1.51 ± 0.07	1.40 ± 0.06	1.36 ± 0.06	1.36 ± 0.07	1.34 ± 0.06

A totalidade dos nadadores conseguiu realizar os 30-min a VN constante a 90% da VAM dentro dos critérios estabelecidos para assumir a vEEML. A média da FG na vEEML foi 32.8 ± 4.1 (ciclos.min⁻¹) e a média da DC 2.54 ± 0.33 (m.ciclo⁻¹). A $[La^-]$ média durante o exercício na vEEML foi $4.8 \pm 1.5 \text{ mmol.L}^{-1}$ e valores extremos de 2.6 e 7.1 mmol.L^{-1} foram verificados como associados à vEEML. A média de PSE durante o teste na vEEML foi 13.5 ± 1.5 .

Tal como exposto no quadro 5, vEEML, Vmax, VAM, vLL_{D-max}, V₄ e vLL_{log-log} revelaram-se altamente correlacionados.

Quadro 5. Correlações entre velocidades de nado de diferentes conceitos

	Vmax	VAM	vLL _{D-max}	V ₄	vLL _{log-log}
vEEML	0.94	1	0.90	0.90	0.89
Vmax		0.93	0.96	0.90	0.87
VAM			0.87	0.90	0.88
vLL _{D-max}				0.87	0.90
V ₄					0.90

Todas as correlações são significativas ao nível 0.01

O valor médio do LL_{D-max} ($5.1 \pm 0.7 \text{ mmol.L}^{-1}$) não foi significativamente diferente do EEML ($4.8 \pm 1.5 \text{ mmol.L}^{-1}$), contrariamente, verificou-se uma diferença significativa entre o valor médio do LL_{log-log} ($3.8 \pm 0.7 \text{ mmol.L}^{-1}$) e o EEML, que, por sua vez, revelou-se positivamente correlacionado com a FG na vEEML ($r = 0.68, p < 0.01$) e negativamente correlacionado com a DC na vEEML ($r = -0.69, p < 0.01$). O teste t revelou que a vLL_{log-log} ($1.34 \pm 0.06 \text{ m.s}^{-1}$) e vLL_{D-max} ($1.40 \pm 0.06 \text{ m.s}^{-1}$) foram, respetivamente, significativamente menor e maior do que a vEEML ($p < 0.05$).

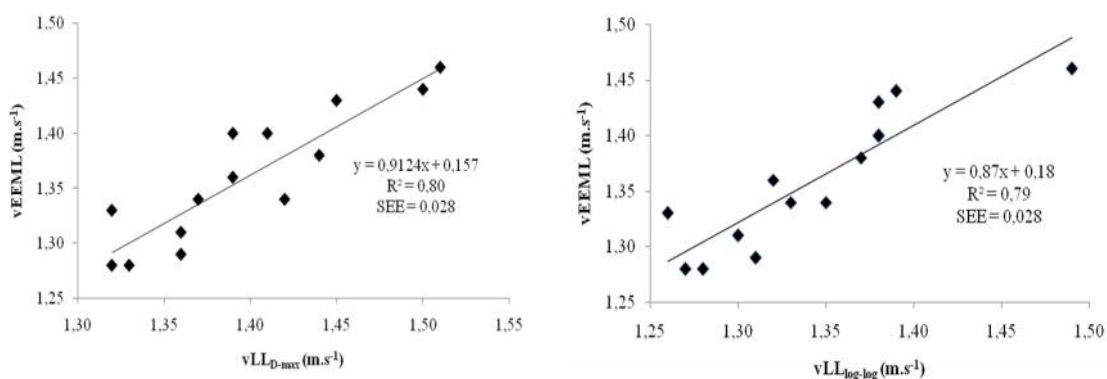


Figura 1. Regressão linear da vEEML sobre a vLL_{D-max} e vLL_{log-log}

Contrariamente, a V_4 não foi significativamente diferente da $vEEML$, o r^2 ajustado foi de apenas 0.79, com um SEE de 0.033, apesar dos resíduos padronizados situados dentro dos limites do intervalo de confiança de 95%, indicarem um modelo de bastante boa estimativa.

A $vEEML$ foi significativamente menor do que a V_{max} e VAM ($p < 0.01$) e verificámos que a VAM pode ser estimada com precisão a partir da V_{max} , ambas as VN não se revelaram diferentes ($r^2 = 0.93$, $SEE = 0.025$; $p < 0.05$). A confiança da relação entre V_{max} e VAM foi analisada com recurso à metodologia Bland-Altman (1986) que permite analisar o valor médio das médias das diferenças (bias) e limites de concordância.

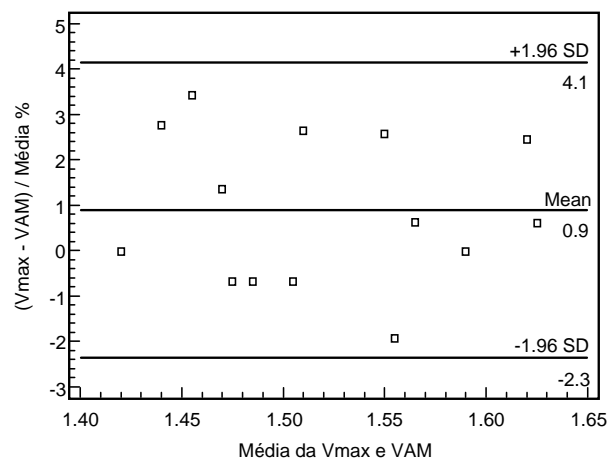


Figura 2. Metodologia Bland-Altman evidenciando a bias e limites de concordância entre V_{max} e VAM

Verifica-se que a dispersão aleatória de pontos entre os limites de confiança superior e inferior é indicativa de um bom ajuste.

Todos os nadadores pararam devido a exaustão nos testes de 30-min de nado realizados a VN constante igual a 95% da VAM . A 90% da VAM os nadadores estabilizaram a sua FG e DC no teste de 30-min mas durante a evolução do teste incremental, todos os nadadores apresentaram uma tendência para aumentar a sua FG com a finalidade de alcançar a VN pré-determinada em cada patamar do teste.

Tornou-se evidente que os nadadores tenderam a negligenciar a DC com a finalidade de manter a VN pré-estabelecida nos patamares de 7 x 200. Acima dos 85% do T₂₀₀, uma fronteira a nível fisiológico e motor foi visível de forma transversal nos atletas, foi igualmente observada uma clara relação entre as variáveis nesta VN e as evidenciadas pelos atletas a 90% da VAM – VN onde todos os nadadores alcançaram o seu EEML.

Quadro 6. Valores médios e desvio padrão de variáveis na vEEML e 85% do T₂₀₀ durante o teste incremental

<i>Variável</i>	90% VAM	85% T ₂₀₀
Velocidade de nado (m.s ⁻¹)	1.36 ± 0.06	1.39 ± 0.06
FG (ciclos.min ⁻¹)	32.8 ± 4.08	33.9 ± 3.89
DC (m.ciclo ⁻¹)	2.54 ± 0.33	2.51 ± 0.33 ^a
[La ⁻] (mmol.L ⁻¹)	4.8 ± 1.5	4.8 ± 0.9 ^a
PSE	13.50 ± 1.51	13.29 ± 0.73 ^a

^{a)} Os resultados destas variáveis não foram significativamente diferentes (p < 0.01).

5.2 Estudo 2

No estudo 2, os valores médios e desvio padrão concernentes à VAM, vEEML, VC₂₀₀₋₄₀₀, VC₂₀₀₋₄₀₀₋₈₀₀ e VC₁₀₀₋₂₀₀₋₄₀₀₋₈₀₀ nos 17 sujeitos encontram-se evidenciados no quadro 7.

Quadro 7. Valores médios e desvio padrão da VAM, vEEML, VC₂₀₀₋₄₀₀, VC₂₀₀₋₄₀₀₋₈₀₀ e VC₁₀₀₋₂₀₀₋₄₀₀₋₈₀₀

<i>N=17</i>	VAM (m.s ⁻¹)	vEEML (m.s ⁻¹)	VC ₂₀₀₋₄₀₀ (m.s ⁻¹)	VC ₂₀₀₋₄₀₀₋₈₀₀ (m.s ⁻¹)	VC ₁₀₀₋₂₀₀₋₄₀₀₋₈₀₀ (m.s ⁻¹)
	1.49 ± 0.07	1.34 ± 0.06	1.41 ± 0.08	1.39 ± 0.08	1.40 ± 0.08

A vEEML correspondeu a 95% da VC₂₀₀₋₄₀₀ e a 96% da VC₁₀₀₋₂₀₀₋₄₀₀₋₈₀₀ e VC₂₀₀₋₄₀₀₋₈₀₀. O teste t aplicado à vEEML sobre a VC determinada a partir de duas, três e quatro distâncias de nado evidenciou que a vEEML revela-se significativamente mais baixa comparativamente a qualquer uma das combinações para obter a VC ($p < 0.01$).

O valor médio do EEML foi 4.6 ± 1.5 mmol.L⁻¹ e verificou-se uma FC média associada ao exercício na vEEML de 175.0 ± 8.9 bat.min⁻¹. A VAM representou 106% da VC₂₀₀₋₄₀₀ e VC₁₀₀₋₂₀₀₋₄₀₀₋₈₀₀ e 107% da VC₂₀₀₋₄₀₀₋₈₀₀. Tal como exposto no quadro 8, a vEEML, VAM e VC determinada através de diferentes combinações de distâncias de nado revelaram-se altamente correlacionadas.

Quadro 8. Correlações entre velocidades de nado de diferentes conceitos

	VAM	VC ₂₀₀₋₄₀₀	VC ₂₀₀₋₄₀₀₋₈₀₀	VC ₁₀₀₋₂₀₀₋₄₀₀₋₈₀₀
vEEML	1	0.95	0.95	0.97
VAM		0.95	0.96	0.97
VC ₂₀₀₋₄₀₀			1	0.99
VC ₂₀₀₋₄₀₀₋₈₀₀				1

Todas as correlações são significativas ao nível 0.01

A VAM foi significativamente maior que a VC determinada a partir de diferentes distâncias de nado ($p > 0.01$). 95% da VAM correspondeu a $1.42 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, uma VN relativamente próxima das VC determinadas a partir de diferentes distâncias de nado e uma intensidade de exercício onde todos os atletas atingiram a exaustão durante os testes de 30-min.

Na figura 3, a VC (eixo do x) determinada com base em duas distâncias de nado (200 e 400 m), apresenta uma boa caracterização e relação com as outras duas formas de determinação da VC com base em três e quatro distâncias de nado ($VC_{200-400-800}$ e $VC_{100-200-400-800}$). Os valores de R^2 e SEE levam-nos a concluir que a VC pode ser determinada para a NPD a partir da $VC_{200-400}$.

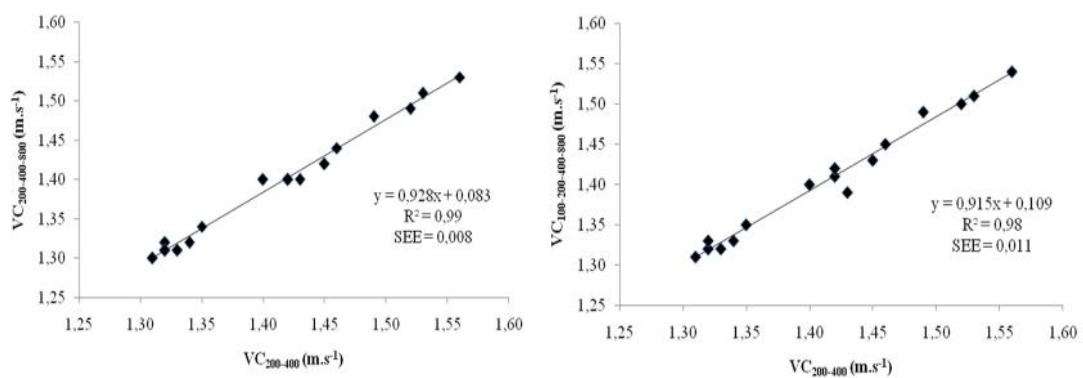


Figura 3. Regressão linear da $VC_{200-400}$ sobre $VC_{200-400-800}$ e $VC_{100-200-400-800}$

Todos os atletas conseguiram completar os 30-min a VN constante a 90% da VAM dentro dos critérios estabelecidos para o EEML. A fiabilidade de relação entre $VC_{200-400}$, $VC_{200-400-800}$ e $VC_{100-200-400-800}$ foi visualizada recorrendo à metodologia Bland-Altman (1986).

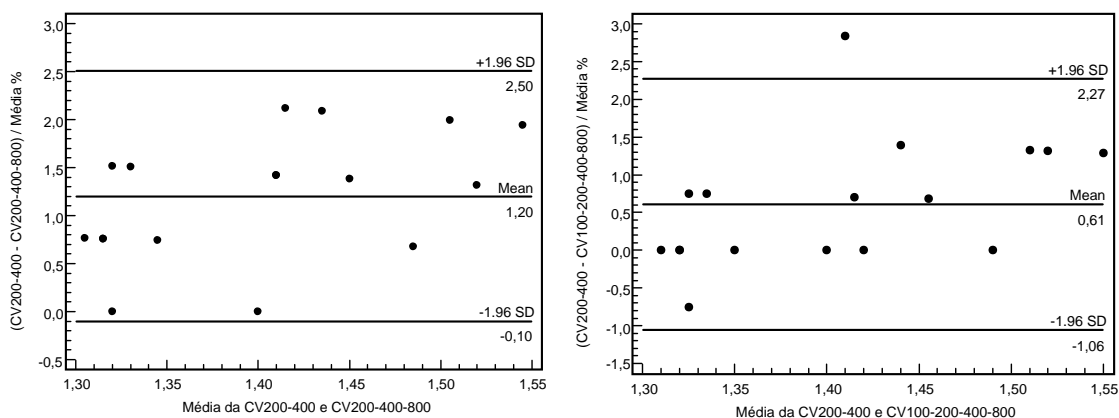


Figura 4. Método Bland-Altman mostrando a bias e os limites de concordância entre $VC_{200-400}$, $VC_{200-400-800}$ e $VC_{100-200-400-800}$

É possível observar que a dispersão aleatória de pontos entre os limites de confiança superior e inferior é indicativa de um bom ajuste.

Como demonstrado na figura 5, a análise da regressão entre a VC e a vEEML revelou que esta última pode ser estimada com uma razoável precisão a partir dos 200 e 400 m de nado máximo.

Contudo, a análise realizada através da metodologia Bland-Altman (1986) revelou que o grau de discordância entre a VC determinada a partir dos 200 e 400 m na NPD e a vEEML revelou-se demasiado ampla para permitir uma precisa estimativa da vEEML a partir da VC.

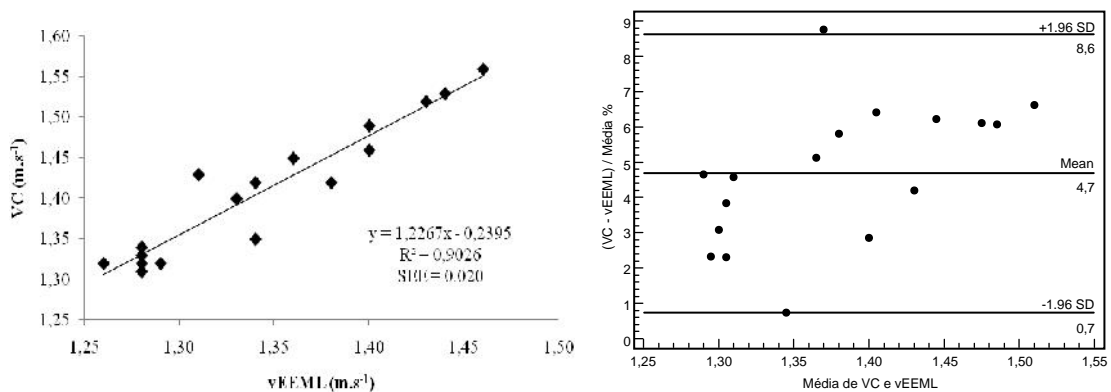


Figura 5. Regressão linear da vEEML sobre VC e metodologia Bland-Altman mostrando a bias e limites de concordância entre a VC determinada a partir de 200 e 400 m e a vEEML

A $CNA_{200-400}$ (25.01 ± 7.33 m) não foi significativamente diferente ($p < 0.05$) relativamente à $CNA_{100-200-400-800}$ (23.47 ± 4.69 m). Pelo contrário, a $CNA_{200-400-800}$ (28.08 ± 6.58 m), embora altamente correlacionada com a CNA determinada através das outras distâncias de nado, revelou-se diferente destes modelos e não revelou qualquer relação com o desempenho nos testes máximos realizados em ambiente de treino.

Quadro 9. Correlações entre a capacidade de nado anaeróbio determinada através de diferentes combinações de distâncias de nado

	$CNA_{200-400}$	$CNA_{100-200-400-800}$
$CNA_{200-400-800}$	0.97	0.95
$CNA_{100-200-400-800}$	0.94	

Todas as correlações são significativas ao nível 0.01

Foi igualmente possível verificar que os nadadores que apresentavam um melhor desempenho cronométrico nos 50 m foram aqueles que apresentaram maiores valores de CNA.

5.3 Estudo 3

Relativamente ao estudo 3, os valores médios e desvio padrão da VAM, vVO_{2max} , vLV_2 , $vEEML$ e vLV_1 constam no quadro 10.

Quadro 10. Valores médios e desvio padrão das velocidades de nado de diferentes conceitos

$N=12$	VAM ($m.s^{-1}$)	vVO_{2max} ($m.s^{-1}$)	vLV_2 ($m.s^{-1}$)	$vEEML$ ($m.s^{-1}$)	vLV_1 ($m.s^{-1}$)
	1.45 ± 0.04	1.45 ± 0.04	1.31 ± 0.08	1.30 ± 0.04	1.20 ± 0.05

LV_1 ($45.9 \pm 7.0 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) e LV_2 ($51.3 \pm 7.6 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) revelaram-se significativamente diferentes relativamente ao VO_{2max} ($58.04 \pm 7.0 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$). O VO_2 determinado no teste de nado como associado ao EEML ($49.3 \pm 9.2 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) não foi significativamente diferente em relação ao VO_2 no LV_2 ($p < 0.01$).

Todos os nadadores conseguiram realizar os 30-min de nado a 90% da VAM dentro dos critérios estabelecidos para se assumir o EEML. Os valores médios do T_{400} e registo cronométrico nos 800 m crol (T_{800}) foram, respetivamente, 270.50 e 560.83-sec (4:30.50 e 9:20.83). Como exposto no quadro 11, a $vEEML$ e os outros conceitos fisiológicos revelaram-se altamente correlacionados.

Quadro 11. Correlações entre velocidades de nado de diferentes conceitos

	VAM	vVO _{2max}	vLV ₂	vLV ₁
vEEML	1**	0.86**	0.73**	0.90**
VAM		0.85**	0.72**	0.91**
vVO _{2max}			0.71**	0.67*
vLV ₂				0.68*

** Correlações significantes ao nível 0.01

* Correlações significantes ao nível 0.05

Através do teste t, verificou-se que a vEEML foi significativamente diferente da VAM, vVO_{2max} e LV₁. Contrariamente, vEEML e vLV₂ e também VAM e vVO_{2max} não se revelaram significativamente diferentes ($p < 0.01$). A relação percentual entre VO_{2max} (3.77 ± 0.58 l/min) e o VO₂ associado aos LV e VN em redor da vEEML encontra-se expressa no quadro 12.

Quadro 12. Valores médios e desvio padrão do VO₂ associado a diferentes conceitos fisiológicos e em redor da vEEML e relação percentual relativamente ao VO_{2max}

	VO ₂ (l/min)	VO _{2max} (%)
LV ₁	2.98 ± 0.52	79.0
LV ₂	3.34 ± 0.60	88.6
97.5 % vEEML	3.06 ± 0.45	81.2
vEEML	3.19 ± 0.55	84.6
102.5 % vEEML	3.67 ± 0.36	97.3

Embora o valor médio de VO₂ alcançado pelos nadadores a 102.5% da vEEML não tenha atingido o VO_{2max} (97.3%), o teste t revelou que os valores de VO₂ alcançados a 102.5% da vEEML não foram diferentes do VO_{2max} dos nadadores ($p < 0.01$).

A média de FG na vEEML foi 33.3 ± 3.8 (ciclos.min⁻¹) e a média da DC 2.41 ± 0.27 (m.ciclo⁻¹). O valor médio do EEML foi 4.5 ± 1.2 mmol.L⁻¹ (valores extremos de 3.2 e 6.7 mmol.L⁻¹). A média de PSE durante o teste na vEEML foi 5.8 ± 0.6 (escala 0-10).

Quadro 13. Valores médios e desvio padrão de variáveis abaixo, acima e na vEEML

	97.5% vEEML	vEEML	102.5% vEEML
VN (m.s ⁻¹)	1.26 ± 0.03	1.30 ± 0.04	1.34 ± 0.04
FG (ciclos.min ⁻¹)	33.4 ± 2.6 ^{a)}	33.3 ± 3.8 ^{a)}	37.8 ± 4.1
DC (m.ciclo ⁻¹)	2.29 ± 0.24	2.41 ± 0.27	2.17 ± 0.20
[La ⁻] final (mmol.L ⁻¹)	4.2 ± 0.7 ^{a)}	4.5 ± 1.2 ^{a)}	7.4 ± 1.4
PSE final	4.6 ± 1.0	5.8 ± 0.6	7.6 ± 1.0

a) Os resultados destas variáveis não foram significativamente diferentes ($p < 0.01$).

Os valores médios da FG 2.5% abaixo da vEEML (87.5% da VAM) e na vEEML (90% da VAM) revelaram-se altamente correlacionados ($r = 0.88$, $p < 0.01$), e o teste t indicou que nenhuma diferença significativa ocorreu relativamente a esta variável nestas diferentes intensidades de exercício ($p < 0.01$). A DC a 102.5% da vEEML foi significativamente inferior à determinada na vEEML e a 97.5% da vEEML ($p < 0.01$).

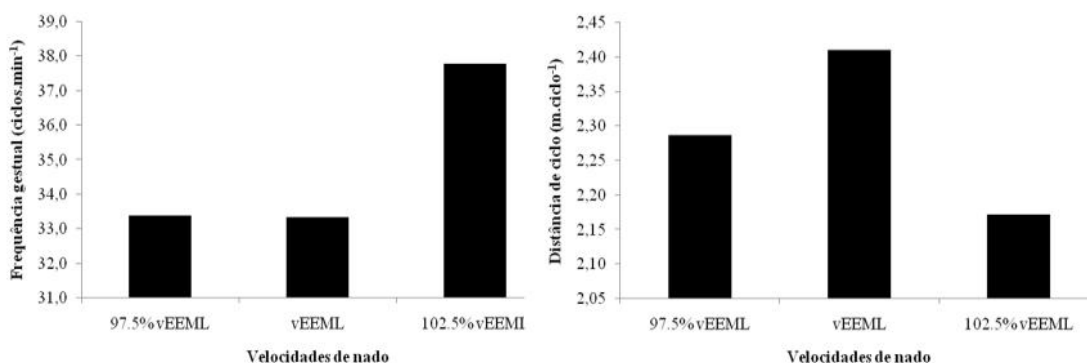


Figura 6. Valores médios dos parâmetros de ciclo gestual em diferentes velocidades de nado

A evolução da DC abaixo e acima da vEEML indicou que esta VN foi a intensidade de exercício onde os atletas obtiveram a sua eficiência técnica ideal na NPD, situação que

lhes permitiu retardar o surgir da fadiga por acumulação de $[La^-]$. Os valores médios da PSE (1-10) revelaram-se crescentes em sintonia com o aumento da VN ($p > 0.01$). Entre os doze sujeitos, dois revelaram componente lenta relevante (A'_{cl}), a 97.5% da vEEML (média $31.2 \pm 5.6 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$) e sete a 102.5% da vEEML (média $41.4 \pm 21.4 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$). Os valores médios representaram, respetivamente, 1.0% e 1.1% do VO_2 no final do exercício.

Os parâmetros da cinética do VO_2 obtidos nas duas repetições de 500 m realizadas 2.5% abaixo e acima da vEEML são descritos no quadro 14.

Quadro 14. Valores médios e desvio padrão dos parâmetros da cinética do VO_2 nas transições de repouso para 97.5% e 102.5% da vEEML

	97.5%	102.5%
	vEEML	vEEML
A_p ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$)	2931.9 ± 445.6	3152.9 ± 406.2^a
A_p ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)	45.3 ± 7.2	48.6 ± 5.9^a
td_p (s)	10.6 ± 3.8	11.0 ± 3.2
t_p (s)	19.5 ± 6.8	17.7 ± 8.0
td_{cl} (s)	300.42 ± 65.5	298.3 ± 74.2
t_{cl} (s)	302.5 ± 176.4	207.6 ± 201.2
ISD (s)	3.4 ± 1.4	2.9 ± 1.1
VO_2 basal ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$)	481.5 ± 124.7	486.6 ± 127.0
VO_2 no final do exercício ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$)	3055.7 ± 447.2	3666.8 ± 371.7^a
VO_2 no final do exercício ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)	47.2 ± 7.4	56.6 ± 6.0^a

Amplitude (A_p), tempo de atraso (td_p , td_{cl}), constante temporal (t_p , t_{cl}), da fase primária e da componente lenta, respetivamente. ISD: *Individual snorkel delay*. VO_2 basal. VO_2 no final do exercício: VO_2 no final do exercício corrigido com base na massa corporal.

a) Os resultados foram significativamente diferentes acima e abaixo da vEEML ($p < 0.01$).

O VO_2 absoluto a 97.5% e 102.5% da vEEML representou, respetivamente, 81% e 97% do VO_{2max} . A VAM revelou-se significativamente inversamente correlacionada com a \dot{V}_E na VN infra vEEML ($r = -0.69, p < 0.01$) e com a \dot{V}_E na VN supra vEEML ($r = -0.61, p < 0.03$).

A $VC_{200-400}$ ($1.41 \pm 0.05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) mostrou-se altamente correlacionada com a A_{cl} a 102.5% da vEEML ($r = 0.76, p < 0.01$) e também se revelou negativamente correlacionada com a A_{cl} a 102.5% vEEML ($r = -0.64, p < 0.02$).

A vEEML revelou-se significativamente inversamente correlacionada com a \dot{V}_E na VN infra vEEML ($r = -0.67, p < 0.02$) e com a \dot{V}_E na VN supra vEEML ($r = -0.59, p < 0.04$). A vVO_{2max} também se revelou inversamente correlacionada com a \dot{V}_E a 102.5% da vEEML ($r = -0.62, p < 0.03$).

Relativamente ao desempenho na NPD, o T_{400} revelou-se correlacionado com a \dot{V}_E a 97.5% da vEEML ($r = 0.64, p < 0.03$). O T_{800} significativamente correlacionado com a \dot{V}_E tanto a 97.5% como a 102.5% da vEEML (respetivamente $r = 0.75, p < 0.01$ e $r = 0.58, p < 0.05$).

A A_{cl} a 102.5% da vEEML demonstrou-se significativamente correlacionada com o T_{800} ($r = 0.77, p < 0.01$), mas a correlação com o T_{400} não se revelou significativa ($r = 0.57, p < 0.06$). A vVO_{2max} ($1.45 \pm 0.04 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) revelou-se significativamente inversamente correlacionada tanto com o T_{400} como com o T_{800} ($r = -0.70, p < 0.01$ e $r = -0.72, p < 0.01$).

A FG a 102.5% da vEEML evidenciou-se altamente correlacionada com A_{cl} na mesma VN ($r = 0.69, p < 0.01$). A FG a 97.5%, da vEEML revelou-se inversamente correlacionada com a A_p na mesma intensidade de exercício ($r = -0.63, p < 0.03$).

A DC a 97.5% da vEEML também se demonstrou correlacionada com a A_p na mesma VN ($r = 0.67, p < 0.02$), esta variável de parâmetro de ciclo gestual a 102.5% da vEEML revelou-se igualmente correlacionada com a A_p na mesma VN ($r = 0.59, p <$

0.04). Por outro lado, a 102.5% da vEEML, a PSE demonstrou-se altamente correlacionada com a p ($r = -0.77$, $p < 0.01$).

Capítulo VI. Discussão dos resultados

6.1 Estudo 1

No primeiro estudo, uma das principais constatações relacionou-se com o facto de ter sido possível observar que o EEML pode ser determinado na NPD recorrendo a apenas duas ou três repetições de 30-min realizadas em diferentes dias a VN constante, um procedimento mais simples e prático do que anteriormente indicado por Baron *et al.* (2005) e Dekerle *et al.* (2005a), que utilizaram quatro a cinco repetições de 30-min para determinar o EEML.

Os procedimentos para determinar o EEML são extremamente exigentes para os diferentes intervenientes (atletas, treinadores, investigadores), portanto, torna-se interessante especular se um teste incremental proporciona indicadores confiáveis de estimação do EEML.

Recentemente, Morton *et al.* (2012) salientaram que o método D-max para determinação do LL revelou-se, e é recomendado como, o único marcador de $[La^-]$ com boa reprodutibilidade. Acrescentaram que pode ser utilizado com confiança na avaliação dos domínios de intensidade do exercício ou mudanças de estado fisiológico e indicaram ainda que a maioria das outras formas comuns de determinação do LL não são suficientemente reprodutíveis de indicadores de confiança.

Czuba *et al.* (2009) encontraram no ciclismo uma forte correlação entre a intensidade de exercício no LL (determinado a partir da metodologia D-max) e o EEML e Beneke (1995) verificou no remo que a V_4 foi maior relativamente à intensidade de exercício no EEML embora altas correlações tenham sido encontradas entre os dois conceitos fisiológicos.

Van Schuylenbergh *et al.* (2004) também encontraram correlações não significativamente diferentes entre a intensidade de exercício no EEML e a V_4 no ciclismo e indicaram que o LL (determinada a partir da metodologia D-max) estava intimamente correlacionado com o EEML. Contudo, os autores vincularam que a

validade do EEML estimado a partir de um teste incremental deve ser verificada por um teste de intensidade constante de 30-min de duração.

Na NPD, Toubekis *et al.* (2006) encontraram uma correlação significativa entre a vLL e V_4 ($r = 0.90$, $p < 0.01$) e na mesma modalidade desportiva Oliveira *et al.* (2011) revelaram que a vLL (determinada a partir da metodologia D-max), embora maior, não foi significativamente diferente da vEEML ($1.18 \pm 0.08 \text{ m.s}^{-1}$ e $1.13 \pm 0.08 \text{ m.s}^{-1}$, respetivamente).

Recentemente, Fernandes *et al.* (2011) indicaram que a utilização de protocolos progressivos de 200 m é um processo válido para determinação do Lan individual e acrescentaram que o teste incremental de 7 x 200 m parece ser um bom protocolo de avaliação da evolução da capacidade aeróbia em nadadores como alternativa ao EEML.

No estudo 1, a V_4 não foi significativamente diferente da vEEML revelando que o grau de precisão do modelo é aceitável para a prescrição do treino e para fins de avaliação, no entanto, a direta determinação do EEML permanece como a mais precisa metodologia para avaliação e prescrição de exercício.

Foi confirmado no estudo por nós conduzido na NPD que a velocidade média dos 400 m pode ser determinada com precisão através da V_{max} , situação que poderá levar treinadores, atletas e investigadores a determinar a V_N média dos 400 m com base num teste incremental.

Dekerle *et al.* (2005b) salientaram que a vEEML situa-se a cerca de 85% da VAM em nadadores treinados, corresponde à V_N que um nadador escolhe espontaneamente durante os primeiros 15-min de um teste de 2-h (Baron *et al.*, 2005). Estes autores indicaram para dez nadadores competitivos inter-regionais e nacionais que a vEEML foi igual a $1.22 \pm 0.14 \text{ m.s}^{-1}$ e correspondeu a $86.5 \pm 5.1\%$ da VAM ($1.41 \pm 0.12 \text{ m.s}^{-1}$).

O estudo de Dekerle *et al.* (2005b) foi realizado com oito nadadores com pelo menos seis anos de experiência competitiva. Foi verificado pelos autores que quatro entre os

oito nadadores foram capazes de completar os 30-min de nado 5% da VAM acima da vEEML mas aumentaram as suas $[La^-]$ em mais que 1 mmol.L^{-1} . O estudo de Dekerle *et al.* (2005a) foi desenvolvido com onze nadadores masculinos bem treinados, cinco nadadores conseguiram completar os 30-min de nado 5% da VAM acima da vEEML mas também aumentaram as suas $[La^-]$ em mais que 1 mmol.L^{-1} entre os 10-min ($4.4 \pm 1.6 \text{ mmol.L}^{-1}$) e os 30-min ($5.9 \pm 1.9 \text{ mmol.L}^{-1}$).

O valor médio da vEEML no estudo de Dekerle *et al.* (2005a) foi $1.22 \pm 0.09 \text{ m.s}^{-1}$ ou $88.9\% \pm 3.3\%$ da VAM, já na investigação de Dekerle *et al.* (2005b) foi $1.24 \pm 0.10 \text{ m.s}^{-1}$ ou $88.4 \pm 2.9\%$ da VAM. No estudo por nós conduzido os nadadores conseguiram realizar 30-min a 90% da VAM, êxito que atribuímos ao nível dos nadadores presentes no estudo.

Mais recentemente, Pelarigo *et al.* (2011) encontraram nos indivíduos testados (doze nadadores de meia e longa distância) uma diferença significativa entre vEEML ($1.22 \pm 0.05 \text{ m.s}^{-1}$; $88.6 \pm 1.1\%$ da VAM) e 102.5% da vEEML ($1.25 \pm 0.04 \text{ m.s}^{-1}$; $91.3 \pm 1.1\%$ da VAM) relativamente a $[La^-]$ e parâmetros do ciclo gestual. A intensidade de exercício acima da vEEML foi mantida sem exaustão no teste de 30-min realizado pelos nadadores, mas os critérios para que esta intensidade de exercício fosse considerada como a vEEML não foram alcançados.

Segundo o nosso conhecimento, nenhum estudo direcionado ao conceito do EEML foi realizado com nadadores que apresentassem desempenho nos 400 m crol a uma média de 4:25 (265-sec). Infelizmente, poucos estudos foram realizados com nadadores de alto rendimento porque estes estão expostos a treino intenso e um calendário competitivo muito denso. Esta vicissitude leva-nos a supor que é plausível que investigações anteriores subestimaram o verdadeiro EEML.

Heck *et al.* (1985) salientaram que o EEML apresenta uma grande variabilidade entre atletas e foi verificado ser aproximadamente 4 mmol.L^{-1} , facto que foi corroborado no nosso estudo. Contrariamente à indicação de Heck *et al.* (1985), menores EEML foram encontrados em remadores ($3.1 \pm 0.5 \text{ mmol.L}^{-1}$) e maiores em ciclistas (5.4 ± 1.0

mmol.L⁻¹) e patinadores de velocidade (6.6 ± 0.9 mmol.L⁻¹) no estudo de Beneke e von Duvillard (1996).

Na investigação de Van Schuylenbergh *et al.* (2004) realizada com ciclistas, um EEML médio de 5.4 ± 0.4 mmol.L⁻¹ foi encontrado aos 10-min e após, com os valores a oscilar entre 2.7 e 9.0 mmol.L⁻¹. Os nossos resultados indicam igualmente que é impossível relacionar o verdadeiro EEML a uma concentração fixa de lactato no sangue como previamente sugerido por Heck *et al.* (1985).

Já Dekerle *et al.* (2005a) e Baron *et al.* (2005) salientaram que a vEEML pode representar uma intensidade de exercício para desenvolver a capacidade aeróbia e realizar um trabalho técnico de alta qualidade, facto que foi elevado no estudo de Pelarigo *et al.* (2011) onde o valor médio de EEML (3.28 ± 0.97 mmol.L⁻¹) foi significativamente inferior ao valor médio associado à [La⁻] a 102.5% da vEEML (4.59 ± 1.36 mmol.L⁻¹) e a FG foi mantida entre os 10 e os 30-min do teste realizado na vEEML e aumentou significativamente a 102.5% da vEEML. A DC foi mantida entre os 10 e os 30-min do teste concluído no EEML e diminuiu significativamente a 102.5% da vEEML.

Muito recentemente, Greco *et al.* (2012) realizaram uma investigação em que doze nadadores masculinos efetuaram o teste máximo de 400 m crol para determinação da VAM, o teste incremental de 7 x 200 crol para mensuração do LL e duas a quatro repetições submáximas a VN constante para determinação da vEEML. A vLL (1.08 ± 0.02 m.s⁻¹) revelou-se menor que a vEEML (1.14 ± 0.02 m.s⁻¹). A VAM determinada correspondeu a 1.30 ± 0.09 m.s⁻¹, o EEML a 4.30 ± 1.32 mmol.L⁻¹ e o LL a 2.45 ± 1.13 mmol.L⁻¹. Os investigadores concluíram que existe uma estreita amplitude de intensidades entre o LL e o EEML e entre este último e a VAM.

No nosso estudo, durante o teste incremental de 7 x 200 m foi possível verificar observações anteriores relacionadas com a VN acima do EEML onde os nadadores tendem a negligenciar a sua DC e beneficiar a FG com o desiderato de aumentar ou manter a VN pré-estabelecida (Dekerle *et al.*, 2005a). Este aumento na FG será

prejudicial para a DC acima de uma dada intensidade submáxima (Dekerle *et al.*, 2005a).

As FG e DC evidenciadas pelos nadadores no EEML durante o nosso estudo relacionaram-se de forma estreita com os valores evidenciados nos 85% do T₂₀₀ e tendem a representar um limite na eficiência do nado, demonstrando que a transição do domínio da intensidade pesada para a severa não se relaciona apenas com a VN, PSE e [La⁻], mas também com os parâmetros do ciclo gestual.

No nosso estudo, a média de valores relacionados com a vEEML a nível da FG foi 32.8 ± 4.1 (ciclos.min⁻¹) e da DC 2.54 ± 0.33 (m.ciclo⁻¹), valores ligeiramente superiores aos referidos em estudos anteriores desenvolvidos por Dekerle *et al.* (2005a) (27.7 ± 2.2 ciclos.min⁻¹; 2.64 ± 0.32 m.ciclo⁻¹) e Pelarigo *et al.* (2011) (30.9 ± 3.4 ciclos.min⁻¹; 2.47 ± 0.2 m.ciclo⁻¹), onde como referido anteriormente, os atletas apresentavam um menor nível comparativamente aos atletas por nós testados.

Na investigação de Baron *et al.* (2005), os dez nadadores competitivos inter-regionais e nacionais mantiveram constante a sua FG (28.5 ± 3.1 ciclos.min⁻¹) durante um teste de nado de 120-min num ritmo preferido e constante. Após o minuto 68, a DC diminuiu de 2.55 ± 0.42 para 2.37 ± 0.48 (m.ciclo⁻¹). Também Dekerle *et al.* (2005a) e Pelarigo *et al.* (2011) verificaram uma diminuição na DC em intensidades de exercício acima do EEML. Pelarigo *et al.* (2011) encontraram uma vEEML de 1.22 ± 0.05 m.s⁻¹ e um T₂₀₀ de 1.45 ± 0.05 m.s⁻¹, o que é equivalente a referir que a vEEML correspondeu a cerca de 84% do T₂₀₀.

O estudo de Dekerle *et al.* (2005a) também revelou uma diminuição na DC após os 85% da VAM. Como referido anteriormente, no estudo que desenvolvemos foi igualmente possível observar uma estreita relação entre a vEEML e os 85% do T₂₀₀, indicador que nos proporciona uma forma mais prática para determinar VN próximas do EEML. Também na investigação de Pelayo *et al.* (2000), os 85% do T₂₀₀ não foram significativamente diferentes da VN evidenciada pelos nadadores competitivos bem treinados nos testes de 30-min e de 2000 m.

Weltman (1995) afirmou que o LL ocorre entre os valores 13 e 15 na escala de PSE, que corresponde aos sentimentos de "um pouco difícil" e "difícil". O estudo de DeMello *et al.* (1987) confirmou esses valores para a PSE no LL, indicando que ocorre num sentimento de "um pouco difícil" e "difícil", os indivíduos testados apresentaram valores de PSE no LL que variaram entre os 12.9 e 13.6.

No nosso estudo, o valor médio da PSE associado ao EEML foi 13.5 ± 1.5 , correspondente a um nível de "um pouco difícil" na escala de Borg (6-20) em consonância com a observação de Palmer *et al.* (1999) que encontraram um valor de PSE de 13.4 e transmitiram que a PSE pode ser um preditor do EEML. Contudo, estamos em acordo com Grant *et al.* (2002) que salientaram que a grande variabilidade entre indivíduos sugere que o uso de um valor absoluto de PSE para prescrever a intensidade do exercício é desaconselhável.

Também Potteiger e Weber (1994) investigaram a PSE durante o exercício em testes de intensidade incremental e constante e concluíram que a PSE não pode ser usada como um indicador particularmente preciso da intensidade do exercício.

6.2 Estudo 2

Na NPD, investigações relacionadas com a VC revelaram-se bastante conflituosas com alguns autores a argumentarem que representa o limite superior do domínio da intensidade pesada do exercício (Wakayoshi *et al.*, 1992a,b, 1993) e outros que indicaram que sobrestima a verdadeira vEEML (Dekerle *et al.*, 2005b, 2010; Pelarigo *et al.*, 2011).

Anteriormente, a VC determinada a partir de distâncias de nado de 200 e 400 m foi revelada como próxima da VN de um teste de 30-min (Pelayo *et al.*, 2000; Dekerle *et al.*, 2002), tem sido cada vez mais adotada na avaliação de nadadores, principalmente porque é bem aceite pelos treinadores e atletas que tendem a recusar muito longos e/ou vários testes máximos na sua rotina de treino (Ribeiro *et al.*, 2010).

Curiosamente, na investigação de Dekerle *et al.* (2010), sete dos nove nadadores conseguiram completar 10 x 400 m com uma pausa de 40-s entre as repetições na VC (determinada através do desempenho em quatro testes máximos - 100, 200, 400 e 800 m - equivalente à $VC_{100-200-400-800}$ no nosso estudo). As $[La^-]$ foram respetivamente 7.0 ± 3.1 e 8.4 ± 3.4 mmol.L⁻¹ aos 10-min e no final do teste (tempo de nado global, descanso não incluído, 53.9 ± 2.7 -min). Um dos nadadores não conseguiu realizar a totalidade das 10 x 400 m antes do final do período de testes e outro parou após seis repetições. Os autores atribuíram o sucesso de sete nadadores na conclusão das 10 x 400 m à recuperação passiva entre as repetições de 400 m e transmitiram que claramente a VC representa uma VN não tolerável. Num teste de nado até à exaustão, nenhum dos nadadores conseguiu manter a VC por mais de 39.4-min.

Anteriormente, relevantes respostas metabólicas foram encontradas durante o nado no D_{d-t} em atletas treinados, com o aumento da $[La^-]$ a verificar-se no estudo de Toubekis *et al.* (2011) (4.5 ± 0.2 vs. 5.8 ± 0.2 mmol.L⁻¹, respetivamente nos 400 e 1200 m durante 5 x 400 m).

Ribeiro *et al.* (2010) indicaram que o treino intervalado na VC parece representar um estímulo intenso fisiologicamente, mecanicamente e perceptualmente que pode ser mantido por um período prolongado de tempo pela maioria dos atletas, contudo, este estudo teve uma pausa de 90-s entre cada uma das 5 x 400 m de nado na VC.

Filipatou *et al.* (2006) também relataram um aumento nos níveis de $[La^-]$ (~ 5.5 - 8.0 mmol.L⁻¹) durante 4 x 400 m na VC separadas por curtos intervalos de repouso (30 a 45-s) para recolha de sangue. Contudo, os níveis de $[La^-]$ permaneceram inalterados durante as 4 x 400 m realizadas a 95% da VC (1^a: 3.8 ± 0.9 ; 2^a: 4.4 ± 1.1 ; 3^a: 4.5 ± 0.9 ; 4: 4.6 ± 1.0 mmol.L⁻¹).

Já Dekerle *et al.* (2005b), num estudo realizado com três nadadores que competiam a nível nacional (segunda divisão) e cinco a nível inter-regional, salientaram que a vEEML (1.24 ± 0.10 m.s⁻¹; $88.4 \pm 2.9\%$ da VAM) é cerca de 85% da VAM em nadadores treinados. A VC₂₀₀₋₄₀₀ representou $92.7 \pm 2.6\%$ da VAM e os limites de concordância de 95% para comparações entre VC e vEEML (0.07 ± 0.13 m.s⁻¹) indicaram que o grau de discordância era demasiado grande para usar esses dois conceitos de forma alternada. Quatro entre os oito nadadores não foram capazes de realizar 30-min a uma intensidade 5% VAM superior ao EEML, relativamente aos outros quatro atletas, os valores de $[La^-]$ aumentaram mais que 1 mmol.L⁻¹ entre os 10 e os 30-min.

Na investigação de Dekerle *et al.* (2005a), a vEEML foi alcançada pelos onze nadadores a 1.22 ± 0.09 m.s⁻¹ ou $88.9 \pm 3.3\%$ da VAM, cinco atletas foram igualmente capazes de realizar o teste de 30-min a 90% da VAM com valores fisiológicos estáveis e seis atingiram exaustão a 95% da VAM.

Mais recentemente, Pelarigo *et al.* (2011) encontraram um valor de vEEML de 1.22 ± 0.05 m.s⁻¹, correspondente a $88.6 \pm 1.1\%$ da VAM em doze nadadores masculinos de meia e longa distância e relataram uma diferença significativa em relação à $[La^-]$ no teste de 30-min que foi concluído sem exaustão pelos nadadores 2.5% acima da vEEML (1.25 ± 0.04 m.s⁻¹; $91.3 \pm 1.1\%$ da VAM).

No nosso estudo, todos os atletas foram capazes de completar os 30-min de nado a uma VN constante de 90% da VAM, dentro dos critérios estabelecidos para se assumir a VN como associada ao EEML. A 95% da VAM, todos atingiram exaustão.

Observámos ainda uma FC média no EEML de 175.0 ± 9.8 bat.min⁻¹ em consonância com estudos anteriores relacionados com o conceito EEML realizados na NPD (Dekerle *et al.*, 2005a,b; Filipatou *et al.*, 2006) e outros desportos (ex. Van Schuylenbergh *et al.*, 2004 no ciclismo).

A VC₂₀₀₋₄₀₀ apresentou uma boa relação quer com a VC₂₀₀₋₄₀₀₋₈₀₀ quer com a VC₁₀₀₋₂₀₀₋₄₀₀₋₈₀₀. Os valores de R² e SEE evidenciaram que a VC determinada com base em desempenhos máximos de 200 e 400 m de nado representa um método simples para determinar uma VN para a prescrição do treino e avaliação dos nadadores. Estas distâncias na NPD cumprem com as exigências fisiológicas do modelo (di Prampero, 1999), correspondendo a durações de esforço que se situam entre os limites em que a relação hiperbólica parece proporcionar uma boa caracterização da resposta fisiológica.

Wakayoshi *et al.* (1993) e Dekerle *et al.* (2002) consideraram o D_{d-t} derivado dos 200 e 400 m a abordagem mais pertinente para a estimação da VC, estas distâncias de nado têm sido amplamente utilizadas neste desporto. Dekerle *et al.* (2002) sugeriram uma correção de 3.2% na VC quando determinada através de distâncias de nado de 200 e 400 m.

No estudo 2, a vEEML correspondeu a 95% da VC₂₀₀₋₄₀₀ e a 96% da VC₁₀₀₋₂₀₀₋₄₀₀₋₈₀₀ e VC₂₀₀₋₄₀₀₋₈₀₀. Dekerle *et al.* (2010) indicaram que uma VN 5% abaixo da relação *d-t* representa uma intensidade de exercício tolerável, mas a sua viabilidade para um desempenho prolongado (1-h) poderá afirmar-se como um desafio para alguns nadadores. Com base nos nossos resultados, sugerimos igualmente uma correção na zona dos 5% da VC quando determinada com base nas distâncias de nado de 200 e 400 m para a prescrição de treino aeróbio.

A fim de verificar se a CNA poderia ser utilizada na avaliação da capacidade anaeróbia em nadadores, Toussaint *et al.* (1998), utilizando modelos matemáticos, relacionou fatores biomecânicos e os sistemas energéticos envolvidos no desempenho na NPD, modelando o tempo de dependência do metabolismo aeróbio e anaeróbio. O modelo matemático proposto por estes autores foi utilizado para prever o desempenho em distâncias de 50 a 1500 m e para calcular a regressão linear entre distância e tempo na NPD. Os resultados sugeriram que a estimativa da CNA é influenciada pelas variações dos sistemas aeróbio e anaeróbio, fator que levou os autores a concluir que a capacidade anaeróbia na NPD proposta pelo modelo de dois parâmetros não proporciona uma estimativa precisa da capacidade anaeróbia.

No geral, os resultados expressos na literatura indicam que a determinação da CNA é protocolo-dependente (Hill, 1993). Deckerle *et al.* (2002) concluíram que o valor da CNA (interceção no eixo do y) é muito sensível a variações na NPD. Papoti *et al.* (2005) obtiveram um valor de 25.07 ± 4.22 m relacionado com a CNA determinada com base na proposta de Wakayoshi *et al.* (1993) de distâncias na NPD de 200 e 400 m.

A estimativa da CNA parece não ser fiável como demonstrado por Toussaint *et al.* (1998) em consequência da não linearidade, e de acordo com os autores, não pode ser utilizada pelos treinadores com o objetivo de controlar o programa de treino anaeróbio na NPD. A relação *d-t* não é perfeitamente linear (Hill, 1993; Vandewalle *et al.*, 1997) e, conseqüentemente, a equação não é uma verdadeira hipérbole.

Os nossos resultados confirmaram que a CNA não parece ser um bom parâmetro para a avaliação da capacidade anaeróbia.

6.3 Estudo 3

O estudo 3 evidenciou que a cinética do VO_2 abaixo e acima da vEEML revela este parâmetro fisiológico como uma intensidade de exercício acima da qual as alterações qualitativas ao nível do metabolismo tornam-se evidentes, tal como previamente referido por Beneke *et al.* (2000).

Também foi observado que a cinética do VO_2 da fase primária encontra-se associada com o desempenho. A ρ abaixo e acima da vEEML revelou-se positivamente correlacionada com o tempo necessário para completar os 800 m de nado máximo, a ρ abaixo da vEEML revelou-se igualmente positivamente correlacionada com o tempo necessário para completar os 400 m de nado máximo.

Estes resultados reforçam os obtidos em outras formas de exercício como a corrida e o remo (Kilding *et al.*, 2006; Ingham *et al.*, 2007) e especificamente a NPD (Reis *et al.*, 2012a). Proporcionam suporte à noção de que a fase primária da cinética do VO_2 é um importante determinante do desempenho desportivo.

No passado, Billat *et al.* (1994) indicaram que o EEML pode ser determinado através de dois exercícios de 30-min a intensidade constante realizados a 65 e 80% da VAM, separados por uma pausa total de 40-min. Mais tarde, Kilding e Jones (2005) observaram que o exercício a cerca de 82% do $\text{VO}_{2\text{max}}$ não induziu um aumento significativo da $[\text{La}^-]$ entre o minuto 5 e 20. Os nossos resultados relativamente ao desempenho a 97.5% da vEEML (em que o VO_2 correspondeu a 81.2% do $\text{VO}_{2\text{max}}$) confirmaram os obtidos por Kilding e Jones (2005).

Embora o valor médio de VO_2 alcançado pelos nadadores a 102.5% da vEEML não tenha atingido o $\text{VO}_{2\text{max}}$ (97.3%), o teste t revelou que os valores de VO_2 alcançados a 102.5% da vEEML não foram diferentes do $\text{VO}_{2\text{max}}$ dos nadadores ($p < 0.01$).

Estudos anteriores utilizaram a função monoexponencial e assumiram a diferença entre o VO_2 aos 3 e 6-min como sendo a clVO_2 (por ex. Paterson e Whipp, 1991; Demarie *et al.*, 2001). Contrariamente à componente cardiodinâmica e primária, o mecanismo fisiológico da clVO_2 permanece rodeado de dúvidas por exemplo ao nível da sua explicação.

Na investigação de Sousa *et al.* (2011b), o $\text{VO}_{2\text{max}}$ apresentou uma relação direta com a VN média dos primeiros 50 m e com o desempenho nos 200 m, revelou-se ainda correlacionada com a A_p ($r = 0.75$, $r = 0.72$, $r = 0.73$; $p < 0.05$, respetivamente). A cinética do VO_2 foi determinada com base nos valores de VO_2 posteriores (*off-transient*) ao desempenho nos 200 m.

Várias causas têm sido atribuídas à clVO_2 , tais como o aumento das catecolaminas no plasma, o aumento da temperatura corporal (Poole *et al.*, 1991) ou o aumento do catabolismo de lactato (Poole *et al.*, 1991; Barstow *et al.*, 1996). Outros investigadores associaram a clVO_2 a mudanças no padrão de recrutamento das fibras musculares (Gaesser e Poole, 1996; Barstow *et al.*, 1996; Pringle *et al.*, 2003) e Billat (2000) sugeriu que os atletas de fundo altamente treinados não apresentam clVO_2 , deu o exemplo de triatletas que não evidenciaram clVO_2 na corrida ao contrário do que aconteceu no ciclismo e no entanto realizaram exercício à mesma intensidade e durante o mesmo tempo em ambos os desportos (a 90% da potência ou velocidade do $\text{VO}_{2\text{max}}$).

Poderá colocar-se a hipótese de que na NPD a progressão da fadiga muscular induz uma redução da eficiência propulsiva que requer um aumento compensatório na FG no sentido da manutenção da VN e, conseqüentemente, um aumento tardio no VO_2 (Hellard *et al.*, 2010). No nosso estudo, a clVO_2 foi menor do que anteriormente referido em estudos na NPD que decorreram em intensidades de exercício mais elevadas, cinco dos doze nadadores não exibiram A'_{cl} a 102.5% da $v\text{EEML}$.

Recentemente, Pessoa Filho *et al.* (2012) também verificaram que a clVO_2 se desenvolve em VN em redor do LV_2 em nadadores. Demarie *et al.* (2001) reportaram

valores de $239 \pm 194 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ em seis pentatletas de elite abaixo da $v\text{VO}_{2\text{max}}$ (96% da $v\text{VO}_{2\text{max}}$).

Fernandes *et al.* (2008) encontraram valores de $274.11 \pm 152.83 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ num grupo de 15 nadadores de elite que realizaram um teste até à exaustão na $v\text{VO}_{2\text{max}}$ ($1.46 \pm 0.06 \text{ ms}^{-1}$; $t_{\text{lim}} = 260.20 \pm 60.73\text{-s}$), enquanto Bentley *et al.* (2005) encontraram $c\text{I}\text{VO}_2$ ($7.7 \pm 3.1 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) apenas em 5 dos 9 nadadores de elite testados (média T_{400} $265 \pm 15\text{-s}$) ao nadar a uma VN que representava a primeira repetição das 4 x 400 m realizadas a 25% da diferença entre o LV e o $v\text{VO}_{2\text{max}}$.

Os parâmetros da resposta da cinética do VO_2 no estudo de Carter *et al.* (2000) foram semelhantes entre as formas de exercício, exceto no que concerne à $c\text{I}\text{VO}_2$ que foi significativamente ($p < 0.05$) maior no ciclismo comparativamente à corrida a 50 e 75% (334 ± 183 e $430 \pm 159 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ vs. 205 ± 84 e $302 \pm 154 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$, respetivamente).

Na investigação de Scheuermann e Barstow (2003) a A_p aumentou em sintonia com o aumento da intensidade do exercício ($p < 0.05$). No entanto, com a aproximação da intensidade do exercício à capacidade aeróbia máxima, o ganho na componente primária diminuiu.

Tem sido reconhecido que na NPD o desempenho biomecânico apresenta uma muito maior importância para a economia metabólica do que na corrida e no ciclismo e ainda que os nadadores de elite tendem a adotar combinações de parâmetros de ciclo gestual que são muito diferentes daqueles utilizados pelos colegas menos eficientes (Dekerle *et al.*, 2002). Estes autores indicaram que a capacidade do nadador melhorar a sua técnica de nado, particularmente através de treino técnico em intensidades de exercício aeróbias, vai provavelmente determinar o seu sucesso.

Observou-se no nosso estudo que o EEML corresponde não apenas a um limite relativamente às variáveis fisiológicas, mas também dos parâmetros de ciclo gestual, situação que deve ser considerada pelos treinadores ao longo do processo de planificação

do treino. As correlações encontradas entre os parâmetros do ciclo gestual e o VO_2 destacam constatações anteriores de Wakayoshi *et al.* (1995) que reportaram correlações significativas entre VO_2 e FG ($r = 0.93$ para 1, $p < 0.01$) e entre FG e a VN ($r = 0.90$, $p < 0.05$, para 0.99, $p < 0.01$). Estes autores sugeriram que o declive da linha de regressão entre VO_2 e FG poderia ser usado como um índice eficaz para a avaliação na NPD.

Outro facto observado no nosso estudo diz respeito à relação entre a VAM e a vVO_{2max} . Lavoie e Montpetit (1986) salientaram que a utilização dos 300 m centrais do desempenho nos 400 m máximos tem sido identificado como preditor da vVO_{2max} e o grau de precisão que encontrámos para o modelo é aceitável para a planificação do treino e para fins de avaliação, situação que poderá ser útil no quotidiano do atleta e treinador.

Mais recentemente foi sugerido que uma resposta mais rápida na cinética do VO_2 pode ser importante para o desempenho reduzindo o défice de oxigénio inicial e a concomitante acumulação de metabolitos que promovem a fadiga (Ingham *et al.*, 2007). Barstow e Molé (1991) compararam a evolução no tempo da cinética do VO_2 da fase primária, e descobriram que a t_p não exibiu nenhuma diferença significativa com o aumento da intensidade de exercício. A cinética do VO_2 mais rápida parece estar ligada à menor contribuição do sistema anaeróbio através de um menor défice de O_2 e menor acumulação de metabolitos que promovem a fadiga (Burnley e Jones, 2007).

Além disso, em eventos desportivos com duração entre 1 e 15-min, tal como a maioria das provas de NPD, a cinética do VO_2 parece ser um parâmetro importante e útil para os treinadores (Reis *et al.*, 2010). Em exercícios de alta intensidade, os parâmetros da cinética são influenciados pelo modo de exercício. Por exemplo, a t_p parece ser mais rápida na corrida do que no ciclismo, possivelmente como resultado de diferenças na ação muscular (Hill *et al.*, 2003) e a cinética do VO_2 é retardada na posição supina comparativamente com o exercício realizado de forma vertical (MacDonald *et al.*, 1998).

Constantes temporais mais curtas/rápidas têm sido relacionadas com o aumento do tempo até à exaustão e tolerância à fadiga (Bailey *et al.*, 2009) e, conseqüentemente, é espectável que reflitam um melhor desempenho em provas que duram entre os 3 e 5-min na NPD (Reis *et al.*, 2012a). Ingham *et al.* (2007) transmitiram que a resposta mais rápida na constante temporal observada em remadores de elite quando comparada com remadores de nível de clube pode sugerir vantajosos ajustes de processos oxidativos na transição de repouso para o exercício.

Koppo *et al.* (2004) também observaram uma t_p significativamente mais rápida em ciclistas bem treinados comparativamente com os elementos do grupo de controlo não treinados. Ingham *et al.* (2007) demonstraram uma significativa associação entre grupos ($r = -0.59$, $p < 0.02$) ao nível da t_p (durante a intensidade de exercício pesada) e desempenho em contrarrelógio.

Mais recentemente, no estudo de Marwood *et al.* (2011), a t_p não foi diferente entre atletas treinados e não treinados (respetivamente, 27.8 ± 5.9 vs. 28.9 ± 7.6 -s). Já Dupont *et al.* (2005) demonstraram uma forte correlação ($r = 0.80$, $p < 0.01$) entre a t_p e o decréscimo percentual no desempenho em *sprint*, sugerindo que indivíduos com maior velocidade durante o exercício a intensidade constante poderão também ter um ajuste mais rápido no VO_2 durante o exercício repetitivo de *sprint*.

Reis *et al.* (2012a) não encontraram nenhuma diferença significativa (15.8 vs. 15.8 -s) entre a t_p na intensidade de exercício pesada (25%) e a t_p na intensidade de exercício severa (70%). Estes valores associados à t_p foram semelhantes aos descritos anteriormente por Hill *et al.* (2003) para a corrida.

No estudo de Özyener *et al.* (2001) os indivíduos realizaram exercício no cicloergómetro no domínio da intensidade moderada, pesada e severa e foi possível verificar uma t_p não variável (~ 32 - 34 -s) em toda a amplitude de intensidades de exercício estudadas.

Por seu turno, Barstow e Molé (1991) concluíram no seu estudo que, embora a resposta global tenha exibido características não lineares acima do LL, relativamente à componente primária não se observou o mesmo comportamento. Pessoa Filho *et al.* (2012) também verificaram na NPD que a primeira fase da resposta do VO₂ foi similar em VN abaixo e acima do LV₂.

Foi perceptível no nosso estudo que a \dot{V}_E a 102.5% da vEEML revelou-se significativamente correlacionada com a vVO_{2max} ($r = -0.62$, $p < 0.03$) em sintonia com os resultados de Reis *et al.* (2012b), e verificou-se que a \dot{V}_E não foi significativamente diferente abaixo e acima da vEEML.

Klentrou e Montepetit (1991) reportaram uma correlação significativa entre o desempenho nos 400 m e a vVO_{2max} e Reis *et al.* (2012a) indicaram que a vVO_{2max}, que é uma função tanto da economia do exercício como do VO_{2max}, parece ser preditora do T₄₀₀. Os nossos resultados confirmaram que a vVO_{2max} parece ser boa preditora do T₄₀₀ e T₈₀₀.

Ao nível dos parâmetros de ciclo gestual e da PSE verificaram-se igualmente correlações com parâmetros da cinética do VO₂, situação que evidencia a pertinência de considerar estas variáveis no processo de treino desportivo.

Capítulo VII. Conclusões

No primeiro estudo concluímos que, embora um teste incremental não proporcione indicadores fiáveis do EEML, do ponto de vista prático, pode ser muito útil para o treino quotidiano, uma vez que faculta vários indicadores pertinentes. Verificámos que o nível dos atletas presentes nos estudos influencia de forma determinante os resultados obtidos e esse fator deve ser cuidadosamente considerado. As diferenças interindividuais foram evidentes e o resultado do LL revelou-se dependente da metodologia adotada.

O EEML pode ser estimado recorrendo a um máximo de dois a três testes de nado de 30-min, realizados em dias diferentes a VN constante partindo dos 90% da VAM - que pode ser determinada indiretamente através da V_{max} - e elevando ou diminuindo essa intensidade de exercício em testes subsequentes. Este procedimento é mais prático que os protocolos anteriormente propostos e utilizados por diversos autores.

Esta intensidade de exercício (90% da VAM) está muito relacionada com os 85% do T_{200} e não só representa uma fronteira fisiológica, mas um limite acima do qual os atletas atingem a fadiga mecânica e a técnica de nado começa a deteriorar-se. No nosso entendimento, tanto os testes contínuos como os incrementais proporcionam indicadores relativos ao potencial aeróbio, mas não devem ser utilizados de forma alternada para a determinação do EEML. A determinação direta do EEML permanece como o método mais preciso na avaliação e prescrição do exercício.

No segundo estudo confirmou-se que o EEML pode ser determinado através de apenas dois a três testes de 30-min de duração realizados a diferentes VN.

Confirmámos a hipótese de que a VC pode ser determinada através de diferentes combinações de distâncias de nado e verificámos que o seu cálculo na NPD através de apenas dois testes máximos (200 e 400 m) é funcional em relação à utilização de três ou quatro distâncias de nado.

Concluimos que a direta determinação do EEML continua a ser o procedimento mais preciso para a prescrição de exercícios visando o treino aeróbio. Estudos acerca da VC devem ser interpretados com cautela, contudo, na NPD a VC é uma ferramenta valiosa para avaliar as adaptações ao treino e poderá ser útil igualmente na prescrição de treino.

Sugerimos uma correção na zona dos 5% da VC quando determinada com base no modelo de dois parâmetros (D_{d-t}) e nas distâncias de nado de 200 e 400 m para prescrição de treino aeróbio. Verificou-se claramente que a VC determinada com base no modelo D_{d-t} sobrestima a vEEML.

A CNA não apresentou associação com o desempenho em provas de curta duração, logo, entendemos não apresentar grande utilidade prática para o processo de treino e na predição do desempenho na NPD.

Já no estudo 3 foi possível concluir que a vEEML representa o limite de variáveis fisiológicas e mecânicas e delimita a intensidade de exercício relativamente ao surgir de desequilíbrios e caminho para o acumular de fadiga e exaustão.

A cinética do VO_2 parece ser uma ferramenta útil relativamente à caracterização dos nadadores e seu estado de treino, podendo ser aplicada na NPD no sentido de diminuir o número de testes utilizados para determinar o EEML. Não se verificaram diferenças na p abaixo e acima da vEEML e a cinética do VO_2 da fase primária revelou-se associada com o desempenho tal como colocado em hipótese.

Ao nível dos parâmetros de ciclo gestual e da PSE verificaram-se igualmente correlações com parâmetros da cinética do VO_2 , situação que evidencia a pertinência de considerar estas variáveis no processo de treino desportivo.

A vVO_{2max} parece ser determinada com precisão a partir dos 300 m centrais da velocidade média de um teste de 400 m máximos na NPD e revelou-se como boa preditora do T_{400} e T_{800} .

Capítulo VIII. Referências bibliográficas

- Achten, J. e Jeukendrup, A.E. (2004). Relation between plasma lactate concentration and fat oxidation rates over a wide range of exercise intensities. *International Journal of Sports Medicine*; 25: 32-37.
- Ahlborg, G. e Jensen-Urstad, M. (1991). Metabolism in exercising arm vs. leg muscle. *Clinical Physiology*; 11: 459-468.
- Alberty M., Podevin, F., Dekerle, J., Pelayo, P., Gorce, P., Sidney, M. (2008). Changes in swimming technique during time to exhaustion at freely chosen and controlled stroke rates. *Journal of Sports Science*; 26(11): 1191-1200.
- Alberty, M., Sidney, M., Pelayo, P., Toussaint, H.M. (2009). Stroking characteristics during time to exhaustion tests. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 41(3): 637-644.
- Allen, P.D. e Pandolf, K.B. (1977). Perceived exertion associated with breathing hyperoxic mixtures during submaximal work. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 9: 122-127.
- Allen, W. K., Seals, D.R., Hurley, B.F. Ehsani, A.A. Hagberg., J.M. (1985). Lactate threshold and distance-running performance in young and older endurance athletes. *Journal of Applied Physiology*; 58: 1281-1284.
- Almarwaey, A.O., Jones, M.A., Tolfrey, K. (2004). Maximal lactate steady state in trained adolescent runners. *Journal of Sports Sciences*; 22: 215-225.
- Alves, F., Gomes-Pereira, J., Pereira, F. (1996). Determinants of energetic cost of front crawl and backstroke swimming and competitive performance. In: Troup, J.P., Hollander, A.P., Strasse, D., Trappe, S.W. Cappaert, J.M., Trappe, T.A. (eds.). *Biomechanics and Medicine in Swimming VII* (pp. 127-134). London: E & F. N. Spon.
- Alves, F., Reis, J., Vleck, V., Bruno, P., Millet, G. (2009). Oxygen uptake kinetics in heavy intensity exercise and endurance performance in swimmers. ACSM 56th Annual Meeting, Seattle, Washington. Presentation Number 978.
- Alves, F., Reis, J., Vleck, V., Bruno P., Millet, G.P. (2010). Distance-time modeling and oxygen uptake kinetics in swimming. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 42(5 Suppl): S5431.
- Anderson, M. E., Hopkins, W. G., Roberts, A. D., Pyne, D. B. (2006). Monitoring seasonal and long-term changes in test performance in elite swimmers. *European Journal of Sport Science*; 6: 145-154.
- Anderson, M., Hopkins, W., Roberts, A., Pyne, D. (2008). Ability of test measures to predict competitive performance in elite swimmers. *Journal of Sports Sciences*; 15 26(2): 123-130.

- Aspenes, S.T. e Karlsen, T. (2012). Exercise-training intervention studies in competitive swimming. *Sports Medicine*; 42(6): 527-543.
- Åstrand, P., Rodahl, K., Dahl, H.A., Strømme, S.B. (2003). Textbook of work physiology: Physiological bases of exercise. Champaign, IL, USA: Human Kinetics.
- Atkinson, G. e Reilly, T. (1996). Circadian variation in sports performance. *Sports Medicine*: 21: 292-312.
- Aunola, S. e Rusko, H. (1992). Does anaerobic threshold correlate with maximal lactate steady-state? *Journal of Sports Science*; 10: 309-323.
- Bacon, L. e Kern, M. (1999). Evaluating a test protocol for predicting maximal lactate steady state. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*; 39: 300-308.
- Bailey, S.J., Wilkerson, D.P., DiMenna, F.J., Jones, A.M. (2009). Influence of repeated sprint training on pulmonary O₂ uptake and muscle deoxygenation kinetics in humans. *Journal of Applied Physiology*; 106: 1875-1887.
- Bangsbo, J., Krstrup, P., Gonzalez-Alondo, J., Saltin, B. (2001). ATP production and efficiency of human skeletal muscle during intense exercise: effect of previous exercise. *American Journal of Physiology Endocrinology and Metabolism*; 280(6): E956-64.
- Barbosa, T.M., Fernandes, R.J., Keskinen, K.L., Vilas-Boas, J.P. (2008). The influence of stroke mechanics into energy cost of elite swimmers. *European Journal of Applied Physiology*; 103(2): 139-149.
- Barbosa, T.M., Bragada J.A., Reis, V.M., Marinho, D.A. Carvalho, C. Silva, A.J. (2010a). Energetics and biomechanics as determining factors of swimming performance: updating the state of the art. *Journal of Science and Medicine in Sport*; 13(2): 262-269.
- Barbosa, T., Silva, A.J., Reis, A.M., Costa, M., Garrido, N., Policarpo, F., Reis, V.M. (2010b). Kinematical changes in swimming front Crawl and Breaststroke with the AquaTrainer snorkel. *European Journal of Applied Physiology*; 109(6): 1155-1162.
- Barden, J.M. e Kell, R.T. (2009). Relationships between stroke parameters and critical swimming speed in a sprint interval training set. *Journal of Sports Sciences*; 1; 27(3): 227-235.
- Bar-Or, O., Unnithan, V., Illescas, C. (1994). Physiologic considerations in age-group swimming. In: Miyashita, M., Mutoh, Y., Richardson, A. (eds). *Medicine and Science in Aquatic Sports*; Vol. 39. Basel. Karger: 199-205.
- Baron, B., Dekerle, J., Robin, S., Nevriere, R., Dupont, L., Matran R., Vanvelcenaher, J., Robin, H., Pelayo, P. (2003). Maximal lactate steady state does not correspond to a

complete physiological steady state. *International Journal of Sports Medicine*; 24: 582-587.

Baron, B., Dekerle, J., Depretz, S., Lefevre, T., Pelayo, P. (2005). Self selected speed and maximal lactate steady state speed in swimming. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*; 45(1): 1-6.

Baron, B., Noakes, T.D., Dekerle, J., Moullan, F., Robin, S., Matran, R., Pelayo, P. (2008). Why Does Exercise Terminate At The Maximal Lactate Steady intensity? *British Journal of Sports Medicine*; 42(10): 828-833.

Barstow, T.J., e Molé, P.A. (1991). Linear and nonlinear characteristics of oxygen uptake kinetics during heavy exercise. *Journal of Applied Physiology*; 71(6): 2099-2106.

Barstow, T.J. (1994). Characterization of VO₂ kinetics during heavy exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 26: 1327-1334.

Barstow, T. J., Jones, A.M., Nguyen, P.H., Casaburi, R. (1996). Influence of muscle fibre type and pedal frequency on oxygen uptake kinetics of heavy exercise. *Journal of Applied Physiology*; 81: 1642-1650.

Barstow, T.J., Jones, A.M., Nguyen, P.H., Casaburi, R. (2000). Influence of muscle fibre type and fitness on the oxygen uptake/power output slope during incremental exercise in humans. *Experimental Physiology*; 85(1): 109-116.

Beaver, W.L., Wasserman, K., Whipp, B.J. (1985). Improved detection of lactate threshold during exercise using a log-log transformation. *Journal of Applied Physiology*; 59: 1936-1940.

Beneke, R. (1995). Anaerobic threshold, individual anaerobic threshold and maximal lactate steady state in rowing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 27: 863-867.

Beneke, R. e von Duvillard S.P. (1996). Determination of maximal lactate steady state response in selected sports events. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 28: 241-246.

Beneke, R., Heck, H., Schwarz, V., Leithauser, R. (1996). Maximal lactate steady state during the second decade of age. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 28: 1474-1478.

Beneke, R., Hutler, M., Leithauser, R.M. (2000). Maximal lactate-steady state independent of performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 32: 1135-1139.

- Beneke, R., Leithäuser, R.M., Hutler, M. (2001). Dependence of the maximal lactate steady state on the motor pattern of exercise. *British Journal of Sports Medicine*; 35: 192-196.
- Beneke, R. (2003). Methodological aspects of maximal lactate steady state - implications for performance testing. *European Journal of Applied Physiology*; 89: 95-99.
- Beneke, R., Leithäuser, R.M., Ochentel, O. (2011). Blood lactate diagnostics in exercise testing and training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*; 6(1): 8-24.
- Bentley, D.J., McNaughton, L.R., Thompson, D., Vleck, V.E., Batterham, A.M. (2001). Peak power output, the lactate threshold and time trial performance in cyclists. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 33: 2077-2081.
- Bentley, D.J., Roels, B., Hellard, P., Fauquet, C., Libicz, S., Millet, G.P. (2005). Physiological responses during submaximal interval swimming training: effects of interval duration. *Journal of Science and Medicine in Sport*; 8(4): 392-402.
- Bentley, D.J., McNaughton, L.R., Roberts, S., Vleck, V.E., Fairbanks, L., Marinaki, T. (2007). Lactate threshold does not influence metabolic responses during exercise in cyclists. *International Journal of Sports Medicine*; 28: 506-512.
- Berger, N.J., Tolfrey, K., Williams, A.G., Jones, A.M. (2006). Influence of continuous and interval training on oxygen uptake on-kinetics. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 38(3): 504-512.
- Billat, V., Dalmay, F., Antonini, M.T., Chassain, A.P. (1994). A method for determining the maximal steady state of blood lactate concentration from two levels of submaximal exercise. *European Journal of Applied Physiology*; 69: 196-202.
- Billat, V.L. (1996). Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training. *Sports Medicine*; 22(3): 157-175.
- Billat, V.L. e J. P. Koralsztein. (1996). Significance of the velocity at VO_{2max} and time to exhaustion at this velocity. *Sports Medicine*; 22: 90-108.
- Billat, V.L., Richard, R., Binsse, V.M., Koralsztein, J.P., Haouzi, P. (1998). The VO_2 slow component for severe exercise depends on type of exercise and is not correlated with time to fatigue. *Journal of Applied Physiology*; 85(6): 2118-24.
- Billat, V.L., Blondel, N., Berthoin, S. (1999). Determination of the velocity associated with the longest time to exhaustion at maximal oxygen uptake. *European Journal of Applied Physiology*; 80: 159-161.

- Billat, V.L. (2000). Slow component and performance in endurance sports. *British Journal of Sports Medicine*; 34: 83-85.
- Billat, V.L., Slawinski, J., Bocquet, V., Chassaing, P., Demarle, A., Koralsztejn, J.P. (2001). Very Short (15 s \pm 15 s) Interval-Training Around the Critical Velocity Allows Middle-Aged Runners to Maintain VO₂ max for 14 minutes. *International Journal of Sports Medicine*; 22(3): 201-208.
- Billat, V., Sirvent, P., Py, G., Koralsztejn, J.P., Mercier, J. (2003). The concept of maximal lactate steady state: a bridge between biochemistry, physiology and sport science. *Sports Medicine*; 33(6): 407-426.
- Billat, V., Sirvent, P., Lepreter, P.M., Koralsztejn, J.P. (2004). Training effect on performance, substrate balance and blood lactate concentration at maximal lactate steady state in master endurance-runners. *European Journal of Applied Physiology*; 447: 875-883.
- Bishop, D., Jenkins, D.G., Howard, A. (1998a). The critical power function is dependent on the duration of the predictive exercise test chosen. *International Journal of Sports Medicine*; 19: 125-129.
- Bishop, D., Jenkins, D.G., Mackinnon, L.T. (1998b). The relationship between plasma lactate parameters, W_{peak} and 1-h cycling performance in women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 30: 1270-1275.
- Bland, J.M. e Altman, D.G. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurements. *Lancet*; 1: 307-310.
- Bonifazi, M., Martelli, G., Marugo, L., Sardela, F., Carli, G. (1993). Blood lactate accumulation in top level swimmers following competition. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*; 33:13-18.
- Borg, G.A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 14(5): 377-381.
- Borrani, F., Candau, R., Millet, G.Y., Perrey, S., Fuchslocher, J., Rouillon, J.D. (2001). Is the VO₂ slow component dependent on progressive recruitment of fast-twitch fibers in trained runners? *Journal of Applied Physiology*; 90(6): 2212-2220.
- Bosquet, L., Léger, L., Legros, P. (2002). Methods to determine aerobic endurance. *Sports Medicine*; 32: 675-700.
- Bosquet, L., Duchene, A., Dupont, G., Leger, L., Carter, H. (2007). VO₂ kinetics during supramaximal exercise: relationship with oxygen deficit and 800-m running performance. *International Journal of Sports Medicine*; 28(6): 518-24.

- Boutcher, S.H., Seip, R.L., Hetzler, R.K., Pierce E.F., Snead, D., Weltman, A. (1989). The effects of specificity of training on rating of perceived exertion at the lactate threshold. *European Journal of Applied Physiology*; 59: 365-369.
- Bourdon, P. (2000). Blood lactate transition thresholds: Concepts and controversies. In: Gore, C.J. (eds.). *Physiological Tests for Elite Athletes*. Champaign, IL: Human Kinetics: 50-65.
- Braumann, K.M., Boning, D., Trost, F. (1982). Bohr effect and slope of the oxygen dissociation curve after physical training. *Journal of Applied Physiology*; 52: 1524-1529.
- Brickley, G., Carter, H., Dekerle, J., Clark, S. (2004). Physiological responses to exercise at critical swimming velocity. In: 9th Annual Congress of the European College of Sport Science.
- Brickley G, Dekerle J, Hammond AJ, Pringle, J., Carter, H. (2007). Assessment of maximal aerobic power and critical power in a single 90-s isokinetic all-out cycling test. *International Journal of Sports Medicine*; 28(5): 414-419.
- Brooks, G.A. (1985). Anaerobic threshold: review of the concept and direction for future research. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 17: 31-35.
- Brooks, G.A. (2000). Intra and extra cellular lactate shuttles. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 32: 83-85.
- Burnley M, Doust J, Jones AM. (2006). Time required for the restoration of normal heavy exercise. VO_2 kinetics following prior heavy exercise. *Journal of Applied Physiology*; 101:1320-1327.
- Burnley, M. e Jones, A.M. (2007). Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. *European Journal of Sport Science*; 7: 63-79.
- Capelli, C., Pendergast, D.R., Termin, B. (1998). Energetics of swimming at maximal speeds in humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*; 78(5): 385-393.
- Caputo, F., Mello, M.T., Denadai, B.S. (2003). Oxygen uptake kinetics and time to exhaustion in cycling and running: a comparison between trained and untrained subjects. *Archives of Physiology Biochemistry*; 111(5): 461-466.
- Caputo, F., de Oliveira, M.F.M., Denadai, B.S., Greco C.C. (2006). Intrinsic factors of the locomotion energy cost during swimming. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*; 12: 356-360.
- Carter, H., Jones, A.M., Barstow, T.J., Burnley, M., Williams, C.A., Doust, J.H. (2000). Oxygen uptake kinetics in treadmill running and cycle ergometry: a comparison. *Journal of Applied Physiology*; 89(3): 899-907.

- Carter, H., Pringle, J.S., Jones, A.M., Doust, J.H. (2002). Oxygen uptake kinetics during treadmill running across exercise intensity domains. *European Journal of Applied Physiology*; 86: 347-354.
- Carter, H., Pringle, J.S., Barstow, T.J., Doust, J.H. (2006). Oxygen uptake kinetics during supra VO₂max treadmill running in humans. *International Journal of Sports Medicine*; 27(2): 149-157.
- Casaburi, R., Barstow, T.J., Robinson, T. (1989). Influence of work rate on ventilatory and gas exchange. Kinetics. *Journal of Applied Physiology*; 67: 547-555.
- Chatard, J-C., Collomp, C., Maglischo, E., Maglischo, C. (1990). Swimming skill and stroking characteristics of front crawl swimmers. *International Journal of Sports Medicine*; 11 (2): 156-161.
- Cheng, B., Kuipers, H., Snyder, A.C., Keizer, H.A., Jeukendrup, A., Hesselink, M. (1992). A new approach for the determination of ventilatory and lactate thresholds. *International Journal of Sports Medicine*; 13(7): 518-522.
- Chilibeck, P.D., Paterson, D.H., Petrella, R.J., Cunningham, D.A. (1996). The influence of age and cardiorespiratory fitness on kinetics of oxygen uptake. *Canadian Journal of Applied Physiology*; 21(3): 1331-1338.
- Chollet, D., Pelayo, P., Delaplace, C., Tourny, C., Sidney, M. (1997). Stroking characteristic variations in the 100-m freestyle for male swimmers of differing skill. *Perceptual and Motor Skills*; 85(1): 167-177.
- Coen, B., Schwarz, L., Urhausen, A., Kindermann, W. (1991). Control of training in middle- and long-distance running by means of the individual anaerobic threshold. *International Journal of Sports Medicine*; 12: 519-524.
- Connet, R.J., Gayeski, T.E., Honig, C.R. (1983). Lactate production in a pure red muscle in absence of anoxia: mechanism and significance. *Advances in Experimental Medicine and Biology*; 159: 327-335.
- Costa, A.M., Silva A, Louro, H., Reis, V., Garrido, N., Marques, M., Marinho D. (2009). Can the curriculum be used to estimate critical velocity in young competitive swimmers? *Journal of Sports Science and Medicine*; 8: 17-23.
- Costill, D., Kovaleski, J., Porter, D., Fielding, R., King, D. (1985). Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle-distance events. *International Journal of Sports Medicine*; 6: 266-270.
- Craig, A.B. e Pendergast, D.R. (1979). Relationships of stroke rate, distance per stroke and velocity in competitive swimming. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 11(3): 278-283.

- Craig, A.B. Jr, Skehan, P.L., Pawelczyk, J.A., Boomer, W.L. (1985). Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 17(6): 625-634.
- Coyle, E.F., Coggan, A.R., Hopper, M.K. (1988). Determinants of endurance in well-trained cyclists. *Journal of Applied Physiology*; 64 (6): 2622-2630.
- Coyle, E.F., Feltner, M.E., Kautz, S.A., Hamilton, M.T., Montain, S.J., Baylor, A.M., Abraham, L.D., Petrek, G.W. (1991). Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 23(1): 93-107.
- Coyle, E.F., Sidossis, L.S., Horowitz, J.F., Beltz, J.D. (1992). Cycling efficiency is related to the percentage of type I muscle fibers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 24(7): 782-788.
- Coyle, E.F. (1995). Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. *Exercise and Sport Sciences Reviews*; 23: 25-63.
- Craig, A.B. Jr., Skehan, P.L., Pawelczyk, J.A., Boomer, W.L. (1985). Velocity, stroke rate and distance per stroke during elite swimming competition. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 17: 625-634.
- Czuba, M., Zaj c, A., Cholewa, J., Poprz cki, S., Wa kiewicz, Z., Mikołajec, K. (2009). Lactate Threshold (D-Max Method) and Maximal Lactate Steady State in Cyclists. *Journal of Human Kinetics*; 21(1): 49-56.
- Davis, H.A., J. Bassett, J., Hughes, P., Gass, G.C. (1983). Anaerobic threshold and lactate turnpoint. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*; 50: 383-392.
- Davis, J.A. (1985). Anaerobic threshold: a review of the concept and directions for future research. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 17: 6-18.
- Dekerle, J., Sidney, M., Hespel, M.J., Pelayo, P. (2002). Validity and reliability of critical speed, critical stroke rate and anaerobic capacity in relation to front crawl Swimming Performance. *International Journal of Sports Medicine*; 23: 93-98.
- Dekerle, J., Baron, B., Dupont, L., Vanvelcenaher, J., Pelayo, P. (2003). Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. *European Journal of Applied Physiology*; 89: 281-288.
- Dekerle, J., Nesi, X., Lefevre, T., Depretz, S., Sidney, M., Marchand, F.H., Pelayo, P. (2005a). Stroking parameters in front crawl swimming and maximal lactate steady state speed. *International Journal of Sports Medicine*; 26(1): 53-58.

- Dekerle, J., Pelayo, P., Clipet, B., Depretz, S., Lefevre, T., Sidney, M. (2005b). Critical swimming speed does not represent the speed at maximal lactate steady state. *International Journal of Sports Medicine*; 26(7): 524-530.
- Dekerle, J., Williams, C., McGawley, K., Carter, H. (2009). Critical power is not attained at the end of an isokinetic 90-second all-out test in children. *Journal of Sports Sciences*; 27(4): 379-385.
- Dekerle, J., Brickley, G., Albery, M., Pelayo, P. (2010). Characterizing the slope of the distance-time relationship in swimming. *Journal of Science and Medicine in Sport*; 13(3): 365-370.
- Deley, G., Millet, G.Y., Borrani, F., Lattier, G., Brondel, L. (2006). Effects of two types of fatigue on the VO₂ slow component. *International Journal of Sports Medicine*; 27(6): 475-482.
- Demarie, S., Sardella, F., Billat, V., Magini, W., Faina, M. (2001). The VO₂ slow component in swimming. *European Journal of Applied Physiology*; 84: 95-99.
- Demarle, A.P., Slawinski, J.J., Laffite, L.P., Bocquet, V.G., Koralsztejn, J.P., Billat, V.L. (2001). Decrease of O₂ deficit is a potential factor in increased time to exhaustion after specific endurance training. *Journal of Applied Physiology*; 90(3): 947-953.
- Demello, J.J., Cureton, K.J., Boineau, R.E., Singh M.M. (1987). Ratings of perceived exertion at the lactate threshold in trained and untrained men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 19: 354-362.
- Denadai, B.S., Figuera, T.R., Favaro, O.R.P., Gonçalves, M. (2004). Effect of the aerobic capacity on the validity of the anaerobic threshold for determination of the maximal lactate steady state in cycling. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*; 37: 1551-1556.
- Denadai, B.S., Gomide, E.B.G., Greco C.C. (2005). The Relationship between onset of blood lactate accumulation, critical velocity, and maximal lactate steady state in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*; 19(2): 364-368.
- DiMenna, F.J, Wilkerson, D.P., Burnley, M., Bailey, S.J., Jones, A.M. (2010). Priming exercise speeds pulmonary O₂ uptake kinetics during supine "work-to-work" high-intensity cycle exercise. *Journal of Applied Physiology*; 108(2): 283-292.
- di Prampero, P.E., e Margaria, R. (1968). Relationship between O₂ consumption, high energy phosphates and the kinetics of the O₂ debt in exercise. *Pflügers Archives*; 304(1): 11-19.
- di Prampero, P.E. (1981). Energetics of muscular exercise. *Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology*; 89: 143-222.

- di Prampero, P.E. (1986) The energy cost of human locomotion on land and in water. *International Journal of Sports Medicine*; 7: 55-72.
- di Prampero, P.E. (1999). The concept of critical velocity: a brief analysis. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*; 80 (2): 162-164.
- di Prampero, P.E., Dekerle, J., Capelli, C., Zamparo, P. (2008). The critical velocity in swimming. *European Journal of Applied Physiology*; 102(2): 165-171.
- Dupont, G., Millet, G.P., Guinhouya, C., Berthoin, S. (2005). Relationship between oxygen uptake kinetics and performance in repeated running sprints. *European Journal of Applied Physiology*; 95(1): 27-34.
- Egaña, M., O'Riordan, D., Warmington, S.A. (2010). Exercise performance and VO₂ kinetics during upright and recumbent high-intensity cycling exercise. *European Journal of Applied Physiology*; 110(1): 39-47.
- Ekblom, B. e Goldbarg, A.N. (1971). The influence of physical training and other factors on the subjective rating of perceived exertion. *Acta Physiologica Scandinavica*; 83: 399-406.
- Ettema, J.H. (1966). Limits of human performance and energy production. In: Dekerle, J., Nesi, X., Carter, H. The distance-time relationship over a century of running Olympic performances: A limit on the critical speed concept. *Journal of Sports Sciences*; 24 (11): 1213-1221.
- Faude, O., Kindermann, W., Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports Medicine*; 39(6): 469-490.
- Fernandes, R. e Vilas-Boas, J.P. (1999). Critical velocity as a criterion for estimating aerobic training pace in juvenile swimmers. In: Keskinen, K.L., Komi, P.V., Hollander, A.P. (Eds). *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII*. Jyvaskyla: Gummerus Printing: pp. 233-238.
- Fernandes, R., Guerra, S., Lamares, J., Vilas-Boas, J. (2000). Critical velocity in swimming: three different methods for its determination. In: Avela, J., Komi, P.V., Komulainen, J. (Eds). *Proceedings of the 5th Annual Congress of the European College of Sports Science*. Jyvaskyla: University of Jyvaskyla: 260.
- Fernandes, R.J., Cardoso, C.S., Soares, S.M., Ascensão, A., Colaço, P.J., Vilas-Boas, J.P. (2003). Time limit and VO₂ slow component at intensities corresponding to VO_{2max} in swimmers. *International Journal of Sports Medicine*; 24(8): 576-581.
- Fernandes, R.J., Billat, V.L., Cruz, A.C., Colaço, P.J., Cardoso, C.S., Vilas-Boas, J.P. (2006). Does net energy cost of swimming affect the time to exhaustion at the individuals maximal oxygen consumption velocity? *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*; 46(3): 373-380.

- Fernandes, R.J., Keskinen, K.L., Colaço, P., Querido, A.J., Machado, L.J., Morais, P.A., Novais, D.Q., Marinho, D.A., Vilas Boas, J.P. (2008). Time Limit at VO₂max Velocity in Elite Crawl Swimmers. *International Journal of Sports Medicine*; 29: 145-150.
- Fernandes, R.J., Sousa, A., Figueiredo, P., Oliveira, N., Oliveira, J., Silva, A. J., Keskinen, K L., Rodriguez, F. A., Machado, L., Vilas-Boas, J. P. (2010a). Oxygen kinetics in a 200-m front crawl maximal swimming effort. Apresentação 661 no Annual Meeting of the American College of Sports Medicine, Baltimore, Maryland; June 2-5.
- Fernandes, R.J., Sousa, M., Pinheiro, A., Vilar, S., Colaço, P., Vilas-Boas, J.P. (2010b). Assessment of individual anaerobic threshold and stroking parameters in swimmers aged 10-11 years. *European Journal of Sport Science*; 10(5); 311-317.
- Fernandes, R.J., Sousa, M., Machado, L., Vilas-Boas, J.P. (2011). Step length and individual anaerobic threshold assessment in swimming. *International Journal of Sports Medicine*; 32(12): 940-946.
- Figueira, T.R., Caputo, F., Pelarigo, J.G., Denadai, B.S. (2008). Influence of exercise mode and maximal lactate-steady-state concentration on the validity of OBLA to predict maximal lactate-steady-state in active individuals. *Journal of Science and Medicine in Sport*; 11: 280-286.
- Filipatou, E., Toubekis, A., Doua, H., Pilianidis, T., Tokmakidis, S. (2006). Lactate and heart rate responses during swimming at 95% and 100% of the critical velocity in children and young swimmers. *Portuguese Journal of Sport Sciences*; 6(S2): 132–134.
- Fontana, P., Boutellier, U., Knöpfli-Lenzin, C. (2009). Time to exhaustion at maximal lactate steady state is similar for cycling and running in moderately trained subjects. *European Journal of Applied Physiology*; 107(2): 187-192.
- Foster, C., Crowe, M.P., Holum, D., Sandvig, S., Schrage, M., Snyder, A.C., Zajakowski, S. (1995). The bloodless lactate profile. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 27: 927-933.
- Gaesser, G.A. e Poole, D.C. (1996). The slow component of oxygen uptake kinetics on human. *Exercise Sport Science Review*; 24: 35-71.
- Gastin, P.B. (2001). Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Medicine*; 31(10): 725-41.
- Gladden, L.B. (2000). Muscle as a consumer of lactate. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 32: 764-771.
- Gomes-Pereira, J., e Alves, F. (1998). Prediction of swimming competitive performance through lactate testing procedures. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 30(5): Supplement abstract 190.

- Grant, S., McMillan, K., Newell, J., Wood, L., Keatley, S., Simpson, D., Leslie, K., Fairlie-Clark, S. (2002). Reproducibility of the blood lactate threshold, 4 mmol.⁻¹ marker, heart rate and ratings of perceived exertion during incremental treadmill exercise in humans. *European Journal of Applied Physiology*; 87(2): 159-166.
- Greco, C.C., Pelarigo, J.C., Figueira, T.R., Denadai, B.S. (2007). Effects of gender on stroke rates, critical speed and velocity of a 30-min swim in young swimmers. *Journal of Sports Science and Medicine*; 6(4): 441-447.
- Greco, C.C., Oliveira, M.F., Caputo, F., Denadai, B.S., Dekerle, J. (2012). How narrow is the spectrum of sub-maximal speeds in swimming? *Journal of Strength and Conditioning Research*. Junho [Epub].
- Green, S., Dawson, B.T., Goodman, C., Carey, M.F. (1994). Y-intercept of the maximal work-duration relationship and anaerobic capacity in cyclists. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*; 69(6): 550-556.
- Green, J.M., McLester, J.R., Crews, T.R., Wickwire, P.J., Pritchett, R.C., Lomax, R.G. (2006). RPE association with lactate and heart rate during high-intensity interval cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 38(1): 167-172.
- Harnish, C.R., Swensen, T.C., Pate, R.P. (2001). Methods for estimating the maximal lactate steady state in trained cyclists. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 33: 1052-1055.
- Hauser, T., Bartsch, D., Baumgärtel, L., Schulz, H. (2012). Reliability of Maximal Lactate-Steady-State. *International Journal of Sports Medicine*. Setembro [Epub].
- Haverty, M., Kenney, W.L., Hodgson, J.L. (1988). Lactate and gas exchange responses to incremental and steady state running. *British Journal of Sports Medicine*; 22(2): 51-54.
- Heck, H., Mader, A., Hess, G., Mucke, S., Muller, R., Hollmann, W. (1985). Justification of the 4mmol/l lactate threshold. *International Journal of Sports Medicine*; 6: 117-130.
- Hein, M.S., Kelly, J.M., Zeballos, R.J. (1989). A fixed velocity swimming protocol for determination of individual anaerobic threshold. *Journal of Swimming Research*; 5(3): 15-19.
- Hellard, P., Dekerle, J., Avalos, M., Caudal, N., Knopp, M., Hausswirth, C. (2008). Kinematic measures and stroke rate variability in elite female 200-m swimmers in the four swimming techniques: Athens 2004 Olympic semi-finalists and French National 2004 Championship semi-finalists. *Journal of Sports Sciences*; 26(1): 35-46.
- Hellard, P., Houel, N., Avalos, M., Nesi, X., Toussaint, J. F., Hausswirth, C. (2010). Modeling the slow component in elite long distance swimmers at the velocity associated

with lactate threshold. XIth International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming, Oslo, June 16–19.

Hepple, R.T. (2002). The role of O₂ supply in muscle fatigue. *Canadian Journal of Applied Physiology*; 27(1): 56-69.

Hill, A.V., Long, C.N.H., Lupton, H. (1924). Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilisation of oxygen: parts IV-VI. *Proceeding of the Royal Society London*; 97: 84-138.

Hill, A.V. (1927). *Muscular movements in man: the factors governing speed and recovery from fatigue*. McGraw-Hill, New York: pp. 41-44.

Hill, D.W. (1993). The critical power concept: a review. *Sports Medicine*; 16: 237-254.

Hill, D.W. e Smith. J.C. (1994). A method to ensure the accuracy of estimates of anaerobic capacity derived using the critical power concept. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*; 34: 23-37.

Hill, D.W. (1999). Energy contributions in middle distance running events. *Journal of Sports Science*; 17(6): 477-483.

Hill, D.W. e Ferguson, C.S. (1999). A physiological description of critical velocity. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*; 79(3): 290-293.

Hill, D.W., Poole, D.C., Smith, J.C. (2002). The relationship between power and the time to achieve VO_{2max}. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 34: 709-714.

Hill, D.W., Halcomb, J.N., Stevens, E.C. (2003). Oxygen uptake kinetics during severe intensity running and cycling. *European Journal of Applied Physiology*; 89: 612-618.

Hoffmann, P., Bunc, V., Leinter, H., Pokan, R., Gaisl, P. (1994). Heart rate threshold related to lactate turnpoint and steady-state exercise on a cycle ergometer. *European Journal of Applied Physiology*; 69: 132-139.

Holmer, I. (1974). Physiology of swimming man. *Acta Physiologica Scandinavica*; 407: 1-55.

Hoogeveen, A.R. Hoogstenn, J., Schep, G. (1997). The maximal lactate steady state in elite endurance athletes. *The Japanese Journal of Physiology*; 47: 481-485.

Housh, T.J., Cramer, J.T., Bull, A.J., Johnson, G.O., Housh, D.J. (2001). The effect of mathematical modeling on critical velocity. *European Journal of Applied Physiology*; 84: 469-475.

Hughson, R.L., Orok, C.J., Staudt, L.E. (1984). A high velocity running test to assess endurance running potential. *International Journal of Sports Medicine*; 5: 23-25.

- Hughson, R.L., Shoemaker, J.K., Tschakovsky, M.E., Kowalchuk, J.M. (1996). Dependence of muscle VO_2 on blood flow dynamics at onset of forearm exercise. *Journal of Applied Physiology*; 81(4): 1619-1626.
- Hughson, R.L. (2009). Oxygen uptake kinetics: historical perspective and future directions. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*; 34(5): 840-850.
- Ivy, J.L., Withers, R.T., Van Andel, P.J., Elger, D.H., Costill, D.L. (1980). Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold. *Journal of Applied Physiology*; 48: 523-527.
- Ingham, S.A, Carter, H., Whyte, G., Doust, J.H. (2007). Comparison of the Oxygen Uptake Kinetics of Club and Olympic Champion Rowers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 39(5): 865-871.
- Ivy, J.L, Withers, R.T., van Handel, P.J., Elger, D.H., Costill, D.L. (1980). Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold. *Journal of Applied Physiology*; 48: 523-527.
- Jenkins, D.G., Quigley, B.M. (1991). The y-intercept of the critical power function as a measure of anaerobic work capacity. *Ergonomics*; 34: 13–22.
- Jones, A.M. e Doust, J.H. (1998). The validity of the lactate minimum test for determination of the maximal lactate steady state. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 30(8): 1304-1313.
- Jones, A.M., e McConnell, A.M. (1999). Effect of exercise modality on oxygen uptake kinetics during heavy exercise. *European Journal of Applied Physiology*; 80(3): 213-219.
- Jones, A.M. e Carter, H. (2000). The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Medicine*, 29: 373-386.
- Jones, A.M. e Doust, J.H. (2001). Limitations to submaximal exercise performance. In: *Kinanthropometry and Exercise Physiology Laboratory Manual: Tests, Procedures, and Data*. 2nd edition (eds. Eston, R.G. e Reilly, T.). London, Routledge: pp. 235-262.
- Jones, A.M. e Poole, D.C. (2005). Introduction to oxygen uptake kinetics and historical development of the discipline. In: *Oxygen Uptake Kinetics in Sport, Exercise and Medicine* (eds.) Jones, A.M. e Poole, D.C. (pp. 3-35). Routledge, London.
- Jones, A.M. e Koppo, K. (2005). Effect of training on VO_2 kinetics and performance. In: Jones, A.M. e Poole, D.C. (eds.), *Oxygen uptake kinetics in sport, exercise and medicine*. (pp. 373-98), Oxon, Routledge.
- Jones, A.M., Berger, N.J., Wilkerson, D.P., Roberts, C.L. (2006). Effects of "priming" exercise on pulmonary O_2 uptake and muscle deoxygenation kinetics during heavy-

intensity cycle exercise in the supine and upright positions. *Journal of Applied Physiology*; 101(5): 1432-1441.

Jones, A.M., Wilkerson, D.P., DiMenna, F., Fulford, J., Poole, D.C. (2008). Muscle metabolic responses to exercise above and below the “critical power” assessed using ³¹P-MRS. *American Journal of Physiology Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*; 294(2): R585-593.

Jones, A.M. e Burnley, M. (2009). Oxygen uptake kinetics: an underappreciated determinant of exercise performance. *International Journal of Sports and Physiology Performance*; 4(4): 524-532.

Jones, A.M., Vanhatalo, A., Burnley, M., Morton, R.H., Poole, D.C. (2010). Critical power: implications for determination of $\dot{V}O_{2max}$ and exercise tolerance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 42: 1876-1890.

Jones, A.M., Grassi, B., Christensen, P.M., Krustup, P., Bangsbo, J., Poole, D.C. (2011). Slow component of $\dot{V}O_2$ kinetics: mechanistic bases and practical applications. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 43(11): 2046-2062.

Katz, A. e Sahlin, K. (1990). Role of oxygen in regulation of glycolysis and lactate production in human skeletal muscle. In: Pandolf, K.B., Holloszy, J.O. (Eds). *Exercise and Sport Sciences Reviews*. Baltimore: Williams & Wilkins: pp. 1-28.

Kaufman, M.P. e Forster, H.V. (1996). Reflexes controlling circulatory, ventilatory and airway responses to exercise. *Handbook of Physiology, Exercise: Regulation and Integration of Multiple Systems*: pp. 381-447. American Physiological Society, Bethesda, MD, USA.

Keskinen K.L. e Komi, P.V. (1988). The stroking characteristics in four different exercises in free style swimming. In: De Groot, G., Hollander, A.P., Huijing, P.A., Van Ingen Schenau, G.J. (eds.) *Biomechanics XI-B, International Series on Biomechanics*. Amsterdam: Free University Press; 7-B: 839-843.

Keskinen, K.L., Tilli, L.J., Komi, P.V. (1989). Maximum velocity swimming: Interrelationships of stroking characteristics, force production and anthropometric variables. *Scandinavian Journal of Sports Science*; 11(2): 87-92.

Keskinen, K.L. e Komi, P.V. (1993). Stroking characteristics of front crawl swimming during exercise. *Journal of Applied Biomechanics*; 9: 219-226.

Keskinen, K.L., Rodriguez, F.A., Keskinen, O.P. (2003). Respiratory snorkel and valve system for breath-by-breath gas analysis in swimming. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*; 13: 322-329.

- Kilding, A.E. e Jones, A.M. (2005). Validity of a Single-Visit Protocol to Estimate the Maximum Lactate Steady State. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 37(10): 1734-1740.
- Kilding, A.E., Winter, E.M., Fysh, M. (2006). Moderate-domain pulmonary oxygen uptake kinetics and endurance running performance. *Journal of Sport Sciences*; 24(9): 1013-1022.
- Kilding, A.E., Fysh, M., Winter, E.M. (2007). Relationships between pulmonary oxygen uptake kinetics and other measures of aerobic fitness in middle- and long-distance runners. *European Journal of Applied Physiology*; 100(1): 105-114.
- Kjendlie, P.L., Ingjer, F., Madsen, Ø., Stallman, R.K. (2004). Differences in the energy cost between children and adults during front crawl swimming. *European Journal of Applied Physiology*; 91: 473-480.
- Kjendlie, P-L., Haljand, R., Fjortoft, O., Stallman, R.K. (2006). Stroke frequency strategies of international and national swimmers in 100-m races. In: Vilas-Boas, J.P., Alves, F., Marques, A. (eds.) Xth International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming, University of Porto: pp. 52-54.
- Klentrou, P.P. e Montpetit, R.R. (1991) Physiological and physical correlates of swimming performance. *Journal of Swimming Research*; 7(1): 13-18.
- Koga, S., Shiojiri, T., Shibasaki, M. Fukuba, Y., Fukuoka, Y., Kondo, N. (1996). Kinetics of oxygen uptake and cardiac output at onset of arm exercise. *Respiratory Physiology*; 102(2): 195-202.
- Koga, S., Tomoyuki, S., Shibasaki, M., Kondo, N., Fukuba, Y., Barstow, T. (1999). Kinetics of oxygen uptake during supine and upright heavy exercise. *Journal of Applied Physiology*; 87(1): 253-260.
- Koppo, K., Bouckaert, J., Jones, A.M. (2002). Oxygen uptake kinetics during high-intensity arm and leg exercise. *Respiratory Physiology and Neurobiology*; 133(3): 241-250.
- Koppo, K., Bouckaert, J., Jones, A.M. (2004). Effects of training status and exercise intensity on phase II VO₂ kinetics. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 36(2): 225-232.
- Koppo, K., e Bouckaert, J. (2005). Prior arm exercise speeds the VO₂ kinetics during arm exercise above the heart level. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 37(4): 613-619.
- Krustrup, P., Jones, A.M., Wilkerson, D.P., Wilkerson, D.P., Calbet, J.A., Bangsbo, J. (2009). Muscular and pulmonary O₂ uptake kinetics during moderate- and high-

intensity sub-maximal knee extensor exercise in humans. *Journal of Physiology*; 587(Pt 8): 1843-1856.

Kuipers, H., Rietjens, G., Verstappen, F., Schoenmakers, H., Hofman, G. (2003). Effects of Stage Duration in Incremental Running Tests on Physiological Variables. *International Journal of Sports Medicine*; 24: 486-491.

Laplaud, D., Guinot, M., Favre-Juvin, A., Flore, P. (2006). Maximal lactate steady state determination with a single incremental test exercise. *European Journal of Applied Physiology*; 96(4): 446-452.

Lätt, E., Jürimäe, J., Mäestu, J., Purge, P., Rämson, R., Haljaste, K., Keskinen, K.L., Rodriguez, F.A., Jürimäe, T. (2010). Physiological, biomechanical and anthropometrical predictors of sprint swimming performance in adolescent swimmers. *Journal of Sports Science and Medicine*; 9: 398-404.

Lavoie, J.M., Taylor, A.W., Montpetit, R.P. (1981). Physiological effects of training in elite swimmers as measured by free a free swimming test. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*; 21: 38-42.

Lavoie, J.M. e Montpetit, R.R. (1986). Applied physiology of swimming. *Sports Medicine*; 3: 165-189.

Linnarsson, D. (1974). Dynamics of pulmonary gas exchange and heart rate changes at start and end of exercise. *Acta Physiologica Scandinavica Supplement*; 415: 1-68.

Loat, C.E. e Rhodes, E.C. (1993). Relationship between the lactate and ventilatory thresholds during prolonged exercise. *Sports Medicine*; 15(2): 104-115.

Lucía, A., Hoyos, J., Carvajal, A., Chicharro, J.L. (1999). Heart rate response to professional road cycling: The Tour de France. *International Journal of Sports Medicine*; 20: 167-172.

MacDonald, M.J., Shoemaker, J.K., Tschakovsky, M.E., Hughson, R.L. (1998). Alveolar oxygen uptake and femoral artery blood flow dynamics in upright and supine leg exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*; 85(5): 1622–1628.

Mader, A. e Heck, H. (1986). A theory of the metabolic origin of anaerobic threshold. *International Journal of Sports Medicine*; 7(Supl.): 45-65.

Madsen, Ø. (1982). Untersuchungen über Einflussgrößen auf Parameter des Energiestoffwechsels beim freien Kraulschwimmen (parameters influencing the energy metabolism during free crawl swimming). Dissertation, Deutschen Sporthochschule, Köln, pp 1-265.

Madsen, O. e Lohberg, M. (1987). The lowdown on lactates. *Swimming Technique*; May-July: 21-25.

- Mamen, A. e van den Tillaar, R. (2009). Estimating the Maximal Lactate Steady State Power from an Incremental Test Using Lactate Pro® LP1710. *International Journal of Applied Sports Sciences*; 21(1): 74-85.
- Margaria, R., Cerretelli, P., Mangili, F. (1963). Balance and kinetics of anaerobic energy release during strenuous exercise in man. *Journal of Applied Physiology*; 19: 623-628.
- Marinho, D.A., Vilas-Boas, J.P., Keskinen, K.L., Rodriguez, F.A., Soares, S.M., Carmo, C.M., Vilar, S.O., Fernandes, R.J. (2006). The behaviour of kinematic parameters during a time to exhaustion test at VO₂max in elite swimmers. *Journal of human Movement Studies*; 51(1): 1-10.
- Marinho, D.A., Reis, V.M., Alves, F.B., Vilas-Boas, J.P., Machado, L., Silva, A.J., Rouboa, A.I. (2009). Hydrodynamic drag during gliding in swimming. *Journal of Applied Biomechanics*; 25(3): 253-257.
- Marinho, D.A., Amorim, R.A., Costa, A.M., Marques M.C., Pérez-Turpin, J.A, Neiva, H.P. (2011). Anaerobic critical velocity and swimming performance in young swimmers. *Journal of Human Sport and Exercise*; ISSN 1988-5202. doi: 10.4100/jhse.
- Martin, L. e Whyte, G. (2000). Comparison of critical swimming velocity and velocity at lactate threshold in elite triathletes. *International Journal of Sports Medicine*; 21: 366-368.
- Marwood, S., Roche, D., Garrard, M., Unnithan, V.B. (2011). Pulmonary oxygen uptake and muscle deoxygenation kinetics during recovery in trained and untrained male adolescents. *European Journal of Applied Physiology*; 111(11): 2775-2784.
- Mattern, C.O., Gutilla, M.J., Bright, D.L., Kirby, T.E., Hinchcliff, K.W., Devor, S.T. (2003). Maximal lactate steady state declines during the aging process. *Journal of Applied Physiology*; 95: 2576-2582.
- Mattern, C.O., Gutilla, M.J., Kirby, T.E., Devor, S.T. (2007). Estimation of Maximal Lactate Steady State in Trained Female Rowers. *Journal of Exercise Physiology online*; 10(6): 1-9.
- Medbø, J.I. e Tabata, I. (1989). Relative importance of aerobic and anaerobic energy release during short-lasting exhaustive bicycle exercise. *Journal of Applied Physiology*; 67(5): 1881-1886.
- Meyer, T., Lucía, A., Earnest, C.P., Kindermann, W. (2005). A conceptual framework for performance diagnosis and training prescription from submaximal gas exchange parameters – theory and application. *International Journal of Sports Medicine*; 26(Suppl 1): 38-48.

- Millet, G.P., Vleck, V.E., Bentley, D.J. (2009). Physiological differences between cycling and running: lessons from triathletes. *Sports Medicine*; 39(3): 179-206.
- Millet, G.P., Vleck, V.E., Bentley, D.J. (2011). Physiological requirements in triathlon. *Journal of Human Sport and Exercise*; 6(2); 184-204.
- Mocellin, R., Heusgen, M., Gildein, H. (1991). Anaerobic threshold and maximal steady-state blood lactate in prepubertal boys. *European Journal of Applied Physiology*; 62: 56-60.
- Mognoni, P., Sirtori, M.D., Lorenzelli, F., Cerretelli, P. (1990). Physiological responses during prolonged exercise at the power output corresponding to the blood lactate threshold. *European Journal of Applied Physiology*; 60: 239-243.
- Monod, H. e Scherrer, J. (1965). The work capacity of synergic muscle group, *Ergonomics*; 9: 329-338.
- Morton, R.H. (2006). The critical power and related whole-body bioenergetic models. *European Journal of Applied Physiology*; 96(4): 339-54.
- Morton, R.H., Stannard, S.R., Kay, B. (2012). Low reproducibility of many lactate markers during incremental cycle exercise. *British Journal of Sports Medicine*; 46(1): 64-69.
- Mujika, I., Chatard, J.C., Bussi, T., Geysant, A., Barale, F., Lacoste, L. (1995). Effects of training on performance in competitive swimming. *Canadian Journal of Applied Physiology*; 20: 395-406.
- Murias, J.M., Kowalchuk, J.M., Paterson, D.H. (2010). Speeding of VO₂ kinetics with endurance training in old and young men is associated with improved matching of local O₂ delivery to muscle O₂ utilization. *Journal of Applied Physiology*; 108: 913-922.
- Neder, J.A. e Whipp, B.J. (2000). Kinetics of pulmonary oxygen uptake. In: Pediatric Exercise Science. Armstrong, N. e van Mechelen, W (eds.). Oxford: Oxford Medical Publications: pp. 191-200.
- Newell, J., Higgins, D., Madden, N., Cruickshank, J., Einbeck, J., McMillan, K., McDonald, R. (2007). Software for calculating blood lactate endurance markers. *Journal of Sports Sciences*; 25(12): 1403-1409.
- Norris, S.R., Petersen, S.R. (1998). Effects of endurance training on transient oxygen uptake responses in cyclists. *Journal of Sports Sciences*; 16: 733-738.
- Olbrecht, J., Madsen, O., Mader, A., Liesen, H., Hollmann, W. (1985). Relationship between swimming velocity and lactic concentration during continuous and intermittent training exercises. *International Journal of Sports Medicine*; 2: 74-77.

- Oliveira, M.F., Caputo, F., Lucas, R.D., Denadai, B.S., Greco, C.C. (2011). Physiological and Stroke Parameters to Assess Aerobic Capacity in Swimming. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. DeZembro [Epub].
- Oliveira, M.F., Caputo, F., Dekerle, J., Denadai, B.S., Greco, C.C. (2012). Stroking Parameters during Continuous and Intermittent Exercise in Regional-Level Competitive Swimmers. *International Journal of Sports Medicine*. Maio [Epub].
- Özyener, F., Rossiter, H.B., Ward, S.A., Whipp, B.J. (2001). Influence of exercise intensity on the on- and off-transient kinetics of pulmonary oxygen uptake in humans. *Journal of Physiology*; 533(Pt 3): 891-902.
- Pai, Y-C., Hay, J.G., Wilson, B.D. (1984). Stroking techniques of elite swimmers. *Journal of Sports Sciences*; 2: 225-239.
- Palmer, A.S., Potteiger, J.A., Nau, K.L., Tong, R.J. (1999). A 1-day maximal lactate steady-state assessment protocol for trained runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 31(9): 1336-1341.
- Papoti, M., Zagatto, A., Freitas Junior, P., Cunha, S., Martins, L., Gobatto, C. (2005) Use of the y-intercept in the evaluation of the anaerobic fitness and performance prediction of trained swimmers. *Brazilian Journal of Sports Medicine*; 11: 131-135.
- Paterson, D. e Whipp, B.J. (1991). Assymetries of oxygen uptake transients at the on- and offset of heavy exercise in humans. *Journal of Physiology*; 443: 575-586.
- Peinado, P.J., Di Salvo, V., Pigozzi, F., Bermúdez, A.I., Peinado Lozano, A.B., Calderón Montero, F.J., Maffulli, N. (2006). Steady-state acid-base response at exercise levels close to maximum lactate steady state. *Clinical Journal of Sport Medicine*; 16(3): 244-246.
- Pelarigo, J.G., Denadai, B.S., Greco, C.C. (2011). Stroke phases responses around maximal lactate steady state in front crawl. *Journal of Science and Medicine in Sport*; 14: 168-171.
- Pelayo, P., Sidney, M., Kherif, T., Chollet, D., Tourny, C. (1996) Stroking characteristics in free style swimming and relationships with anthropometric characteristics. *Journal of Applied Biomechanics*; 12: 197-206.
- Pelayo, P., Sidney, M., Weissland, T. (1998). Effects of variations of spontaneously chosen rate during crank upper-body and swimming exercise. *Journal of Human Movement Studies*; 33: 171-180.
- Pelayo, P., Dekerle, J., Delaporte, B., Gosse, N., Sidney, M. (2000). Critical speed and critical stroke rate could be useful physiological and technical criteria for coaches to monitor endurance performance in competitive swimmers. *Proceedings of XVIII International Symposium on Biomechanics in Sports*. 83-87. Hong-Kong.

- Pelayo, P., Alberty, M., Sidney, M., Potdevin, F., Dekerle, J. (2007). Aerobic potential, stroke parameters, and coordination in swimming front-crawl performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*; 2: 347-359.
- Perrey, S., Betik, A., Candau, R., Rouillon, J.D., Hughson, R.L. (2001). Comparison of oxygen uptake kinetics during concentric and excentric cycle exercise. *Journal of Applied Physiology*; 91(5): 2135-42.
- Pêsoa Filho, D.M., Reis, J.F., Albes, F.B., Denadai, B.S. (2010). Oxygen uptake kinetics around the respiratory compensation point. In: Kjendlie, P.L., Stallman, R.K., Cabri, J. (eds.). *Biomechanics and Medicine in Swimming XI* (pp. 215-217), Oslo: Norwegian Scholl of Sport Science.
- Pessôa Filho, D.M., Alves, F.B., Reis, J.F., Greco, C.C., Denadai, B.S. (2012). VO₂ Kinetics During Heavy and Severe Exercise in Swimming. *International Journal of Sports Medicine*. 33(9): 744-748.
- Plato, P.A., McNulty, M., Crunk, S.M., Tug Ergun, A. (2008). Predicting lactate threshold using ventilatory threshold. *International Journal of Sports Medicine*; 29(9): 732-737.
- Poole, D.C e Gaesser, G.A. (1985). Response of ventilatory and lactate thresholds to continuous and interval training. *Journal of Applied Physiology*; 58(4): 1115-1121.
- Poole, D.C., Ward, S.A., Gardner, G.W., Whipp, B.J. (1988). A metabolic and respiratory profile of the upper limit to prolonged exercise in man. *Ergonomics*; 31: 1265-1279.
- Poole, D.C., Ward, S.A., Whipp, B.J. (1990). The effects of training on the metabolic and respiratory profile of high-intensity cycle ergometer exercise. *European Journal of Applied Physiology*; 59: 421-429.
- Poole, D.C., Schaffartzik, W., Knight, D.R., Derion, T., Kennedy, B., Guy, H.J., Prediletto, R., Wagner, P.D. (1991). Contribution of exercising legs to the slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Journal of Applied Physiology*; 71(4): 1245-1260.
- Poole, D.C., Gladden, L.B, Kurdak, S., Hogan, M.C. (1994). L-(+)-lactate infusion into working dog gastrocnemius: no evidence lactate per se mediates VO₂ slow component. *Journal of Applied Physiology*; 76(2): 787-792.
- Poole, D.C. e Jones, A.M. (2005). Understanding the mechanistic bases of VO₂ kinetics. In: Jones, A.M. e Poole, D.C. (eds), *Oxygen uptake kinetics in sport, exercise and medicine*. (pp. 294-328), Oxon, England: Routledge.
- Poole DC, Barstow TJ, McDonough P, Jones AM. (2008). Control of Oxygen Uptake during Exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 40(3): 462-474.

- Potteiger, J.A. e Hopkins, D. (1992). Are RPE and HR consistent markers of the lactate threshold and onset of blood lactate accumulation in well trained runners. *The Physiologist*; 35: 209.
- Potteiger, J.A. e Weber, S.F. (1994) Rating of perceived exertion and heart rate as indicators of exercise intensity in different environmental temperatures. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 26:791-796.
- Powers, S.K., Dodd, S., Beadle, R.E. (1985). Oxygen uptake kinetics in trained athletes differing in $\text{VO}_{2\text{max}}$. *European Journal of Applied Physiology*; 54: 306-308.
- Pringle, J.S. e Jones, A.M. (2002). Maximal lactate steady state, critical power and EMG during cycling. *European Journal of Applied Physiology*; 88: 214-226.
- Pringle, J.S., Doust, J.H., Carter, H., Tolfrey, K., Campbell, I.T., Sakkas, G.K., Jones, A.M. (2003). Oxygen uptake kinetics during moderate, heavy and severe intensity submaximal exercise in humans: the influence of muscle type and capillarisation. *European Journal of Applied Physiology*; 89: 289-300.
- Pyne, D.B. (1998). Performance and physiological changes in elite swimmers during altitude training. *Coaching and Sport Science Journal*; 3: 42-48.
- Pyne, B.D., Lee, H.E., Swanwick, K.M. (2001). Monitoring the lactate threshold in world ranked swimmers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 33: 291-297.
- Pyne, D.B., Mujika, I., Reilly, T. (2009). Peaking for optimal performance: Research limitations and future directions. *Journal of Sports Sciences*; 27(3): 195-202.
- Quinn, T.J. e Coons, B.A. (2011). The Talk Test and its relationship with the ventilatory and lactate thresholds. *Journal of Sports Sciences*; 29(11): 1175-1182.
- Reilly, T., e Woodbridge, V. (1999). Effects of moderate dietary manipulations on swim performance and on blood lactate-swimming velocity curves. *International Journal of Sports Medicine*; 20:93-97.
- Reis, J. e Alves, F. (2006). Training induced changes in critical velocity and V_4 in age group swimmers. In: Vilas-Boas, J.P., Alves, F., Marques, A. (eds.). *Biomechanics and Medicine in Swimming X* (pp. 311-313) Porto, *Portuguese Journal of Sport Sciences*.
- Reis, J., Alves, F., Vleck, V., Bruno, P., Millet, G. P. (2009). Correlation between oxygen uptake kinetics in severe intensity swimming and endurance performance. A paper presented at the 14th Annual Congress of the European College of Sport Science, Oslo, Norway, June 24-27.
- Reis, J.F., Millet, G.P., Malatesta, D., Roels, B., Borrani, F., Vleck, V.E., Alves, F.B. (2010). Are oxygen uptake kinetics modified when using a respiratory snorkel? *International Journal of Sports Physiology and Performance*; 5(3): 292-300.

- Reis, J.F., Alves, F.B., Bruno, P.M., Vleck, V., Millet, G.P. (2012a). Oxygen uptake kinetics and middle distance swimming performance. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 15(1): 58-63.
- Reis, J.F., Alves, F.B., Bruno, P.M., Vleck, V., Millet, G.P. (2012b). Effects of aerobic fitness on oxygen uptake kinetics in heavy intensity swimming. *European Journal of Applied Physiology*; 112(5): 1689-1697.
- Ribeiro, L.F., Lima, M.C., Gobatto, C.A. (2010). Changes in physiological and stroking parameters during interval swims at the slope of the d-t relationship. *Journal of Science and Medicine in Sport*; 13: 141-145.
- Roberts, C.L, Wilkerson, D.P, Jones, A.M. (2005). Pulmonary O₂ uptake on-kinetics in rowing and cycle ergometer exercise. *Respiratory Physiology and Neurobiology*; 146(2-3): 247-258.
- Rodríguez, F.A., Moreno, D., Keskinen, K.L. (2003). Validity of a two-distance simplified method for determining critical swimming velocity. In: Chatard, J.C. (eds.) Biomechanics and Medicine in Swimming IX. University of Saint-Etienne, Saint-Etienne, France: pp. 385-390.
- Roels, B., Schmitt, L., Libicz, S., Bentley, D., Richalet, J., Millet, G. (2005). Specificity of VO_{2max} and the ventilatory threshold in free swimming and cycle ergometry: comparison between triathletes and swimmers. *British Journal of Sports Medicine*; 39(12): 965-968.
- Rossiter, H.B., Ward, S.A., Doyle, V.L., Howe, F.A., Griffiths, J.R., Whipp, B.J. (1999). Inferences from pulmonary O₂ uptake with respect to intramuscular [phosphocreatine] kinetics during moderate exercise in humans. *Journal of Physiology*; 518 (Pt. 3): 921-932.
- Rossiter, H.B., Ward, S.A., Kowalchuk, J.M., Howe, F.A, Griffiths, J.R., Whipp, B.J. (2002). Dynamics of intramuscular ³¹P-MRS P(i) peak splitting and the slow component of PCr and O₂ uptake during exercise. *Journal of Applied Physiology*; 93(6): 2059-2069.
- Roston, W.L., Whipp, B.J., Davis, J.A., Effros, R.M., Wasserman, K. (1987). Oxygen uptake kinetics and lactate concentration during exercise in humans. *American Review of Respiratory Disease*; 135: 1080-1084.
- Russel, A., Wadley, G., Snow, R., Giacobino, J.P., Muzzin, P., Garnham, A., Cameron-Smith, D. (2002). Slow component of VO₂ kinetics: the effect of training status, fibre type, UCP3 mRNA and citrate synthase activity. *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders*; 26(2): 157-164.
- Ryan, R., Coyle, E.F., Quick, R.W. (1990). Blood lactate profile throughout a training season in elite female swimmers. *Journal of Swimming Research*; 6: 5-9.

- Sidney, M., Delhay, B., Baillon, M., Pelayo, P. (1999). Stroke frequency evolution during 100-m and 200-m events front crawl swimming. *In: Keskinen, K.L., Komi, P.V., Hollander, A.P. (eds.). Biomechanics and Medicine in Swimming, Swimming Science VIII. Jyväskylä (Finland): Gummerus Printing; pp. 71-76.*
- Scherr, J., Wolfarth, B., Christle, J.W., Pressler, A., Wagenpfeil, S., Halle, M. (2012). Associations between Borg's rating of perceived exertion and physiological measures of exercise intensity. *European Journal of Applied Physiology*. Maio [Epub].
- Schneider, D.A., McLellan, T.M., Gass, G.C. (2000). Plasma catecholamine and blood lactate responses to incremental arm and leg exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 32: 608-613.
- Schneider, D.A., Wing, A.N., e Morris, N.R. (2002). Oxygen uptake and heart rate kinetics during heavy exercise: a comparison between arm cranking and leg cycling. *European Journal of Applied Physiology*; 88: 100-106.
- Scheurmann, B.W. e Barstow, T.J. (2003). O₂ uptake kinetics during exercise at peak O₂ uptake. *Journal of Applied Physiology*; 95(5): 2014-2022.
- Sharp, R.L., Vitelli, C.A., Costill, D.L., Thomas, R. (1984). Comparison between blood lactate and heart rate profiles during a season of competitive swim training. *Journal of Swimming Research*; 1: 17-20.
- Shinohara, M. e Moritani, T. (1992). Increased in neuromuscular activity and oxygen uptake during heavy exercise. *Annals of Physiological Anthropology*; 11(3): 257-262.
- Sieverdes, J.C., Sui, X., Blair, S.N. (2011). Associations between Physical Activity and Submaximal Cardiorespiratory and Pulmonary Responses in Men. *Journal of Sports Medicine and Doping Studies*. 22; 1(1): pii: 102.
- Simon, G. (1997). The role of lactate testing in swimming. *Proceedings of the XII FINA World Congress on Sports Medicine Goteborg, Sweden*; 259-262.
- Sjodin, B. e Jacobs, I. (1981). Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *International Journal of Sports Medicine*; 2: 23-26.
- Smith, C.G. e Jones, A.M. (2001). The relationship between critical velocity, maximal lactate steady-state velocity and lactate turn point velocity in runners. *European Journal of Applied Physiology*; 85: 19-26.
- Smith, D.J., Norris, R.S., Hogg, M.J. (2002). Performance Evaluation of Swimmers: Scientific Tools. *Sports Medicine*; 32: 539-554.
- Smith, P.M., McCrindle, E., Doherty, M., Price, M.J., Jones, A.M. (2006). Influence of crank rate on the slow component of pulmonary O₂ uptake during heavy arm-crank exercise. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*; 31(3): 292-301.

- Snyder, A.C., Woulfe, T., Welsh, R., Foster, C. (1994). A simplified approach to estimating the maximal lactate steady state. *International Journal of Sports Medicine*; 15: 27-31.
- Sousa, A., Figueiredo, P., Keskinen, K.L., Rodriguez, F.A., Machado, L., Vilas-Boas, J.P., Fernandes, R.J. (2011a). VO₂ off transient kinetics in extreme intensity swimming. *Journal of Sports Science and Medicine*; 10: 546-552.
- Sousa, A.C., Figueiredo, P., Oliveira, N.L., Oliveira, J., Silva, A.J., Keskinen, K.L., Rodriguez, F.A., Machado, L.J., Vilas-Boas, J.P., Fernandes, R.J. (2011b). VO₂ kinetics in 200-m race-pace front crawl swimming. *International Journal of Sports Medicine*; 32(10): 765-770.
- Steed, J., Gaesser, G.A., Weltman, A. (1994). RPE and blood lactate concentration during submaximal running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 26: 797-803.
- Stegmann, H., Kindermann, W., Schnabel, A. (1981). Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *International Journal of Sports Medicine*; 2: 160-165.
- Stavrianeas, S. e Stephenson, A. (2007). Lactate Testing Revisited: A Reliable Indicator of Training Progress for Ali Swimmers. *International Journal of Aquatic Research and Education*; 1: 65-72.
- Swaine, I. e Reilly, T. (1983). The freely-chosen swimming stroke rate in a maximal swim and on a biokinetic swim bench. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 15: 370-375.
- Toubekis, A.G., Tsami, A.P., Tokmakidis, S.P. (2006). Critical Velocity and Lactate Threshold in Young Swimmers. *International Journal of Sports Medicine*; 27(2): 117-123.
- Toubekis, A.G., Vasilaki, A., Douda, H., Gourgoulis, V., Tokmakidis, S. (2011). Physiological responses during interval training at relative to critical velocity intensity in young swimmers. *Journal of Science and Medicine in Sport*; 14(4); 363-368.
- Toussaint, H.M. e Beek, P.J. (1992). Biomechanics of competitive front crawl swimming. *Sports Medicine*; 13(1): 8-24.
- Toussaint, H.M., Wakayoshi, K., Hollander, P.A., Ogita, F. (1998). Simulated front crawl swimming performance related to critical speed and critical power. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 30: 144-151.
- Toussaint, H.M., Carol, A., Kranenborg, H., Truijens, M.J. (2006). Effect of fatigue on stroking characteristics in arm-only 100-m front-crawl race. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 38(9): 1635-1642.

- Tschakovsky, M.E., Hughson, R.L. (1999). Interaction of factor determining oxygen uptake at the onset of exercise. *Journal of Applied Physiology*; 86(4): 1101-1113.
- Turner, A.P., Cathcart, A.J., Parker, M.E., Butterworth, C., Wilson, J., Ward, S.A. (2006). Oxygen uptake and muscle desaturation kinetics during intermittent cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 38(3): 492-503.
- Urhausen, A. (1993). Individual anaerobic threshold and maximum lactate steady-state. *International Journal of Sports Medicine*; 14: 134-139.
- Vallier, J.M., Bigard, A.X., Carré, F., Eclache, J.P., Mercier, J. (2000). Détermination des seuils lactiques et ventilatoires. Position de la société française de médecine du sport. *Science and Sports*; 15: 133-140.
- Van Schuylenbergh, R., Vanden Eynde, B., Hespel, P. (2004). Correlations between lactate and ventilatory thresholds and the maximal lactate steady state in elite cyclists. *International Journal of Sports Medicine*; 25: 403-408.
- Vandewalle, H., Vautier, J.F., Kachouri, M., Lechevalier, J.M., Monod, H (1997). Work exhaustion time relationships and the critical power concept. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*; 37: 89-102.
- Vercruyssen, F., Missenard, O., Brisswalter, J. (2009). Relationship between oxygen uptake slow component and surface EMG during heavy exercise in humans: influence of pedal rate. *Journal of Electromyography and Kinesiology*; 19(4): 676-684.
- Vobejda, C., Fromme, K., Samson, W., Zimmermann, E. (2006). Maximal Constant Heart Rate – A Heart Rate Based Method to Estimate Maximal Lactate Steady State in Running. *International Journal of Sports Medicine*; 27(5): 368-372.
- Wakayoshi, K., Ikuta, K., Yoshida, T., Udo, M., Moritani, T., Mutoh, Y., Miyashita, M. (1992a). Determination and validity of critical velocity as an index of swimming performance in the competitive swimmer. *European Journal of Applied Physiology*; 64: 153-157.
- Wakayoshi, K., Yoshida, T., Udo, M., Kasai, T., Moritani, T., Mutoh, Y., Miyashita, M. (1992b). A simple method for determining critical speed as swimming fatigue threshold in competitive swimming. *International Journal of Sports Medicine*; 13: 367-371.
- Wakayoshi, K., Yoshida, T., Udo, M., Harada, T., Moritani, T., Mutoh, Y., Miyashita, M. (1993). Does critical swimming velocity represent exercise intensity at maximal lactate steady state? *European Journal of Applied Physiology*; 66: 90-95.
- Wakayoshi, K., D'Acquisito, L.J., Cappert, J.M., Troup, J.P. (1995). Relationship between oxygen uptake, stroke rate and swimming velocity in competitive swimming. *International Journal of Sports Medicine*; 16: 19-23.

- Wakayoshi, K., D'Acquisto, J., Cappaert, J.M., Troup, J.P. (1996). Relationship between metabolic parameters and stroking technique characteristics in front crawl. In: Troup, J.P., Hollander, A.P., Strasse, D., Trappe, S.W., Cappaert, J.M., Trappe, T.A. (Eds). *Biomechanics and medicine in swimming VII*. London: Chapman & Hall: pp.152-158.
- Wasserman, K., Whipp, B.J., Koyal, S.N., Beaver, W.L. (1973). Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *Journal of Applied Physiology*; 35: 236-243.
- Weiss, M., Reischle, K., Bouws, N., Simon, G., Weicker, H. (1988). Relationships of blood lactate to stroke rate and distance per stroke in top female swimmers. In: Ungerechts, B., Wilke, K., Reischle, K. (eds). *Swimming Science V. Human Kinetics Inc., Champaign, Ill.*, pp. 295-303.
- Weltman, A., Wood, C.M., Womack, C.J., Davis, S.E., Blumer, J.L., Alvarez, J., Sauer, K., Gaesser, G.A. (1994). Catecholamine and blood lactate response to incremental rowing and running exercise. *Journal of Applied Physiology*; 76: 1144-1149.
- Weltman, A. (1995). The blood lactate response to exercise. Current issues in exercise science. Monograph 4. Champaign: Human Kinetics.
- Whipp, B.J. e Wasserman, K. (1972). Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant load work. *Journal of Applied Physiology*; 33: 351-356.
- Whipp, B.J. e Ward, S.A. (1982). Cardiopulmonary coupling during exercise. *Journal of Experimental Biology*; 100: 175-193.
- Whipp, B.J., Ward, S.A., Lamarra, N. (1982). Parameters of ventilatory and gas exchange dynamics during exercise. *Journal of Applied Physiology*; 52: 1506-1513.
- Whipp, B.J. (1987). Dynamics of pulmonary gas exchange. *Circulation*; 76(6 Pt 2): VI 18-28.
- Whipp, B.J., Davis, J.A., Wasserman, K. (1989). Ventilatory control of the 'isocapnic buffering' region in rapidly-incremental exercise. *Respiratory Physiology and Neurobiology*; 76(3): 357-367.
- Whipp, B.J. e Ward, S.A. (1990). Physiological determination of pulmonary gas exchange kinetics during exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 22: 62-71.
- Whipp, B.J. (1994). The slow component of O₂ uptake kinetics during heavy exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 25: 1319-1326.

- Whipp, B.J. (1996). Domains of aerobic function and their limiting parameters. In: Steinacker, J.M. e Ward, S.A, (eds.). *The physiology and pathophysiology of exercise tolerance*. New York: Plenum; pp. 83-89.
- Whipp, B.J., Rossiter, H.B., Ward, S.A. (2002). Exertional oxygen uptake kinetics: a stamen of stamina? *Biochemical Society Transactions*; 30(2): 237-247.
- Whipp, B.J.e Rossiter, H.B. (2005). The kinetics of oxygen uptake: physiological inferences from the parameters. In: *Oxygen Uptake Kinetics in Health and Disease*. Jones, A.M. e Poole, D.C. (eds.). London: Routledge; pp. 64-94.
- Whipp, B.J., Ward, S.A., Rossiter, H.B. (2005). Pulmonary O₂ uptake during exercise: conflating muscular and cardiovascular responses. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 37(9): 1574-1585.
- Whipp, B.J. (2009). Point: The kinetics of oxygen uptake during muscular exercise do manifest time-delayed phases, *Journal of Applied Physiology*; 107(5): 1663-1665.
- Wilkerson, D.P., Koppo, K., Barstow, T.J., Jones, AM. (2004). Effect of work rate on the functional gain of phase II pulmonary O₂ uptake response to exercise. *Respiratory Physiology and Neurobiology*; 142(2-3): 211-223.
- Wilmore, J.H., Costill, D.L., Kenney, W.L. (2008). *Physiology of Sport and Exercise*. 4th Edition. Human Kinetics.
- Wright, B. e Smith, D.A. (1994). Protocol for the determination of critical speed as an index of swimming endurance performance. In: Miyashita, M., Mutoh, Y., Richardson, A. (Eds). *Medicine and Science in Aquatic Sports*. Medicine Sports Science; 39. Basel. Karger: 55-59.
- Xu, F. e Rhodes, E.C. (1999). Oxygen uptake kinetics during exercise. *Sports Medicine*; 27: 313-327.
- Yamamoto, Y., Mizashita, M., Hughson, R.L., Tamura, S., Shinohara, M., Mutoh, Y. (1991). The ventilatory threshold gives maximal lactate steady state. *European Journal of Applied Physiology*; 63: 55-59.
- Yoon, B.K., Kravitz, L., Robergs, R. (2007). vVO_{2max}, protocol duration, and the VO₂ plateau. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 39(7): 1186-1192.
- Yoshida, T., Suda, Y., Takeuchi, N. (1982). Endurance training regimen based upon arterial blood lactate: effects on anaerobic threshold. *European Journal of Applied Physiology*; 49: 223-230.
- Yoshida, T. (1984). Effect of exercise duration during incremental exercise on the determination of anaerobic threshold and the onset of blood lactate accumulation. *European Journal of Applied Physiology*; 53: 196-199.

- Yoshida, T., Chida, M., Ichioka, M., Suda, Y. (1987). Blood lactate parameters related to aerobic capacity and endurance performance. *European Journal of Applied Physiology*; 56: 7-11.
- Yoshida T, Udo M, Ohmori T, Matsumoto Y, Uramoto, T., Yamamoto, K. (1992). Day-to-day changes in oxygen uptake kinetics at the onset of exercise during strenuous endurance training. *European Journal of Applied Physiology*; 64: 78-83.
- Yoshida, T., Udo, M., Iwai, K., Yamaguchi, T. (1993). Physiological characteristics related to endurance running performance in female distance runners. *Journal of Sports Sciences*; 11: 57-62.
- Zacca, R., Wenzel, B.M., Piccin, J.S., Marcilio, N.R., Lopes, A.L., de Sousa Castro, F.A. (2010). Critical velocity, anaerobic distance capacity, maximal instantaneous velocity and aerobic inertia in sprint and endurance young swimmers. *European Journal of Applied Physiology*; 110(1): 121-131.
- Zamparo, P., Capelli, C., Cautero, M., Di Nino, A. (2000). Energy cost of front-crawl swimming at supra-maximal speeds and underwater torque in young swimmers. *European Journal of Applied Physiology*; 83: 487-491.
- Zamparo, P., Bonifazi, M., Faina, M., Milan, A., Sardella, F., Schena, F., Capelli, C. (2005). Energy cost of swimming of elite long-distance swimmers. *European Journal of Applied Physiology*; 94: 697-704.
- Zamparo, P., Capelli, C., Pendergast, D. (2011). Energetics of swimming: a historical perspective. *European Journal of Applied Physiology*; 111(3): 367-78.