



UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE MOTRICIDADE HUMANA



**VELOCIDADE CRÍTICA INTERMITENTE NA NATAÇÃO:  
APLICAÇÃO NAS TÉCNICAS DE CROL E MARIPOSA**

Dissertação elaborada com vista à obtenção do Grau de Mestre em Treino  
de Alto Rendimento

Orientador: Professor Doutor Francisco José Bessone Ferreira Alves

Júri:

Presidente

Professor Doutor Francisco José Bessone Ferreira Alves

Vogais

Professor Doutor Pedro Vieira Trouillet Pessoa

Professora Doutora Joana Filipa de Jesus Reis

Tomás Miguel Marques de Freitas

2015



## **Agradecimentos**

No decorrer deste longo caminho tive a felicidade de poder contar com a amizade e o apoio de um conjunto de pessoas, que de uma forma ou de outra marcaram a minha vida para sempre.

Primeiramente, queria agradecer ao meu orientador, Professor Doutor Francisco Alves, fundamentalmente pela disponibilidade quando nem tinha muito tempo para tal, e pela precisão e rigor que induziram em mim a necessidade de trabalhar nos limites e só deste modo foi possível produzir tanto conhecimento e crescer notoriamente em tão pouco tempo.

Sinto igualmente uma vontade enorme de agradecer à Professora Doutora Joana Reis, por ter sido como família, por me ter “exigido” o impossível, por ter estado sempre presente, muito para além do que era pedido...um sincero, muito obrigado!

Um agradecimento que é transversal a um conjunto de pessoas que pela sua presença no laboratório, se tornaram amigos e colegas, facilitando imenso o ano de elaboração da dissertação, destacando-se pela forma como me receberam e sempre me trataram, o Pedro Fatela, o Nuno Almeida e o Francisco Tavares.

De uma forma mais generalizada, gostaria de agradecer a todas as instituições que me facultaram o seu espaço para poder desempenhar o meu trabalho, nomeadamente à Faculdade de Motricidade Humana, ao Complexo de Piscinas Olímpicas do Funchal (Penteada), ao Complexo Desportivo da Nazaré e ainda ao Complexo de Piscinas dos Salesianos.

Aos nadadores que fizeram o esforço de pertencer à minha amostra, como aos respetivos treinadores e diretores/gestores das piscinas e da ANM, assim como da própria DRJD. Deste modo, um obrigado especial ao JAC, ao CDSR, ao CNF e claro, ao CDN.

Ao Derek Freitas, por mesmo à distância ter sido um inegável apoio e incentivo constante, por ter feito parte da minha paixão pelo treino e por querer seguir um mestrado relacionado com o treino.

Quero agradecer igualmente à Mariana, pela compreensão e pelo amor demonstrado regularmente, e por ter sido pilar fundamental neste processo.

Não poderia elaborar um documento desta importância e não agradecer a alguns dos meus ex colegas (e outros intervenientes neste processo) que pelo seu apoio e partilha foi possível alcançar novos patamares de conhecimento. Entre eles, um especial obrigado ao Albino, à Carolina, ao Hércules, ao Diogo.

Por último, mas com uma importância enorme, quero agradecer profundamente aos meus amigos mais chegados, e à minha família que me possibilitou realizar este sonho. Assim, quero destacar o papel dos meus pais, pelo incansável apoio financeiro que fizeram no decorrer deste mestrado, mas principalmente pelo apoio moral, por terem sido uns alicerces neste percurso e como tal nunca poderei agradecer o suficiente pelo tamanho sacrifício e empenho evidenciado.

## Abstract

Critical velocity (CV) is considered to be one of the most important parameters for assessing aerobic capacity in endurance athletes, thought to correspond to the boundary that demarcates the severe intensity domain from the heavy one. Instead, intermittent critical velocity (ICV) appears to be in the severe intensity domain and may help swimming coaches to prescribe training sets. The main goal of this research was to verify the use of ICV in swimming, following what has been studied in sports such as cycling and running by comparing ICV with CV in front crawl swimming and by determining exercise tolerance to fatigue at ICV intensity in intermittent exercises in butterfly swimming.

Eight swimmers (age:  $17.6 \pm 3.8$  years; height:  $173.8 \pm 6.8$  cm; body mass:  $67.3 \pm 8.2$  kg) underwent two maximal swims in front crawl at constant velocity of 200 m and 400 m to calculate CV and then used the same distances in an intermittent task of, respectively, 4x50m and 8x50 with 15 s rest between repetitions, to estimate ICV, followed by an interval set of  $n \times 50$  m until exhaustion with 15 s rest. The same procedure (another eighth swimmers, age:  $18.63 \pm 4.4$  years; height:  $173.1 \pm 6.1$  cm; body mass:  $68.8 \pm 6.3$  kg) was used to estimate ICV in butterfly and swimming velocity corresponding to ICV was then used in two interval training sets with 50 m repetitions until exhaustion, with 15 s and 30 s rests. Maximal aerobic velocity (MAV) was considered to correspond to the average velocity of the central 300 m of the 400 m maximal swim and an interval swimming MAV ( $MAV_{int}$ ) was estimated from the 8 x 50 m swim, taking out the first and the last repetitions.

Blood lactate concentration (with *Lactate Pro Arkray – Blood Lactate Test Meter*) and stroke frequency were measured in every testing situation.

The results showed that ICV is significantly higher than the CV, representing 111.4% of MAV and 98.6% of  $MAV_{int}$  in front crawl, and 97.5% of  $MAV_{int}$  in butterfly. In the interval sets until exhaustion in butterfly with 15 s rest, a continuous rise of  $[La^-]$  was observed, different from what happened when with the 30s rest interval set, or in front crawl, where, in both cases, after a slight increase there was a maintenance and then a decrease in the terminal phase.

In addition, it was found a high correlation between lap times of the 200 m race pace and the ICV, corresponding to very similar speeds, both in front crawl and in butterfly.

We concluded that ICV might become a performance optimization tool for swimmers, particularly in tests/races of 200 meters, evidencing to be a performance measurement parameter in swimming, predominantly demonstrative of the “boundary” between the aerobic power and aerobic capacity.

Keywords: Swimming; Critical Velocity; Intermittent Critical Velocity; Lactatemia; Performance; Operationalization in training.

## Resumo

A velocidade crítica (VC) é considerada um dos mais importantes parâmetros de avaliação da capacidade aeróbia, que está intimamente relacionada com os domínios de intensidade, na medida em que a VC corresponde à fronteira que dissocia o domínio pesado do severo. Já a velocidade crítica intermitente (VCI), abordada pela primeira vez em natação, aparenta situar-se no domínio severo de intensidade.

O objetivo principal da investigação realizada foi fundamentalmente o de descobrir a aplicabilidade ou não da VCI na natação, uma vez que esta (VCI/PCI) começa a ser utilizada por modalidades como o ciclismo e a corrida (atletismo). Deste modo, pretendeu-se comparar a VCI com a VC (a crol), aplicando posteriormente a VCI numa série intervalada até exaustão a crol e duas a mariposa.

Oito nadadores (idade:  $17.6 \pm 3.8$  anos; altura:  $173.8 \pm 6.8$  cm; massa corporal:  $67.3 \pm 8.2$  kg) realizaram dois esforços máximos (200 e 400 m) a crol numa velocidade constante, calculando a VC, e depois recorreu-se às mesmas distâncias mas numa tarefa intermitente, através de 4 x 50 m e 8 x 50 m com 15 s descanso entre repetições, de modo a estimar a VCI, seguindo-se uma série intervalada de n x 50 m até exaustão, com 15 s pausa. O mesmo procedimento (com outros oito sujeitos, com idade:  $18.63 \pm 4.4$  anos; altura:  $173.1 \pm 6.1$  cm; massa corporal:  $68.8 \pm 6.3$  kg) foi utilizado para estimar a VCI a mariposa, e a velocidade correspondente à VCI foi então utilizada em duas séries de treino intervaladas, com repetições de 50 m até exaustão, e com 15 e 30 s de pausa. A velocidade aeróbia máxima (VAM) foi considerada como correspondendo à velocidade média dos 300 m centrais do teste máximo de 400 m, e uma VAM intervalada ( $VAM_{int}$ ) aplicada à natação foi estimada através do teste de 8 x 50 m, retirando a primeira e a última repetição.

A concentração de lactato sanguíneo, como a frequência de ciclo, foi analisada em todos os testes realizados

Por um lado, percebeu-se que a VCI é significativamente superior à VC, representando 111.4% da VAM e 98.6% da VAM intervalada ( $VAM_{int}$ ) a crol, e 97.5% da  $VAM_{int}$  a mariposa. Relativamente às séries até exaustão, a lactatémia evidenciou ter um comportamento distinto, sendo visível a mariposa na série com 15s pausa, uma constante ascensão do  $[La^-]$ , diferente de quando o tempo de repouso aumentou para o dobro (30s), ou da série a crol (com 15s de pausa), onde em ambos os casos após um ligeiro aumento, verificou-se uma manutenção e decréscimo na fase terminal.

Acrescente-se que foi encontrada uma alta correlação entre parciais das provas de 200 m com a VCI, e com velocidades muito idênticas, para as duas técnicas.

Pode concluir-se que a VCI pode vir a ser um instrumento de otimização do rendimento dos nadadores, nomeadamente nas provas de 200 metros, evidenciado ser um parâmetro de avaliação do desempenho nesta modalidade, não tanto aeróbio (como a VC), mas predominantemente demonstrativo da “fronteira” entre a potência aeróbia e a capacidade aeróbia.

Palavras-chave: Natação Pura; Velocidade Crítica; Velocidade Crítica Intermitente; Lactatemia; *Performance*; Operacionalização no treino.

## Índice

I. Introdução.....	15
II. Revisão da Literatura .....	17
1. Conceito e Origem da Velocidade Crítica .....	17
2. Fronteira entre domínios de intensidade .....	20
2.1 Domínio de intensidade pesado.....	21
2.2 Domínio de intensidade severo .....	22
2.3 Contextualização da localização da VC no decorrer do exercício .....	22
3. Velocidade Crítica na natação .....	26
3.1 Operacionalização da velocidade crítica na natação .....	37
4. Velocidade Crítica noutras modalidades .....	42
5. Velocidade Crítica Intermitente.....	53
5.1 Determinação da VCI e protocolos até exaustão .....	59
III. Metodologia.....	69
1. Desenho Experimental .....	69
2. Amostra.....	69
3. Procedimentos.....	70
4. Análise Estatística.....	72
IV. Resultados .....	73
1. Testes efetuados na técnica de crol.....	73
2. Testes efetuados na técnica de mariposa .....	77
V. Discussão .....	83
1. Análise aos testes realizados a crol.....	83
2. Análise aos testes realizados a mariposa .....	89
VI. Conclusão .....	94
VII. Referências Bibliográficas .....	96

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> - Relação Potência/Velocidade vs Tempo (contextualizado com as zonas de intensidade) (Poole & Barstow, 2015) .....	25
<b>Figura 2</b> - Domínios de intensidade do exercício durante exercício contínuo e as suas respetivas respostas fisiológicas (na esquerda: os indicadores fisiológicos que demarcam os domínios; na direita: os domínios estão descritos com terminologia adaptada ao treino) (Toubekis & Tokmakidis, 2013) .....	26
<b>Figura 3</b> - Relação Distância-Tempo (natação) (Dekerle, 2006) .....	27
<b>Figura 4</b> - Relação entre a velocidade de nado pré-determinada e o tempo para que essa velocidade possa ser mantida (tlim) (esquerda) e entre a distância de nado percorrida e o tlim registado para os 6 testes (direita) (Wakayoshi et al., 1992a).....	30
<b>Figura 5</b> - Gráfico representativo da regressão linear entre o número de repetições (série ate exaustão) e a VCI.....	75
<b>Figura 6</b> - Cinética da lactatémia ( $\text{mmol.l}^{-1}$ ) ao longo da série até exaustão a crol (exemplo de um sujeito) .....	76
<b>Figura 7</b> - Gráfico representativo da regressão linear entre o número de repetições (série ate exaustão com 15 segundos de pausa) e a VCI a mariposa.....	78
<b>Figura 8</b> - Gráfico representativo da regressão linear entre o número de repetições (série ate exaustão com 15 segundos de pausa) e a VCI a mariposa.....	79
<b>Figura 9</b> - Cinética da lactatémia ( $\text{mmol/l}$ ) ao longo das duas séries até exaustão (gráfico superior respetivo à série 15s pausa, e o inferior relativo à de 30 s pausa) a mariposa (exemplo do mesmo sujeito) .....	80

## Índice de Tabelas

<b>Tabela 1</b> - Domínios de Intensidade (Gaesser & Poole, 1996; Greco, Caputo & Denadai, 2008).....	20
<b>Tabela 2</b> - Sistema de níveis de intensidade de treino baseado no cálculo da Velocidade Crítica (Ginn, 1993).....	42
<b>Tabela 3</b> - Estimativa da VC em remo (Kennedy & Bell, 2000).....	47
<b>Tabela 4</b> - Síntese de algumas abordagens à VC, em modalidades distintas da natação .....	62
<b>Tabela 5</b> - Síntese de algumas abordagens à VC na natação .....	64
<b>Tabela 6</b> - Síntese de algumas abordagens à VCI.....	67
<b>Tabela 7</b> - Valores médios e desvio padrão da VC, VCI, VAM e VAMint .....	73
<b>Tabela 8</b> - Correlações entre diferentes velocidades de nado, respetivas aos parciais finais do T400 e T200 com a VC e VCI.....	74
<b>Tabela 9</b> - Correlações entre as velocidades médias dos parciais da prova oficial dos 200 m livres com a VC e VCI .....	74
<b>Tabela 10</b> - Resumo dos valores da Lactatémia e Frequência Cardíaca em momentos chave da série até exaustão a crol (início, meio e fim da série) .....	76
<b>Tabela 11</b> - Correlações entre velocidades médias obtidas dos parciais da prova de 200 mariposa e a VCI, a mariposa.....	77
<b>Tabela 12</b> - Resumo dos valores da Lactatémia e Frequência Cardíaca em momentos chave, respetivos às séries até exaustão a mariposa (início, meio e fim da série), quer com 15s de pausa, quer com 30s .....	81

## Lista de abreviaturas e símbolos

ADC – *Anaerobic distance capacity (Capacidade de distância anaeróbia (CDA))*

ADP – Adenosina difosfato

ARC – *Anaerobic running capacity (Capacidade de corrida anaeróbia)*

ATP – Adenosina trifosfato

bat.min<sup>-1</sup> – Batimentos por minuto

CS – *Critical running speed (Velocidade crítica de corrida)*

CTA – Capacidade de trabalho anaeróbio

CTA' – Capacidade de trabalho realizado anaerobiamente antes do VO<sub>2max</sub> ser atingido

ciclos.min – Ciclos por minuto

DC – Distância de ciclo (ou amplitude de ciclo (AC))

DT – Distância total

d – Distância

d-t – Relação distância/tempo

d<sub>lim</sub> – Distância limite

EEML – Estado estacionário máximo de lactato

EMG – Eletromiografia

*et al.* – e colaboradores

FB – Frequência de braçada/ Frequência de ciclo

FC – Frequência cardíaca

FCC – Frequência crítica de ciclo (ou FBB – frequência crítica de braçada)

FC<sub>max</sub> – Frequência cardíaca máxima

H<sup>+</sup> - Ião Hidrogénio (protão)

ICR – Intervalo crítico de repouso

LL – Limiar láctico

MLSS – *Maximal lactate steady state (Estado estacionário máximo de lactato)*

mmol.l<sup>-1</sup> – Milimoles por litro de sangue (ou mM)

m.s<sup>-1</sup> – Metros por segundo

OBLA – *Onset of blood lactate accumulation (Intensidade na qual a lactatémia equivale a 4 mmol.l<sup>-1</sup>)*

O<sub>2</sub> - Oxigénio

P – Potência

PAM – Potência aeróbia máxima

PC – Potência crítica  
PCI – Potência crítica intermitente  
 $P_t$  – Potência do trabalho  
 $P_r$  – Potência do repouso  
pH – Potencial de hidrogénio  
P50 – Tempo parcial dos primeiros 50 metros  
P100 – Tempo parcial dos primeiros 100 metros  
 $r$  – Coeficiente de correlação  
 $r^2$  – Coeficiente de determinação  
rpm – Rotações por minuto  
SSE – *Standard error of the estimate (erro padrão da estimativa)*  
s – Segundos  
TTE – *Time to exhaustion (Tempo até exaustão)*  
T30 – Teste dos 30 minutos a nadar  
T200 – Teste dos 200 metros  
T400 – Teste dos 400 metros  
 $t$  – Tempo  
 $t_t$  – duração do trabalho  
 $t_r$  – duração do repouso  
 $t_{lim}$  – Tempo limite  
U50 – Tempo do parcial dos últimos 50 metros  
U100 – Tempo do parcial dos últimos 100 metros  
U150 - Tempo do parcial dos últimos 150 metros  
VAM – Velocidade aeróbia máxima  
 $VAM_{int}$  – Velocidade aeróbia máxima intervalada  
VC – Velocidade crítica  
VCI – Velocidade crítica intermitente  
VP – Velocidade pico  
 $VCI_{ICR}$  – Velocidade crítica intermitente com a inclusão do ICR  
 $V_{LL}$  – Velocidade aquando do limiar láctico  
 $V_{MLSS}$  – Velocidade aquando do MLSS/EEML  
 $VO_2$  – Consumo de oxigénio  
 $VO_{2max}$  – Consumo máximo de oxigénio  
 $VO_{2pico}$  – Pico (dado máximo) do valor de consumo de oxigénio

$V_{OBLA}$  – Velocidade aquando da obtenção do OBLA

$V_{30}$  – Velocidade do teste de 30 minutos

$V_{200}$  – Velocidade média dos 200 metros

$V_{400}$  – Velocidade média dos 400 metros

$W$  – Trabalho (Watts)

$W'$  – Reserva finita de energia

$W''$  - Constante da curvatura referente à relação hiperbólica potência-tempo

$W'_{BAL}$  - Saldo/equilíbrio da capacidade de trabalho disponível, acima da PC restante

$[La^-]$  – Concentração de lactato sanguíneo

$[PCr]$  – Fosfocreatina

$\tau_{W''}$  – Constante temporal da reconstituição de  $W''$

$\Sigma$  NTI – Número total de intervalos completos

$\infty$  - Infinito

## I. Introdução

A *performance* na natação tem vindo a ser melhorada nas últimas décadas, devido a um melhor controlo do treino, e consequente avaliação dos nadadores, potenciando em geral um processo de treino mais eficiente (Olbrecht & Mader, 2006).

O conceito de Velocidade Crítica (VC) foi inicialmente adaptado para a natação por Wakayoshi et al. (1992a), posterior ao conceito de Potência Crítica (PC) originalmente introduzido por Monod & Scherrer (1965), e que é definido como a máxima velocidade (de nado, no caso da natação) que pode ser mantida sem que ocorra exaustão por um longo período de tempo (Wakayoshi et al., 1992a). Em natação, a VC é expressa pela inclinação da reta correspondente à regressão linear entre duas ou mais distâncias distintas realizadas à máxima intensidade, e os respetivos tempos dessas distâncias (Wakayoshi et al., 1992; Dekerle, 2006).

Na realidade, a Velocidade Crítica Intermitente (VCI) é o mesmo modelo que usualmente é aplicado para obtenção da VC, com a introdução de intervalos e consequentemente com uma maior velocidade, sendo definida como a velocidade que um sujeito consegue manter durante um exercício que exija diversas repetições, sem induzir a instauração da fadiga (Fukuda et al., 2012).

O modelo de PC ou VC tem sido aplicado em exercícios até exaustão, sejam eles contínuos ou intermitentes, mostrando respostas fisiológicas idênticas (Berthoin et al., 2006; Soares-Caldeira et al., 2012). No entanto, e de acordo com a literatura (Aguiar et al., 2012), a VC quando aplicada em corridas intermitentes (VCI) pode conter uma vantagem em relação à VC, no que diz respeito aos propósitos do treino. Esta afirmação baseia-se essencialmente no que foi elucidado por estudos recentes, onde é sugerido que o exercício intermitente de alta intensidade pode provocar maiores aumentos no consumo máximo de oxigénio, quando comparado com o exercício contínuo, aparentemente devido ao maior período de tempo passado a uma maior percentagem do  $VO_{2max}$  (Midgley, Mc Naughton & Wilkinson, 2006; Peyrebrune et al., 2014).

Subsequentemente, a VCI aparece como uma potencial ferramenta para planear e individualizar sessões de treino intermitentes, baseadas em intensidades que possibilitem despende um tempo superior perto do  $VO_{2max}$ , melhorando assim este parâmetro (Aguiar et al., 2012).

Apesar de ainda não haver nenhum estudo em natação focalizado na VCI, outras modalidades/exercícios como a corrida (Berthoin et al., 2006; Aguiar et al., 2012; Fukuda

et al., 2012) ou o ciclismo (Okuno et al., 2011) já iniciaram a análise a esta variável, e com fortes razões de aplicabilidade ao treino. Assim sendo, é fundamental explorar este conceito em natação, contextualizando-o dentro dos domínios de intensidade e eventualmente consciencializar quanto à sua utilidade na operacionalização das séries de treino. Independentemente do que foi referido acima, e respeitando a literatura, a VCI/PCI parece ser menos valorizada como um indicador de capacidade aeróbia (Aguar et al., 2012; Okuno et al., 2011), contudo afigura-se como sendo melhor representativa do treino intervalado, típico daquele praticado nas sessões de treino e que os nadadores estão habituados.

Corroborando com esta lógica, o propósito deste estudo centra-se não só na apresentação e exploração do modelo de VCI (adaptado do modelo de VC), mas também na verificação da aplicabilidade deste novo conceito na natação, através de um protocolo de exercício intermitente (testado a crol e a mariposa, e com uma gama variada de sujeitos) e perceber como pode esta ferramenta ser válida e aproveitável para os treinadores, na conceção do processo de treino.

## II. Revisão da Literatura

### 1. Conceito e Origem da Velocidade Crítica

O conceito de velocidade crítica (em natação como noutras modalidades cíclicas) é uma extensão do conceito de potência crítica, introduzido por Monod & Scherrer (1965) na década de 60. Na tentativa de melhorar a compreensão da capacidade de trabalho local (de um músculo ou de um grupo muscular que trabalhe de forma sinérgica), estes autores realçaram que o trabalho local ( $W$ ) e tempo até exaustão ( $t$ ) estavam relacionados linearmente (relação hiperbólica traduzida por:  $W = a + CP \times t$ ). O declive entre estas duas variáveis (perspetiva matemática) denominado de potência crítica, foi definido como um limiar da fadiga local, enquanto a interseção no eixo das ordenadas ( $a$ ) correspondia a uma reserva de energia (capacidade de trabalho anaeróbio).

Segundo Alves (n/p), a capacidade de trabalho anaeróbio exprime o valor do trabalho local que pode ser realizado em taxas de produção de potência externa consideravelmente superiores ao valor de potência crítica, apelando ao metabolismo anaeróbio.

De forma sintética, foi fundamentado pelos autores (o conceito de velocidade/potência crítica), como correspondendo à máxima intensidade num respetivo exercício que um grupo muscular consegue manter durante longos períodos de tempo, sem que nos mesmos ocorra exaustão.

Uns anos mais tarde, por intermédio de Kranenburg & Smith (1996), foi verificado que em termos práticos, o declive da reta fruto da regressão linear entre duas distâncias inalteráveis (e consequentes tempos realizados) traduz o valor da velocidade crítica. O estudo foi realizado em pista e em passadeira/ tapete rolante, à máxima intensidade, por corredores altamente treinados.

De acordo com Dekerle (2006), e respeitando a equação " $W = a + CP \cdot t$ ", torna-se mais perceptível que quanto maior a potência/velocidade, menor será o tempo até exaustão, de modo que esta relação (potência vs tempo até exaustão) seja hiperbólica, com a potência crítica a ser a sua assíntota, visto de outra forma, quando o tempo tende para o infinito, a potência tende para a potência crítica (quanto mais tempo é o esforço, maior probabilidade de ser realizado em potência crítica).

As finalidades eram as de prever a performance e para explicar os limites da resistência humana. Contudo, posteriormente, foi proposta uma nova relação (mas entre

a distância e o tempo), equivalente à equação pioneira ( $W = a + CP.t$ ). A intersecção no eixo das ordenadas da relação (“*anaerobic distance capacity*”, ADC), (Hughson, Orok & Staudt, 1984) foi assumida como uma distância em metros que podia ser corrida com o oxigénio de reserva e a energia fornecida pelo metabolismo anaeróbio, enquanto o declive (da reta) foi interpretado como sendo a taxa máxima de síntese destas reservas pelo metabolismo aeróbio ( $d = ADC + VC.t$ ). Galbraith et al. (2011), portanto muito recentemente, adaptou esta equação, mas com o mesmo significado e variáveis ( $d = (CS \times t) + ARC$ ), em que CS (“*critical running speed*”) representa a velocidade crítica e a sigla ARC (“*anaerobic running capacity*”) a anteriormente denominada capacidade anaeróbia.

Um trio de investigadores na década de 50 (Scherrer, Samsom & Paleoloque, 1954) por intermédio da análise do trabalho muscular, conceberam em termos de trabalho dinâmico, a potência crítica. Basicamente os estudos consistiram na realização de testes laboratoriais em ergómetros, configurados com uma potência constante, à qual posteriormente era adicionada uma carga (externa). De acordo com Franken, Zacca & Castro (2011), foram estipulados três parâmetros nos testes, (1) o “limiar de fadiga/esgotamento local” (instante no qual não há capacidade do *output* mecânico prosseguir com a potência inicial), (2) o “tempo limite” (tempo em que o trabalho é efetuado), e (3) o “trabalho limite” (trabalho realizado). Iniciou-se deste modo o processo de análise da potência crítica, em função da relação trabalho-limite/ tempo-limite, constatando (pela primeira vez) um trabalho dinâmico significativo no limiar de fadiga (conferindo que tanto o tempo limite como o trabalho limite decrescem relativamente à potência respetiva utilizada no trabalho).

Umás décadas mais tarde Whipp et al. (1982) recorreram metodologicamente a um modelo simplista, que tinha por base um ajuste hiperbólico entre a potência e o tempo. Se o  $t$  representa a duração do esforço até que chega ao momento de incapacidade de continuar por desgaste, o  $P$  representa a potência externa média [ $(P - PC) \cdot t = CTA$ ] ou exposta de outro modo [ $P = (CTA / t) + PC$ ].

Na década de 90 temos alguns artigos de revisão e de investigação, como o caso de Hill (1993) e também Hill & Ferguson (1999), que vêm de certo modo afirmar o que já antes havia sido dito, acrescentando que a PC (potência crítica) deveria de ser considerada e utilizada como um parâmetro de avaliação da potência máxima sustentável e a CTA (capacidade de trabalho anaeróbio) como um parâmetro de avaliação da capacidade anaeróbia individual. Pelo facto da potência crítica estar intimamente

relacionada com o limiar de fadiga, limiar láctico, limiar ventilatório e até mesmo com o consumo máximo de oxigénio ( $VO_{2max}$ ), este parâmetro é também um indicador da capacidade aeróbia.

Nos últimos anos do século XX, a maioria dos trabalhos em determinados modelos mencionados, nomeadamente os de Monod & Scherrer (1965) e posteriormente Ettema (1966), foram conduzidos para aperfeiçoar a metodologia utilizada para traçar a relação trabalho – tempo e a relação distância – tempo, aproveitando também para aprimorar a definição dos significados fisiológicos das diferentes constantes. Por exemplo, Poole et al. (1988), utilizaram testes que consistiam numa intensidade elevada, mas com potência constante, com períodos de duração entre os 2 e 15 minutos (foram utilizados quatro ou mais períodos de exercício, possibilitando posteriormente o desenho gráfico das curvas de potência-tempo).

De acordo com Morton (2006), o modelo biparamétrico referido alicerça-se naturalmente em alguns pressupostos, sendo dada primazia pelos investigadores, ao (1) custo energético, às (2) reservas anaeróbias, e ao (3) consumo de oxigénio. Segundo o mesmo autor, o custo energético mantém-se inalterável com o decorrer do exercício (independentemente da intensidade adotada), as reservas anaeróbias são utilizadas na sua plenitude (em cada repetição), e a obrigatoriedade do consumo de oxigénio alcançar valores maximais para o respetivo momento do exercício.

Se com naturalidade os dois primeiros pressupostos mencionados são facilmente aceites, o terceiro ( $VO_2$ ) não é, de todo. Segundo Bernard et al. (1997), e devido ao conhecimento estrutural que existe sobre a cinética do consumo de oxigénio, nomeadamente a constante temporal, na qual não estão assim a ser equacionados os ajustes cardiorrespiratórios para o  $VO_2$  atingir um estado estável, podendo este ser o máximo (Zacca, 2012). Então, o terceiro pressuposto faz referência a um período importante no desencadear de toda a situação de exercício, ou até mesmo ao período transitório na alteração entre duas intensidades (desde que a intensidade do esforço seja significativamente elevada), logo este terceiro pressuposto não é realista em termos fisiológicos.

Devido a este problema, e como forma de contorná-lo, Wilkie (1980), citado por Zacca (2012), criou um modelo (de quatro parâmetros), com correção para a cinética do  $VO_2$ , através de um fator exponencial. Este fator exponencial é representativo da constante temporal do aumento da participação aeróbia, a “inércia aeróbia”. Esta variável é interpretada como um atraso momentâneo na resposta do consumo de oxigénio,

determinado pela dissociação entre o oxigênio absorvido no pulmão e o oxigênio consumido especialmente pela estrutura músculo esquelética (Zacca, 2012). A “inércia aeróbia” é registada nos primeiros instantes do exercício, e pode ter uma duração de 15 a 20 segundos sensivelmente. Normalmente vem referenciada como estando associada à vasodilatação, ou seja, é o tempo que demora o organismo a elevar o ritmo cardíaco e redirecionar o fluxo cardíaco (Fawkner & Armstrong, 2003).

Contudo, e apesar desta aparente “solução”, a correção parece não ser muito utilizada nem defendida pelos autores, mesmo admitindo que haja uma melhoria relevante na estimacão da PC (Potência Crítica) e na CTA (Capacidade de Trabalho Anaeróbio), isto se o exercício corresponder a intensidades enquadradas no domínio severo de intensidade (Jones et al., 2010).

## 2. Fronteira entre domínios de intensidade

Alguns autores sugerem três domínios de intensidade distintos (Gaesser & Poole, 1996; Greco, Caputo & Denadai 2008), enquanto que outros preferem dividir em cinco domínios (Dekerle & Pelayo, 2011), e suas respectivas respostas cardiorrespiratórias e metabólicas.

**Tabela 1** - Domínios de Intensidade (Gaesser & Poole, 1996; Greco, Caputo & Denadai, 2008)

<b>Domínios de Intensidade</b>	<b>Efeitos</b>
<b>Severo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Não há estabilização de nenhuma variável metabólica;</li> <li>✓ Acúmulo e aumento da relação lactato/piruvato e da concentração de iões de hidrogénio [H<sup>+</sup>];</li> <li>✓ VO<sub>2</sub> aumenta em direção ao máximo.</li> </ul>
<b>Pesado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ [La<sup>-</sup>] tende a estabilizar em valores mais elevados de concentração;</li> <li>✓ A eficiência parece ser menor;</li> <li>✓ Valores de VO<sub>2</sub> elevados (aparecimento da componente lenta);</li> <li>✓ Nesta fase ainda é possível manter um estado fisiológico estável e realizar exercício por um longo período.</li> </ul>
<b>Moderado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ [La<sup>-</sup>] estabiliza rapidamente;</li> <li>✓ VO<sub>2</sub> apresenta um ajuste rápido;</li> <li>✓ O sujeito pode manter esta intensidade durante horas sem exaustão.</li> </ul>

O quadro acima representa os três domínios de intensidade aquando do exercício, evidenciando as consequências fisiológicas do exercício para cada patamar. Segundo Dekerle & Pelayo (2011), o modelo que comporta os cinco domínios de intensidade (moderado, pesado, muito pesado, severo, extremo) é o que explicita da maneira mais adequada as respostas fisiológicas quando o exercício é efetuado em intensidades distintas, deste modo, por se tratar de exercícios a manter x velocidade, vou apenas explorar o modelo subdividido em três intensidades (moderado, pesado, severo). Acrescente-se ainda que o modelo que comporta 5 domínios de intensidade, não nos parece o adequado, uma vez que o domínio “muito pesado” (ver na página 26) representa uma intensidade que peca por se balizar entre a VC e o MLSS, quando na prática o que ocorre é uma sobrestimação da VC em relação ao MLSS (não esquecer que um é um parâmetro “cronométrico” e o outro “metabólico”).

Esta abordagem aos diferentes domínios de intensidade é introdutória, uma vez que no decorrer dos anos, a investigação foi demonstrando que a velocidade crítica encontra-se entre os domínios pesado e severo (como será exemplificado posteriormente e como Poole et al. (1988); Dekerle et al. (2010); Espada & Alves (2010); Franken, Zacca & Castro (2011), entre outros, já haviam mencionado), situada numa “linha imaginária” que os separa, e onde as consequências fisiológicas são divergentes, daí a necessidade que há em especificar os dois domínios, contextualizando deste modo a velocidade crítica.

## **2.1 Domínio de intensidade pesado**

Neste patamar, as taxas de produção e remoção de lactato são elevadas devido a uma alta exigência metabólica. A consequência prática deste facto, é a tendência para a lactatémia estabilizar em altas concentrações, quando comparada com os valores referentes aos exercícios efetuados no domínio de intensidade moderada (Zacca, 2012). O autor acrescenta que para além desta realidade, a eficiência no gesto motor específico, adaptado à modalidade praticada, parece ser inferior, criando valores de consumo de oxigénio superiores aos da relação linear entre  $VO_2$  e a intensidade do exercício que caracteriza o domínio moderado (desenvolvimento da componente lenta do  $VO_2$ ).

Mesmo tendo em conta que o *stress* metabólico encontra-se em níveis altos, ainda há a possibilidade de manter um *steady state* (estado de equilíbrio) fisiológico, realizando o exercício por um longo período de tempo (Greco, Caputo & Denadai, 2008).

## 2.2 Domínio de intensidade severo

No respetivo domínio não há estabilização nas variáveis metabólicas (o que nos leva a afastar do conceito da VC). Em concreto, a taxa de produção de lactato é maior do que a remoção, o que leva a um acumular e conseqüente aumento na relação entre ácido láctico e ácido pirúvico e da concentração de iões de hidrogénio ( $[H^+]$ ) (Greco, Caputo & Denadai, 2008). Uma referência para o  $VO_2$ , que também aumenta até atingir o seu máximo ( $VO_{2máx}$ ), e a amplitude da componente lenta é muito superior em relação aos exercícios realizados na intensidade pesada (Xu & Rhodes, 1999). Assim, a tolerância ao esforço (do exercício) é reduzida, com perturbações celulares (taxa de produção e remoção de metabolitos), causadas pela elevada exigência muscular de adenosina trifosfato (ATP) (Greco, Caputo & Denadai, 2008).

## 2.3 Contextualização da localização da VC no decorrer do exercício

Uma forma de analisar a velocidade crítica, é admitindo que a VC é o limite superior do domínio “pesado” de intensidade (por exemplo, num exercício a uma velocidade/carga constante, é a realização da mais alta intensidade em que esta não é suficiente para que o  $VO_{2máx}$  seja atingido (Hill & Ferguson, 1999). Uma constatação comum à maioria, mas há sempre exceções, nomeadamente por Pringle & Jones (2002), onde consideram que a potência referente ao MLSS é superior à potência crítica, assumindo como limite superior do domínio pesado de intensidade a potência no MLSS, em ciclismo pelo menos.

Segundo Dekerle (2006), abaixo da VC são observadas progressivas mudanças no nível de lactato sanguíneo, na frequência cardíaca e ainda no consumo de oxigénio (em termos de componente lenta), contudo os respetivos valores máximos nunca são alcançados. A componente lenta do  $VO_2$  não apresenta dimensões suficientes para que o  $VO_{2máx}$  possa ser conseguido. De acordo com o mesmo autor, o sangue capilar  $[La^-]$  pode atingir valores entre os 8 e os 10  $mmol.l^{-1}$ .

A velocidade respetiva à VC pode ser mantida durante uma hora (tempos até exaustão usualmente recolhidos no MLSS (EEML)) a 30/40 minutos, no entanto Brickley et al. (2002), registou uma enorme variação entre indivíduos. Esta amplitude temporal da duração da VC é algo díspar entre investigadores, mas certo é que as condições têm de ser propícias para um equilíbrio metabólico ( $VO_2$  e  $[La^-]$ ), o que vem exponenciar a

importância desta variável, enquanto indicador da capacidade aeróbia dos sujeitos (sendo uma linha ténue que separa os domínios pesado e severo de intensidade) (Denadai et al., 2003; Morton, 2006).

Desde os primeiros estudos sobre velocidade/potência crítica, foram vários os que constataram que a VC está correlacionada com índices que estão relacionados com a capacidade aeróbia, como o consumo máximo de oxigénio (Moritani et al., 1981; Housh et al., 1991; Vandewalle et al., 1997), o limiar ventilatório (ou limiar anaeróbio) (; Moritani et al., 1981; Vandewalle et al., 1997), OBLA, (Vandewalle et al., 1997), EEML (MLSS) (Vandewalle et al., 1997; Pringle & Jones, 2002), o limiar láctico (Denadai et al., 2003), que interpretado de outra forma, segundo Housh et al. (1991), o início da acumulação de lactato ( $4 \text{ mmol.l}^{-1}$ ), ou até mesmo o limiar de fadiga eletromiográfico (DeVries et al., 1982).

No início do exercício (abaixo do limiar láctico), o consumo de oxigénio aumenta rapidamente e posteriormente estabiliza (Whipp & Wasserman, 1972). Acima do limiar láctico, o rápido aumento inicial no  $\text{VO}_2$  é seguido pela segunda componente “lenta”, o que resulta num estado estacionário atrasado (Henson, Poole & Whipp, 1989). Autores como Gaesser & Poole (1996) propuseram que durante o exercício acima da potência crítica, a componente lenta do  $\text{VO}_2$  irá levar o consumo de oxigénio não a uma estabilização atrasada (Gaesser & Poole, 1996), mas sim a atingir o  $\text{VO}_{2\text{max}}$ . Os mesmos resultados foram confirmados por Hill & Ferguson (1999), acrescentando apenas que o aumento do consumo de oxigénio até atingir o seu valor maximal ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ ) é realizado de forma gradual (já em 1988 e 1990, por Poole e seus colaboradores havia sido levantada esta questão, de que a CV poderia representar o limiar de intensidade, no qual acima deste, o  $\text{VO}_2$  aumentaria gradualmente até atingir o  $\text{VO}_{2\text{max}}$ ).

Parece evidente que o  $\text{VO}_{2\text{max}}$  pode ser induzido durante exercícios de potência constante, num espectro de intensidades (Gaesser & Poole, 1996; Sloniger et al., 1996).

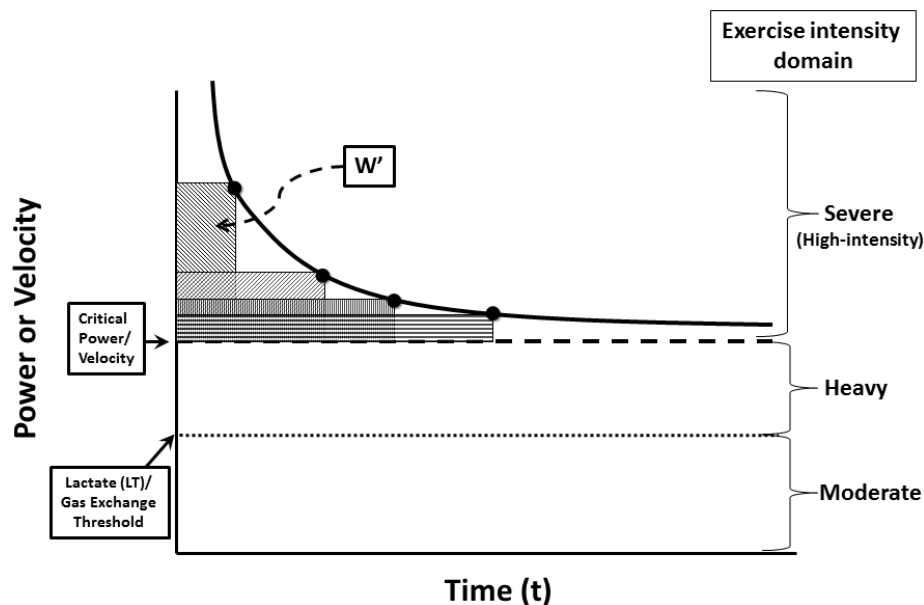
O levantamento da hipótese de que o  $\text{VO}_{2\text{max}}$  é atingido apenas durante exercício realizado acima da potência crítica foi operacionalizado por Poole et al. (1988) e também por Poole, Ward & Whipp (1990), onde mostraram que antes e depois de treinar, durante o exercício na intensidade da potência crítica, o  $\text{VO}_2$  alcançou um *steady state* a 75% do  $\text{VO}_{2\text{max}}$ . No entanto, durante exercícios até à exaustão, numa potência que exigia um *output* mecânico que representava apenas 8 a 11% (16 a 23 W) acima da potência crítica (sensivelmente 75% da taxa de trabalho associada à consecução do  $\text{VO}_{2\text{max}}$ , num teste incremental), o consumo de oxigénio atingiu o seu máximo ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ ).

Também no estudo de Hill & Ferguson (1999), que como visto acima levaram a acreditar que durante o exercício a uma intensidade acima da VC (ou PC), o  $\text{VO}_2$  pode gradualmente aumentar até o  $\text{VO}_{2\text{max}}$ . Esta sugestão dos autores suporta a hipótese dos estudos de Poole et al. (1988, 1990), mencionados no parágrafo anterior, de que a VC é a velocidade mais elevada na qual o  $\text{VO}_2$ , e presumivelmente outros índices metabólicos, como a concentração de lactato sanguíneo, como a taxa de lactato para piruvato, concentração de bicarbonato e ainda o pH sanguíneo, podem alcançar um *steady state* (assim sendo, a VC representa um limite superior para a potência crítica durante a corrida) (Hill & Ferguson, 1999).

A fadiga foi definida por Grassi, Rossiter & Zoladz (2015) como sendo a “redução na força muscular ou potência, para uma determinada ativação muscular”, e a exploração do papel de comando no fornecimento de oxigênio (e no consumo de oxigênio,  $\text{VO}_2$ ) na tolerância ao exercício (Amann et al., 2006; Knight et al., 1993).

Notavelmente, os referidos autores colocaram a sua consideração acerca da fadiga, em conjunto com o conceito de potência crítica (ou velocidade crítica), tal como pode ser visto na figura abaixo (Figura 1). Segundo Poole & Barstow (2015), esta é uma perspectiva crucial, porque com intensidades acima da PC, a homeostasia metabólica do músculo esquelético não pode ser mantida, e o tempo até exaustão é predizível em função do  $W'$  (capacidade de trabalho anaeróbio, ou seja, CTA), e da potência sustentada relativa à PC. Especificamente, para todos os exercícios acima do patamar da PC, o  $\text{VO}_2$  pulmonar e muscular aumenta, alcançando o  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  (via componente lenta do  $\text{VO}_2$ , diminuindo a eficiência muscular). A fosfocreatina (que fornece energia ao músculo) diminui, e o ADP (livre), o monofosfato de inosina, o monofosfato de adenosina, o potássio, o hidrogênio e o lactato sanguíneo, todos eles aumentam inexoravelmente até à fadiga/exaustão (Poole et al., 1988; Jones et al., 2010). Nestas circunstâncias, a fadiga/exaustão não ocorre

necessariamente concomitantemente com a obtenção do  $VO_{2\text{máx}}$ , mas sim com a depleção da capacidade de trabalho anaeróbio ( $W'$ ) (Poole & Barstow, 2015).

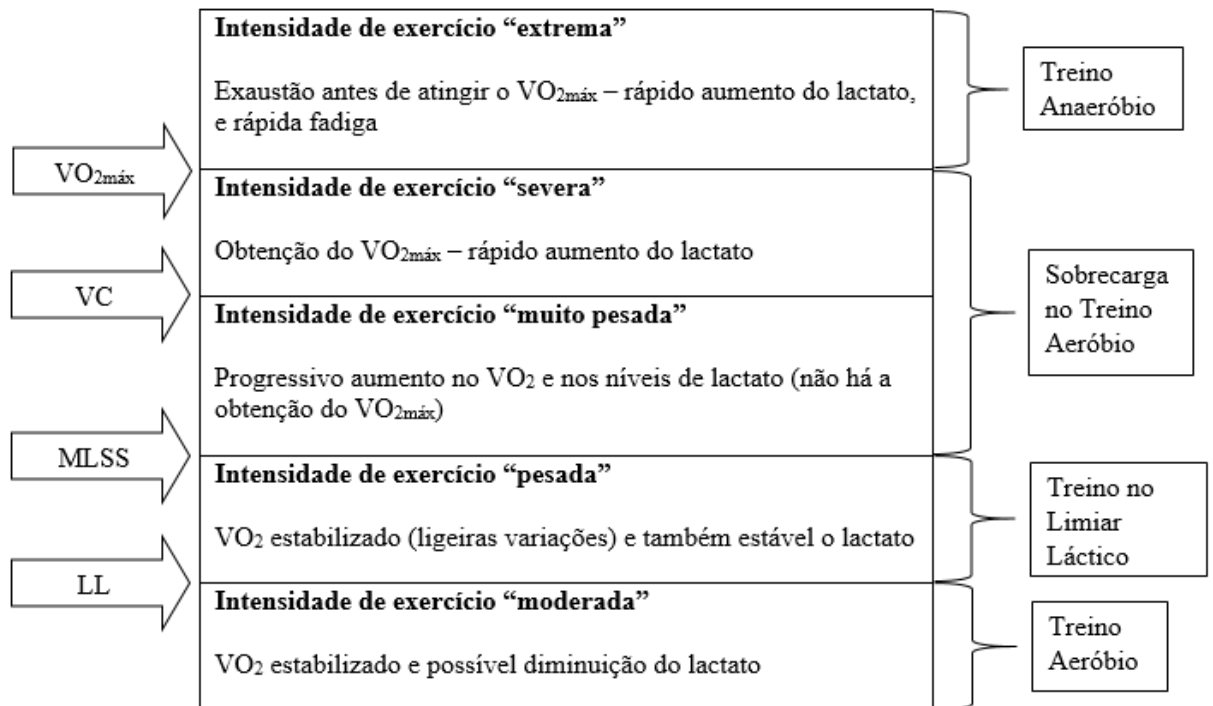


**Figura 1** - Relação Potência/Velocidade vs Tempo (contextualizado com as zonas de intensidade) (Poole & Barstow, 2015)

A figura acima é demonstrativa de uma relação potência – tempo, através de quatro exercícios realizados até exaustão com constantes potências e velocidades. Para exercícios acima da potência crítica (domínio severo de intensidade), o lactato sanguíneo e o  $VO_2$  aumentam inevitavelmente, pois não há estabilidade intramuscular de [PCr] e de  $[H^+]$  (Jones et al., 2010), e a fadiga ocorre quando a capacidade de trabalho anaeróbio ( $W'$ ) é esgotada (Poole & Barstow, 2015).

De notar que esta capacidade ( $W'$ ) é a mesma para cada exercício, contudo a sua “taxa de esgotamento” diminui com a diminuição da potência ao direcionar-se para a potência crítica (o tempo até exaustão ( $t$ ) é predito através dos parâmetros de PC e de  $W'$ , assim sendo,  $t = W' / (P - PC)$ ). A intensidades inferiores à PC (mas superior ao limiar láctico, domínio pesado), a eficiência diminui e o lactato eleva-se, mas este (e o [PCr] e  $[H^+]$  intramuscular) está estabilizado, assim como a sustentabilidade do exercício prolongado (Poole & Barstow, 2015).

Como foi referido anteriormente, também muitos estudos hierarquizam os domínios de intensidade em cinco níveis distintos (moderado, pesado, muito pesado, severo, extremo), sendo exemplo disso o artigo de Toubekis & Tokmakidis (2013), representado no quadro abaixo (figura 2).



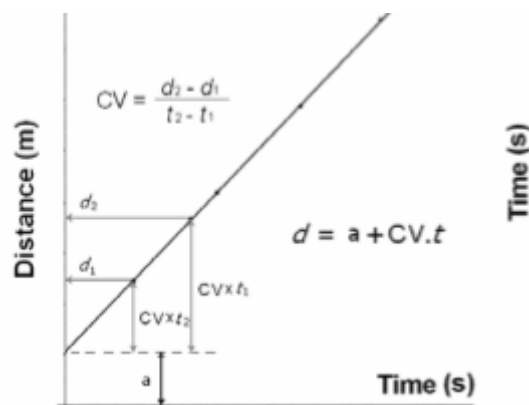
**Figura 2** - Domínios de intensidade do exercício durante exercício contínuo e as suas respectivas respostas fisiológicas (na esquerda: os indicadores fisiológicos que demarcam os domínios; na direita: os domínios estão descritos com terminologia adaptada ao treino) (Toubekis & Tokmakidis, 2013)

### 3. Velocidade Crítica na natação

Para qualquer nadador, há uma relação hiperbólica que liga a velocidade ( $v$ ) e a frequência de braçada/ciclo ( $FB$ ) ao tempo até exaustão ( $t$ ). As assíntotas destas relações são chamadas de Velocidade Crítica ( $VC$ ) e Frequência Crítica de Braçada/Ciclo ( $FCB/FCC$ , "critical stroke rate"). Em teoria, ambos os parâmetros podem ser mantidos indefinidamente. O modelo da  $VC$  é muito útil para os treinadores, nomeadamente para a definição das cargas de treino, monitorizar os efeitos do treino, e na predição do desempenho. O conceito de  $FCB$  é muito recente e deve ser melhor investigado. No entanto, o conhecimento disponível atual sugere que a utilização dos dois parâmetros para o treino faz todo o sentido (Dekerle, 2006).

Segundo o mesmo autor (Dekerle, 2006), metodologicamente pode recorrer-se a três métodos semelhantes para a obtenção da velocidade crítica na natação. A velocidade crítica é representada pelo gráfico da relação distância/tempo ( $d = CDA + VC \cdot t$ ), pela assíntota da relação  $v/t$ , e pela intersecção no eixo dos  $yy$  (da relação  $v-1/t$ ) (Billat et al. 2001). A mais utilizada nesta modalidade é a relação linear distância/tempo (Figura 3),

facilmente explicada pela sua simples aplicação, proveniente de duas ou mais distâncias de nado.



**Figura 3** - Relação Distância-Tempo (natação) (Dekerle, 2006)

As *performances* registadas em várias distâncias permitem-nos determinar a velocidade crítica, contudo é importante realçar que o valor obtido da relação (declive da reta, entre as distâncias nadadas) estará dependente dos tempos de exaustão utilizados (influência do custo energético na natação), ou seja, não só das distâncias em questão como da forma como cada distância é nadada (Dekerle et al., 2002; DiPrampero, 1999). Deste modo, é recomendado que sejam integrados no modelo, testes/provas que permitam o alcance do  $VO_{2max}$  (sensivelmente entre 2 a 15 minutos).

Contextualizado com a natação há também quem fale em 3 a 15 minutos como a duração mais apropriada quando é utilizado o modelo de 2 parâmetros. No entanto, com a eventual inclusão de uma distância mais reduzida (1 minuto) parece ser preferível nestas circunstâncias recorrer a um modelo de 3 parâmetros para calcular a VC (Zacca et al., 2010; Toubekis & Tokmakidis, 2013).

Adaptado à natação, a velocidade crítica pode ser aquela que é encontrada no teste de 2000 metros (Dekerle, 2006), embora seja muito discutível quanto à sua fiabilidade. De acordo com Espada & Alves (2010), a VC é significativamente superior à velocidade do MLSS, e está altamente correlacionada com o teste de 400 metros ( $r = .97$ ). Segundo Martin & Whyte (2000), são aconselhadas distâncias que variem entre os 200 e 1500 metros, na natação. Tendo em conta estes requisitos, e com o desejo de simplificar a determinação da velocidade crítica para os treinadores, Wakayoshi et al. (1993) assim como Dekerle et al. (2002), sugeriram que a determinação da mesma se baseasse em apenas duas provas (200 e 400 metros), o que hoje em dia continua a ser o mais pertinente.

Apesar desta constatação, um destes autores alerta para a diminuição do nível de fiabilidade, ao serem consideradas para a determinação da velocidade crítica apenas duas

distâncias (duas *performances*), em detrimento de um maior número de avaliações (Dekerle, 2006). Este facto tem de ser equacionado quando é realizada a relação distância/tempo, aquando da prevenção do desempenho do nadador, assim como para monitorizar os efeitos de determinados períodos de treino. É de reconhecer que a determinação da velocidade crítica revelou-se fiável, mesmo atendendo a tempos de exaustão variáveis (Hinckson & Hopkins, 2005; Vandewalle et al., 1997), e a resposta fisiológica à velocidade crítica, também mostrou ser reprodutível, na natação (Brickley et al., 2004; citado por Dekerle, 2006).

Por intermédio do mesmo autor (Dekerle, 2006), de acordo com a definição matemática, primeiramente a Velocidade Crítica foi equacionada como correspondendo a uma intensidade possível de manter (sustentável) e tem sido comparada com parâmetros como o estado estacionário máximo de lactato (EEML ou MLSS, que representa a máxima intensidade que pode ser mantida sem acumulação nos níveis de lactato sanguíneo), ou o começo da acumulação do lactato sanguíneo (OBLA, cuja intensidade corresponde a 4 mmol.l<sup>-1</sup> da concentração de lactato no sangue ([La<sup>-</sup>]), durante, por exemplo, um teste progressivo).

Diga-se de passagem, que a velocidade de nado correspondente à concentração de lactato de 4 mmol.l<sup>-1</sup>, foi utilizada como um importante critério para a intensidade de treino no que diz respeito à natação de alta competição (Maglischo, Maglischo & Bishop, 1982; Madsen & Lohberg, 1987; Skinner, 1987; citados por Wakayoshi et al., 1992a).

Em 1993, Wakayoshi et al. (assim como Dekerle, 2006, citando Brickley et al., 2004), obtiveram valores estáveis de [La<sup>-</sup>], num teste que continha várias repetições de 400 metros, nadadas a uma velocidade correspondente à velocidade crítica (variações de lactatemia entre 3-4 mmol.l<sup>-1</sup>). Apesar dos resultados, levantou-se a dúvida sobre a possível influência do tempo de descanso entre repetições (30 a 40 segundos), tanto na manutenção da motivação, como dos níveis de lactato minimamente estáveis, consequentemente resultando numa “relativa” boa eficiência, em termos de *output* mecânico. Acrescente-se ainda que nos testes de Brickley et al. (2004), verificou-se que com o passar das repetições os parâmetros da braçada modificaram-se, com progressivos aumentos da frequência de braçada e diminuição da amplitude/comprimento da mesma, quer seja dentro da própria repetição, ou entre repetições.

Atualmente a maioria dos autores concorda que a velocidade crítica não corresponde a uma intensidade sustentável (Dekerle, 2006). Segundo esta autora, e de

acordo com a investigação por ela levada a cabo, os nadadores dificilmente conseguem manter a sua velocidade crítica de nado por períodos superiores a 30/40 minutos.

Alguns estudos (Fernandes & Villas-Boas, 1998; Dekerle et al., 2002), evidenciaram que no teste de 30 minutos a uma velocidade constante, esta (velocidade) é muito similar à Velocidade Crítica, e superior à velocidade aquando da ocorrência do estado estacionário máximo de lactato (EEML) (Dekerle et al., 2005), e também superior ao OBLA (Denadai et al., 2000; Wakayoshi, 1993; Wakayoshi, 1992b). Tanto em passadeira como em cicloergómetro foram encontradas respostas semelhantes, com tempos até exaustão igualmente similares (Pringle & Jones, 2002; Dekerle et al., 2003a).

Em natação, a VC tem evidenciado ser um bom indicador da capacidade do sistema energético aeróbio (Papoti et al., 2005), e principalmente em jovens nadadores, são vários os estudos que confirmaram este facto (Greco & Denadai, 2005; Toubekis, Douda & Tokmakidis, 2005). Naturalmente que a VC é inferior à velocidade registada no último patamar de um teste progressivo (incremental), tradicionalmente identificada como a velocidade aeróbia máxima (VAM) (que de acordo com Dekerle (2006) ronda os 92-96% da velocidade nos 400 metros em nadadores treinados, ou seja, com tempos entre os 4'15'' e os 4'45'').

Resultados similares encontraram Reis & Alves (2006), com a VC (ao ser encontrada por intermédio dos testes de 200 e 400 m) a corresponder a 94,5% da velocidade do teste de 400m (V400). A VC está altamente correlacionada com o OBLA (Wakayoshi et al., 1992; Wakayoshi et al., 1993), com a média da velocidade obtida no teste dos 400m (Wakayoshi et al., 1992b; Wakayoshi et al., 1993; Espada & Alves, 2010) e ainda com o MLSS; Espada & Alves, 2010). De certo modo estes resultados confirmam o que afirmou Dekerle (2006), de que a primeira crença de que a VC era sustentável por um período muito longo de tempo decorria de uma má interpretação da definição matemática (ênfase por ser na definição matemática e não na definição fisiológica) da Velocidade Crítica (exemplo, a intensidade que pode ser mantida, “em teoria”, indefinidamente).

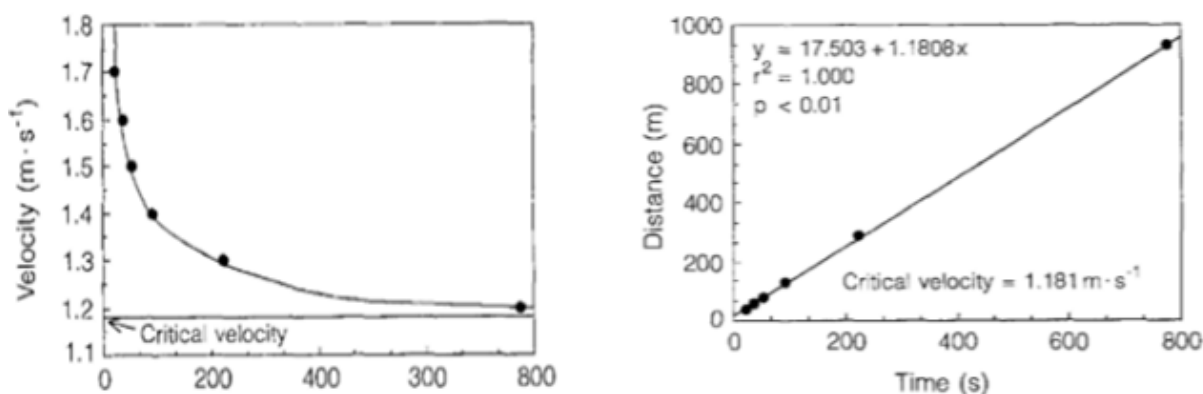
Exemplificando alguns estudos, e começando por Wakayoshi et al. (1992a), que determinaram e validaram a VC como um indicador de *performance* na natação. A VC (definida pelos mesmos como “a velocidade de nado durante um período muito longo de tempo, sem exaustão”) foi expressa como o declive de uma linha contínua entre as distâncias nadadas ( $d_{lim}$ ) a cada velocidade (com 6 velocidades pré-determinadas) e a respetiva duração ( $t_{lim}$ ). Segundo estes autores, os nadadores devem completar distâncias

de 50, 100, 200 e 400 à máxima intensidade, contudo há registros de várias combinações de distâncias para o cálculo da VC, como variando entre 100-400m (Costa et al., 2010), 100-800 (Dekerle et al, 2010), 50-2000 (Takahashi et al., 2009), 50-1500 (Zacca et al., 2010), entre outros estudos e números de distâncias utilizadas.

Basicamente, recorreram a uma análise de regressão entre  $d_{lim}$  e  $t_{lim}$  para cada nadador, tendo sido demonstradas relações lineares ( $r^2 > 0.998$ ), com a VC a variar entre  $1.062 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  e  $1.262 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (média de  $1.166 \pm 0.052 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). A velocidade crítica demonstrou estar positivamente correlacionada com o  $\text{VO}_2$  no limiar láctico ( $\text{VO}_{2, LL} = 38.5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ;  $r = 0.818$ ), com a velocidade aquando do OBLA ( $V_{OBLA} = 1.162$ ;  $r = 0.949$ ) e com a velocidade média nos 400 m livres ( $V_{400} = 1.541$ ;  $r = 0.864$ ).

Neste estudo, Wakayoshi e seus colaboradores basearam-se nos princípios ativos do conceito de potência crítica (Monod & Scherrer, 1965; Moritani et al., 1981). Os nadadores realizaram os testes numa “piscina” de testes, com dimensões diminutas (6 m comprimento, 2.5 m largura, 1.5 m profundidade) e com corrente de água contra o nado, proporcionando uma velocidade de nado controlada por programação (o teste finaliza aquando da incapacitação de acompanhamento do ritmo imposto). Foram estipuladas 6 velocidades (1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6,  $1.7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), sendo que a menor velocidade de nado foi programada como aquela em que o nadador conseguiria nadar de forma estável e contínua por mais de 5 minutos. O período de descanso entre testes foi de pelo menos 30 minutos.

Para cada teste a velocidade de nado ( $v$ ), provocada pela própria piscina e respetiva força de arrasto, multiplicada pelo tempo de nado efetivo ( $t_{lim}$ ) até que o sujeito não consiga mais manter a sua velocidade igualada a distância de nado ( $d_{lim}$ ).



**Figura 4** - Relação entre a velocidade de nado pré-determinada e o tempo para que essa velocidade possa ser mantida ( $t_{lim}$ ) (esquerda) e entre a distância de nado percorrida e o  $t_{lim}$  registado para os 6 testes (direita) (Wakayoshi et al., 1992a)

Na figura acima, o gráfico da direita foi obtido em função das 6 velocidades de nado distintas, e transformado como uma função de  $t_{lim}$ . No fundo, os pontos estão situados numa linha (regressão linear) que define a relação entre  $d_{lim}$  e  $t_{lim}$ . A equação da regressão linear pode ser expressa de diferentes formas (e ao longo dos anos foram vários os estudos que as utilizaram):

- $d_{lim} = a + b \times t_{lim}$  (ou,  $v \times t_{lim} = a + b \times t_{lim}$ , ou  $v = a / t_{lim} + b$ )

Em termos teóricos, se fosse necessário definir uma velocidade a um nível em que esta pudesse ser mantida indefinidamente ( $t_{lim} \rightarrow \infty$ ),  $a/t_{lim}$  aproximar-se-ia de zero e  $v$  aproximar-se-ia de  $b$ . Portanto, a VC pode ser expressa como a inclinação da regressão linear ( $VC = b$ ) (Wakayoshi et al., 1992a).

De destacar, ainda relativamente a este estudo, embora como nota de curiosidade, mas que pode ser transversal inclusive ao meu estudo, que um dos sujeitos (especialista em 1500 m Crol), teve a capacidade de continuar a nadar na velocidade de  $1.2 \text{ m.s}^{-1}$  por mais de 30 minutos sem exaustão (foi forçado a parar e como tal, a sua VC foi calculada através do  $t_{lim}$  a 5 velocidades acima da velocidade deste patamar de  $1.2 \text{ m.s}^{-1}$ ). Os próprios autores (Wakayoshi et al., 1992a), remetem ainda a questão da piscina (*swim flume*) como incapacitante para os nadadores ao tentarem manter uma intensidade constante.

Também por intermédio de alguns destes investigadores (Wakayoshi et al., 1992b), a VC foi testada numa piscina normal (25m), através de esforços máximos de 50, 100, 200 e 400 metros. Os nadadores, altamente treinados, conseguiram protagonizar uma excelente linearidade, pois a regressão entre  $d_{lim}$  (distância nadada, D) e  $t_{lim}$  (tempo até exaustão, t) (expressa novamente através da fórmula:  $D = a + b \times t$ ) teve um valor de  $r^2$  superior a 0.997 ( $p < 0.001$ ). Encontraram-se correlações significativas entre VC e a velocidade de nado correspondente à concentração de lactato de  $4 \text{ mmol.l}^{-1}$  ( $V_{OBLA}$ ) (obtida num teste progressivo) ( $r = 0.862$ ,  $p < 0.01$ ), entre VC e a velocidade dos 200 metros ( $V_{200}$ ) ( $r = 0.781$ ,  $p < 0.01$ ), entre a VC e a velocidade dos 400 metros ( $V_{400}$ ) ( $r = 0.999$ ,  $p < 0.001$ ), entre a  $V_{OBLA}$  e a  $V_{400}$  ( $r = 0.869$ ,  $p < 0.01$ ), e ainda entre  $V_{200}$  e a  $V_{400}$  ( $r = 0.776$ ,  $p < 0.01$ ).

O valor médio da VC foi de  $1.511 \text{ m.s}^{-1}$ , o da  $V_{200}$  foi de  $1.690 \text{ m.s}^{-1}$ , o da  $V_{400}$  foi de  $1.567 \text{ m.s}^{-1}$  e ainda a  $V_{OBLA}$  foi de  $1.493 \text{ m.s}^{-1}$  (ligeiramente inferior à VC).

De acordo com Wakayoshi et al. (1992b), os dados recolhidos neste estudo e consequentemente tratamento estatístico evidenciaram as primeiras sugestões (para

natação) de que a VC poderia ser determinada pela realização de vários esforços máximos (50, 100, 200, 400 m, com pelo menos 3 horas de repouso entre testes, 2 testes por dia, efetuados aleatoriamente) e apenas um cronómetro, e a VC pode ser adotada como um indicador que permita aceder a performance desejada e sem a utilização de amostras sanguíneas e de equipamento muito dispendioso.

Também por intermédio de Wakayoshi et al. (1993), num outro artigo introduziram o conceito de MLSS ou EEML (*Maximal Lactate Steady State*, ou Estado Estacionário Máximo de Lactato), pois teoricamente este conceito parecia ter semelhanças à VC. Para tal, os sujeitos realizaram apenas 2 testes máximos para averiguar a VC (200 e 400 m), e a regressão linear foi efetuada em função dos tempos relativos às duas distâncias. Nos testes para analisar o MLSS, foram realizadas 3 séries de 1600 m (na prática, 4 x 400 metros, com 30 a 45 s entre repetições para recolha de lactato), a 3 intensidades distintas (98%, 100% e 102% da VC), sempre a uma velocidade constante.

Os valores médios registados foram de 1.437 m.s<sup>-1</sup> (VC), 1.626 m.s<sup>-1</sup> (V200), 1.526 m.s<sup>-1</sup> (V400), 1.404 m.s<sup>-1</sup> (V<sub>OBLA</sub>). A VC obtida por este método também demonstrou estar correlacionada significativamente com a V<sub>OBLA</sub> (r = 0.914, p < 0.01), assim como com a V400 (r = 0.977, p < 0.01). A VC evidenciou ser significativamente superior à V<sub>OBLA</sub> (p < 0.05), a V400 superior à V<sub>OBLA</sub> (p < 0.01) e a ainda a V400 superior à VC (p < 0.01).

Na série realizada a uma intensidade correspondente a 100% da VC, a concentração de lactato sanguíneo registou um nível estável de aproximadamente 3.2 mmol.l<sup>-1</sup>. Nos 98% da VC, o lactato tinha uma tendência de decrescer significativamente na última repetição. Por outro lado, nos 102% da VC, a [La<sup>-</sup>] aumentou progressivamente, e os valores da terceira e quarta repetição foram significativamente maiores que aqueles encontrados na intensidade de 100% da velocidade crítica (p < 0.05).

Desde então (1993), ficou a ideia de que a VC poderia ser calculada pela realização de 2 esforços máximos, e que esta velocidade pode corresponder a uma intensidade de exercício equivalente ao MLSS.

De acordo com Toureski (1993), afamado treinador de Alexander Popov, nadar à velocidade crítica representa uma velocidade que equivale a 80-85% da velocidade máxima dos 100 m, ou 90-95% da velocidade máxima atingida numa prova de 400 metros, tendo elaborado um sistema de intensidades de treino em função da VC (consultar a tabela 2, no tópico “Operacionalização da velocidade crítica na natação”).

Já no novo milénio, numa tentativa de averiguar se a VC e a velocidade no LL ( $V_{LL}$ ) correspondiam à mesma velocidade em triatletas (mas na secção de natação), Martin & Whyte (2000) orientaram os seus testes de uma forma distinta, com 5 distâncias diferentes (100, 200, 400, 800 e 1500 m). O declive da linha da regressão linear foi calculado por todas as combinações possíveis de 2 – 5 testes. O número ou combinação de testes realizados e utilizados na regressão linear não resultaram numa VC com diferença significativa ( $p > 0.05$ ).

Logicamente que nas combinações de testes, onde nestes predominavam os testes mais curtos em detrimento das distâncias mais longas, resultaram numa VC mais rápida comparada com a VC obtida através dos 5 testes (VC-5TT) ( $p > 0.05$ ). A média desta (VC-5TT =  $1.23 \pm 0.11 \text{ m.s}^{-1}$ ) foi significativamente superior ( $p < 0.05$ ) do que a média da  $V_{LL}$  ( $1.15 \pm 0.10 \text{ m.s}^{-1}$ ), e foi verificado em todos os sujeitos da amostra. Em consonância com este dado, o valor médio de  $[La^-]$  foi significativamente superior ( $p < 0.05$ ) na VC-5TT ( $3.0 \pm 1.0 \text{ mM}$ ) do que na  $V_{LL}$  ( $1.9 \pm 0.4 \text{ mM}$ ).

Também em 2000, mas por Denadai, Greco & Teixeira (2000), foi relacionada pela primeira vez a VC com crianças (10-12 anos, principiantes e treinados), uma vez que a sua validade ainda estava por se constatar. Através do modelo também implementado por Wakayoshi et al. (1993), mas com a VC obtida por intermédio de 3 testes (50, 100, 200 m).

Pela sua idade, naturalmente que a VC foi muito menor comparativamente a estudos anteriores (VC principiantes =  $0.78 \text{ m.s}^{-1}$ ; VC treinados =  $1.08 \text{ m.s}^{-1}$ ), mas que passaram a ser um valor de referência para estas idades. Evidenciou-se ainda neste estudo (assim como no estudo de Greco et al., 2002) que a  $V_{OBLA}$  foi significativamente superior à VC, para ambos os grupos, o que difere de alguns estudos já apresentados (Wakayoshi et al., 1992b; Wakayoshi et al., 1993), realizados em adultos, em condições semelhantes. Os autores Greco et al. (2002) sugerem que estes resultados podem ser explicados, pelo menos em parte, pela resposta do lactato sanguíneo ao exercício (submaximal e maximal) em crianças.

Estes últimos mencionados (Greco et al., 2002), elucidam-nos que já vários estudos demonstraram que para sujeitos entre os 6 - 17 anos, a atividade das enzimas glicolíticas tende a aumentar, enquanto a atividade das enzimas oxidativas tende a diminuir com o aumento da idade, sugerindo uma menor “taxa” de produção enzimática anaeróbia/aeróbia em crianças, que por sua vez pode estar relacionado com uma redução na produção de lactato ou aumento na oxidação do lactato, ou até ambos.

Acrescente-se, que ainda relativamente a este estudo, registou-se uma correlação significativa entre a VC e a V30 (velocidade do teste de 30 minutos a nadar a uma velocidade constante), tanto para crianças de 10-12 anos, como para as de 13-15. Estes resultados foram igualmente evidenciados por Dekerle et al. (2002), dando a ideia de que a relação entre estas duas variáveis (VC e V30) é independente da idade cronológica. Também por Greco et al. (2002), foi possível concluir que a relação entre a VC e  $V_{OBLA}$  é alterada com o aumentar da idade.

O grupo citado acima (Dekerle et al., 2002), foi um dos primeiros a introduzir em conjunto com o conceito de velocidade crítica, um parâmetro de análise mais técnico, como é o caso da frequência da braçada (FB) (e conseqüente frequência crítica de ciclo (FCC), ambos já explicados no início deste tópico). No estudo não se verificaram diferenças significativas entre a FCC (calculada nos testes máximos de 200m e 400m;  $37.79 \pm 6.41$  ciclos  $\times$   $\text{min}^{-1}$ ), e a FB (calculada no teste de 30 minutos;  $36.41 \pm 5.94$  ciclos  $\times$   $\text{min}^{-1}$ ), contudo correlacionavam-se significativamente ( $r = 0.86$ ;  $p < 0.01$ ). Os valores médios da FB foram de  $35.1 (\pm 2.7)$  ciclos. $\text{min}^{-1}$  aos 200m, e  $37.9 (\pm 2.8)$  ciclos. $\text{min}^{-1}$  no teste de 400m, valores estes que ainda hoje servem de referência para alguns treinadores (Dekerle, 2006). A VC (calculada após os 200m e os 400m) foi de  $1.19 \pm 0.08$   $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , o que correspondeu a 85.5% e 91.1% das velocidades dos 200m e 400m, respetivamente.

Neste estudo de Dekerle et al. (2002), e perante os resultados obtidos, os autores reafirmam a importância do teste de 30 minutos (T30) na monitorização do treino aeróbio, e que a velocidade desse teste (V30) pode ser usada como um indicador de *performance* (tipicamente de resistência) e na determinação de intensidades para exercícios predominantemente aeróbios (Olbrecht et al., 1985; Maglischo, 1993; Dekerle, 2002).

Dentro da vasta gama de artigos e estudos que relacionem natação e velocidade crítica, vamos agora avançar no tempo e contextualizar com a dinâmica da administração de testes na atualidade (nos recentes anos), continuando a exemplificar mais alguns artigos e a pertinência de alguns dos seus resultados. É o caso de Espada & Alves (2010), onde encontraram elevadas correlações e significativas ( $r = 0.94$ ;  $p < 0.01$ ) entre a VC (baseada nos 200 e 400m) e a velocidade do MLSS ( $V_{MLSS}$ ) (obtido em dois a três testes T30), assim como entre a VC e o V400 ( $r = 0.95$ ;  $p < 0.01$ ).

Apesar da alta correlação entre VC e  $V_{MLSS}$ , a VC foi significativamente superior ( $p = 0.00$ ), o que vem condizer com os resultados apresentados por Dekerle et al. (2003) e por Dekerle et al. (2005b). Constatou-se também que a frequência média de braçada na  $V_{MLSS}$  foi de  $32.9 \pm 4.3$  (ciclos. $\text{min}^{-1}$ ) e a amplitude média de braçada foi de  $2.49 \pm 0.34$

(metros x ciclo<sup>-1</sup>). Acrescente-se ainda que  $V_{MLSS}$  estava situada numa intensidade equivalente a 90% da  $V_{400}$ , e que a estabilização nos parâmetros técnicos da braçada foi uma ferramenta fulcral na prevenção do aparecimento de fadiga (dois indicadores fundamentais na determinação e operacionalização das cargas de treino).

Segundo Franken, Zacca & Castro (2011), e respeitando a literatura, parece ser possível afirmar que a velocidade crítica é influenciada predominantemente (que se saiba) por 3 fatores: (1) utilização de diferentes combinações de distâncias; (2) distintas faixas etárias; (3) experiência efetiva do nadador. Se todos estes fatores são facilmente aceites, há sempre um que fica a dúvida quanto à sua influência, o género/sexo.

Um dos estudos que faz a diferenciação do género, e posterior análise no conjunto, é o estudo realizado por Fernandes (2011), a jovens dos 11 aos 14 anos. Neste trabalho de investigação registaram-se diferenças significativas entre género no que diz respeito à velocidade crítica (rapazes = 1.28, raparigas = 1.21).

Mais tarde, num estudo realizado somente ao género feminino, Tsalis et al. (2012), subdividiram a amostra em três grupos etários (“crianças” com  $10.4 \pm 0.6$  anos; “jovens” com  $13.1 \pm 0.4$  anos; “adultos” com  $19.9 \pm 4.6$  anos). A VC que foi obtida em função de 4 distâncias de nado (50, 100, 200 e 400 metros), evidenciou diferenças significativas entre o grupo “crianças” ( $VC_{crianças} = 0.962$  m/s;  $p < 0.05$ ) que foi significativamente inferior aos restantes escalões ( $VC_{jovens} = 1.168$  m/s;  $VC_{adultos} = 1.217$  m/s), sendo que entre estes dois últimos não foram encontradas diferenças significativas. A velocidade crítica dos grupos “crianças”, “jovens” e “adultos” correspondeu a  $96.1 (\pm 0.6\%)$ ,  $96.5 (\pm 1.1\%)$ ,  $96.4 (\pm 0.7\%)$  da velocidade dos 400 metros livres, respetivamente.

Posteriormente foi efetuada uma análise à VC apenas utilizando as distâncias dos 200 e 400 metros, no entanto não se verificaram diferenças significativas com a VC anteriormente mencionada ( $VC_{200-400}$  das crianças, jovens e adultos foi de 0.962, 1.156 e 1.211 m.s<sup>-1</sup>, respetivamente).

No mesmo estudo realizaram também uma série que implicava a manutenção da VC (5 x 400 para “jovens” e “adultos” e 5 x 300 para “crianças”), com um intervalo de repouso de 30 - 40 segundos. Foi incluída nestas séries uma análise aos parâmetros da braçada [Frequência de Braçada (ciclos x min<sup>-1</sup>) = (ciclos de braçada realizados para completar a distância/ tempo em segundos para completar a distância) x 60; Amplitude de Ciclo (m x ciclo<sup>-1</sup>) = Velocidade x Frequência de Braçada<sup>-1</sup>] em cada 50 metros. Digase ainda, que não houve diferenças significativas na FB entre grupos, e que este mesmo

parâmetro mostrou-se constante ao longo da série, para todos os grupos (FCB foi semelhante à FB).

Já a amplitude da braçada (AC) foi maior nos grupos mais experientes (“adultos” e “jovens”) comparativamente ao grupo “crianças”. Com o decorrer do exercício (principalmente a partir da terceira repetição) a AC foi diminuindo, independentemente do grupo (mais foi mais evidente aos dois grupos mais experientes). Segundo Tsalis et al. (2012), e apesar das semelhanças nas respostas metabólicas, a visível diminuição da AC em “jovens” e “adultos” pode indicar uma fadiga precoce ou um maior estímulo de treino quando é nadado a intensidades a rondar a VC e que segundo os mesmos este facto é claro no início da puberdade no que diz respeito a nadadoras (sexo feminino) com um nível nacional de competitividade.

O mais relevante neste estudo foi o facto das sujeitas terem mantido a intensidade da VC durante um nado intermitente, com respostas metabólicas estáveis, algo que vem contrastar com os resultados obtidos em estudos anteriores, mas com participantes masculinos (Ribeiro, Lima & Gobatto, 2010). Já Toubekis et al. (2011) havia mencionado que para além desta incapacidade evidenciada pelo sector masculino em manter a VC (calculada através das distâncias de 50, 100, 200 e 400 metros), os mesmos sujeitos adoptaram um ritmo 4% mais lento, de forma a manter as respostas metabólicas num *steady-state* nesse protocolo intermitente. Esta aparente diferença entre sexos na resposta a exercícios com intensidade relativa similar (sensivelmente 96% da V400, Tsalis et al. (2012)), pode ser atribuída às inerentes diferenças metabólicas (como o uso do substrato) (Deschenes et al., 2006).

Muito recentemente, por Machado et al. (2013), elucidou-nos para o facto de ainda não haver total conhecimento sobre se a VC funciona tão bem para nadadores de elite, como aparentemente funciona para os restantes. Como tal, utilizando adolescentes que nas camadas jovens eram caracterizados como de “elite”, evidenciaram que também neste caso a VC ( $1.32 \pm 0.06$ , obtida nos testes de 50, 100, 200 e 400m) foi significativamente superior aos MLSS ( $1.29 \pm 0.05$ , obtido através dos 3 x (4 x 400m) a 98, 100 e 102% da VC), embora tenha sido encontrada uma alta correlação entre ambos os parâmetros.

Para os adolescentes da amostra (“de elite”), a intensidade de 98% da VC foi a que melhor caracterizou a intensidade do MLSS. O valor referente à velocidade crítica pode ser 3-6 e 8-11% superior quando comparado com o valor do MLSS e do LL, respetivamente (Toubekis & Tokmakidis, 2013). Estes últimos, referem ainda que é sempre importante notar que vários estudos calcularam a VC (pela relação distância-

tempo) usando distâncias muito reduzidas, como 10, 15, 20 e 25 m ou 75, 100 e 150 metros (Abe et al., 2006; Marinho et al., 2012). Este parâmetro chamado Velocidade Crítica Anaeróbia, foi testado de modo a ser útil no treino, ao ativar o metabolismo anaeróbio (Neiva, Fernandes & Vilas-Boas, 2011) e não deve ser confundida e comparada à tradicional Velocidade Crítica descrita ao longo desta revisão.

Remetendo desde já o tópico para a vertente intervalada do esforço (antes de tornar a VC um indicador prático), e com o devido suporte bibliográfico (Toubekis & Tokmakidis, 2013), os autores referem que o nado intermitente a intensidades 2-4% inferiores à VC podem ser suficientes para alcançar um *steady-state* em termos de concentração do ácido láctico (principalmente se a VC for calculada através de distâncias entre os 3 e os 15 minutos de duração).

Se este esforço intermitente for realizado à intensidade da VC, o mais provável é que a  $[La^-]$  aumente progressivamente (o mais natural é que aconteça em nadadores mais jovens, sendo que em crianças o lactato pode inclusive adotar uma curva descendente). Também aqui este aumento no lactato é mais evidenciado quando a VC foi registada por intermédio de testes de curta duração (como em 50, 100, 200 e 400 m) e menos provável quando foi utilizada pelo menos uma distância de longa duração (ex: 10-15 minutos). Deste modo, nadar a uma intensidade 2% superior à VC irá igualmente levar a um aumento na concentração de lactato e levar à exaustão, tanto jovens como adultos, pelo menos do sexo masculino. Todavia, consoante os estudos existentes, não há dados suficientes que nos permitam afirmar que os resultados serão idênticos para crianças, para o sexo feminino e ainda para nadadores de elite (Toubekis & Tokmakidis, 2013).

### **3.1 Operacionalização da velocidade crítica na natação**

A utilização da Velocidade Crítica (VC) no treino de nadadores foi inicialmente sugerida por Ettema (1966), e efetivamente são vários os estudos realizados na área, com os investigadores a sugerirem consistentemente à sua utilização (Dekerle & Pelayo, 2011; Oliveira et al., 2012).

Uma das aplicações práticas desta variável é na determinação de intensidades de treino. A VC permite distinguir claramente dois domínios diferentes de intensidade e segundo alguns autores, como Dekerle (2006), esta deve forçosamente ser utilizada como uma referência na determinação das intensidades de treino. Apesar do ritmo utilizado nos 400 metros aparentemente ser um indicador fidedigno para os treinadores, veja-se que

pode haver dois nadadores com desempenhos idênticos nos 400m, mas com diferentes potenciais aeróbios (por exemplo, um pode nadar 1500m mais rápido que o outro, e assim sucessivamente, como no caso das distâncias mais reduzidas).

Segundo Fernandes (2011), a VC para além de ser uma ferramenta muito útil na determinação de volumes de treino e de intensidades, pode igualmente aplicar-se de uma forma ainda mais prática no processo de treino. O autor sugere que o valor da VC possa ser convertido em tempos de 100 metros ( $VC_{100t}$ ), para uma aplicação direta no desenvolvimento da capacidade aeróbia em termos de carga de treino.

Apesar da grande maioria dos trabalhos estar focalizada em distâncias médias/longas para a determinação da VC, alguns valores de VC mais elevados foram encontrados em estudos que se centraram em distâncias mais reduzidas e acima de tudo mais fáceis de aplicar pelo menor tempo despendido (pode ser preferível para o contexto do treino). Por exemplo, DiPrampero et al. (2008) encontrou uma relação significativa entre potência aeróbia e VC, utilizando as distâncias de 50 e 200 jardas (cerca de 45.72 e 182.88 metros, respetivamente). Nesta mesma linha, destacam-se mais dois estudos, o de Fernandes et al. (2008), utilizando os 12.5, 25 e 50 metros (no qual foi obtida uma forte relação inversa entre a VC e o desempenho nos 100 metros livres, e entre os parciais dos primeiros 50 metros com os segundos), e ainda o de Abe et al. (2006), onde encontraram uma forte correlação entre a *performance* anaeróbia e as distâncias utilizadas (75 e 150 metros).

A investigadora Dekerle (2006) elabora um conjunto de benefícios e reflexões na utilização da VC, assumindo que a mesma oferece um grande potencial aquando do seu manuseamento em programas de treino aeróbio, permitindo uma melhor definição do treino, seja ele contínuo, ou intervalado (longo e curto). O treino contínuo (2000-3000m) e o treino intervalado (longo, com pausas diminutas) tanto na VC como abaixo da VC induz uma grande produção de ácido láctico levando a uma acumulação de  $H^+$  que irá ser tamponado e o lactato sanguíneo  $[La^-]$  que irá ser oxidado em diferentes corpos celulares.

Um exemplo deste treino intervalado longo (tipicamente extensivo), pode ser 6 a 10 repetições de 400m, nadados na VC com 15 segundos de descanso entre repetições. Na verdade, várias repetições de 400m na velocidade crítica, podem ser nadadas com valores de lactato minimamente estáveis ( $3-4 \text{ mmol.l}^{-1}$ ), desde que haja 30 a 40 segundos de descanso, de acordo com Brickley et al. (2004), citados por Dekerle (2006). Entre todas as adaptações agudas, nós podemos esperar um grande melhoramento na capacidade de tamponar e no potencial oxidativo de vários corpos celulares acima dos

musculares (Hawley et al., 1997). Este aumento na capacidade de tamponamento tem sido demonstrado que explica bem o melhoramento do desempenho em atletas treinados (Laursen & Jenkins, 2002).

O outro interesse em nadar acima da VC, centra-se na hipótese que para melhorar o  $VO_{2max}$  de atletas treinados, o  $VO_{2max}$  tem de ser solicitado por um longo período temporal (Billat et al., 2001). Deste modo, o treino intervalado “reduzido” (tipicamente intensivo) pode então aparecer neste prisma como uma das mais interessantes formas de submeter o desportista a uma carga, uma vez que permite que o tempo gasto no  $VO_{2max}$  seja até três vezes superior aos tempos registados durante um treino contínuo.

Segundo a literatura, este tipo de treino intensivo apresenta ainda outras mais valias/curiosidades, desde logo o facto de na década de 50, já ser usado pelos corredores de meio-fundo e fundo, com o intuito de otimizar a capacidade de treinar a velocidades semelhantes às de competição (Billat et al., 2001). Portanto, em natação permite nadar com variáveis como a amplitude de braçada e a frequência da mesma, a um nível muito idêntico ao que se verifica na competição (Dekerle, 2006).

O mesmo treino (intervalado, intensivo) induz uma maior solicitação lipídica para um determinado trabalho, quando comparado com um treino contínuo, principalmente sendo este uniforme (por exemplo, 15 segundos a 100% do  $VO_{2max}$  com 15 segundos de descanso, comparado com uma hora a 50% do  $VO_{2max}$ ). Consequentemente, maior será o número de adaptações fisiológicas (especialmente uma maior capacidade oxidativa das fibras musculares do tipo 2 (fibras fásicas, rápidas); menor glicose e glicogénio muscular, e uma maior dependência de lípidos para uma determinada intensidade após o treino).

Acrescente-se que de acordo com Billat et al. (2001), assim como Laursen & Jenkins (2002), foi reportado que para populações altamente treinadas, as *performances* apenas podem ser previstas utilizando um tipo de treino intervalado intensivo (com menor volume e um reduzido intervalo igualmente, como por exemplo, no primeiro estudo a relação de trabalho - descanso é de apenas 15 – 15 s). Nos mesmos estudos observou-se que após este tipo de treino ter sido submetido durante algum período, os mesmos atletas altamente treinados demonstraram que para além das claras melhorias tanto na capacidade como na potência aeróbia, também se evidenciaram ganhos na capacidade anaeróbia.

Sintetizando, com um treino intervalado adequado (longo vs curto) acima da velocidade crítica (20-30 x 100m a 110% da VC, com 30 segundos de repouso; 1 minuto a 120% da VC, com 1 minuto de repouso, num trabalho de 20 minutos) irá permitir que

o  $VO_{2max}$  (frequência cardíaca e volume sistólico muito altos) seja solicitado e mantido por longos períodos de tempo (Laursen & Jenkins, 2002; Dekerle, 2006). Ocorrem adaptações centrais e periféricas com o treino realizado a uma intensidade a rondar a VC, mas pode esperar-se que as adaptações periféricas induzidas pelo nado na velocidade crítica, e abaixo desta, sejam menos predominantes com o aumento da intensidade, tornando-se assim ainda mais importantes as adaptações centrais (Jones & Carter, 2000; Dekerle, 2006).

O treino intervalado (aplicado à natação) a intensidades semelhantes à VC, foi mencionado como sendo de grande interesse na melhoria dos potenciais aeróbios e anaeróbios dos nadadores. Para além destas adaptações fisiológicas, este tipo de treino permite nadar em ritmos muito elevados, enquanto o potencial aeróbio é desafiado (de 200 a 1500m rimo, neste caso) (Dekerle, 2006). O treino no ritmo de prova é importante, especialmente nesta modalidade, onde o custo energético (Greco & Denadai, 2005), a coordenação no nado (Toubekis, Douda & Tokmakidis, 2005), e a eficiência técnica são variáveis, dependendo da velocidade.

O treino intervalado reduzido (“*short interval training*”) permite um foco na técnica de nado, cuja variável deve ser mantida (é nesse detalhe que deve recair a atenção do nadador), como forma garantir a eficiência de nado, enquanto a fadiga vai progressivamente desenvolvendo-se durante tão longos trabalhos aeróbios, desempenhados perto da velocidade crítica (Dekerle, 2006).

De acordo com Tsalis et al. (2012), e sustentado pelos seus alunos, os treinadores podem utilizar 98 – 100% da intensidade da VC (o que aparentemente pode variar segundo a faixa etária) durante os treinos intervalados, desde que com intervalos de repouso diminutos (30 – 40 segundos), com o intuito de desenvolver a capacidade aeróbia. Neste estudo, somente ocorreram ligeiras alterações na FB e AC, o que sugere que a intensidade da VC pode também ser utilizada no treino intervalado para o desenvolvimento de uma técnica estável em termos de braçada.

Para os treinadores que querem focar-se na estabilidade técnica, fica o conselho de recorrer a séries de duração inferior a 30 minutos, ou uma intensidade menor que 98% da VC para nadadoras jovens e adultas (ex: 4 x 400m, com 30 - 40 segundos de descanso), acrescentando que para as crianças (do sexo feminino, embora possa ser transversal ao sexo masculino) devem de ser utilizadas séries inferiores a 25 minutos (4 x 300m, com 30 – 40 s repouso) ou uma intensidade menor que 100% da sua VC, evitando assim um elevado stress cardíaco (Tsalis et al., 2012).

Em termos de controlo e monitorização do treino é pertinente afirmar que o treino aeróbio tem um efeito positivo na velocidade crítica (Wakayoshi et al., 1993; Marinho et al., 2009). Em natação, MacLaren & Coulson (1999) reportaram um aumento e uma estabilização na velocidade crítica determinada através dos testes de 50, 100, 200 e 400m após um período de 8 semanas de treino aeróbio e 3 semanas de treino anaeróbio (embora haja algumas dúvidas quanto à consistência da interceção da relação d-t). Operacionalizando, tendo em conta a boa linearidade da relação (d - t), os treinadores podem tentar prever o desempenho dos seus nadadores, desde que este seja balizado entre os 2 e os 30 minutos (Dekerle et al., 2006).

Se ao abordar a questão prática, faz sentido fazer uma breve referência à acumulação de lactato, nomeadamente no treino intervalado (pois acaba por ser fundamental na interpretação dos dados). Assim sendo, Billat et al. (2001), refere que o treino intervalado realizado a velocidades a rondar a velocidade referente ao  $VO_{2max}$  (normalmente também denominada por VAM, velocidade aeróbia máxima), para além de maximizar a melhoria no  $VO_{2max}$ , pode também induzir melhorias significativas na densidade mitocondrial (Brooks, Fahey & Whyte, 1996).

Na verdade, para além destes benefícios aeróbios provenientes do treino, o treino intervalado estimula a taxa de remoção de lactato que depende diretamente da sua concentração (ou seja, quanto maior a concentração, maior será a taxa de remoção) (Brooks, Fahey & Whyte, 1996). Portanto, o treino intervalado que potencia o aumento dos níveis de lactato sanguíneo, irá também estimular uma melhoria na remoção do lactato. Por esta razão, os autores acima mencionados recomendaram atividade durante o intervalo de descanso, de modo a estimular a remoção de lactato e consequentemente evitar a acumulação do ácido láctico (como é óbvio, isto só poderá ocorrer num treino com pausas significativas).

Apesar da alta produção de lactato nestas velocidades elevadas (acima do 1º limiar), andar ou até mesmo uma corrida ligeira (“*jogging*”) nas fases de repouso (no exercício intermitente) serão atividades adequadas para estimular a recuperação oxidativa (Dennis & Noakes, 1998), na lógica de um corredor. Para Billat e seus colaboradores (2001), sugeriram que os desportistas utilizem a recuperação ativa mais do que a passiva, uma vez que não só induz e mantém o consumo do oxigénio elevado, mas também estimula a remoção do lactato embora mantendo um valor perto do estado estacionário máximo de lactato.

Após os Jogos Olímpicos de Barcelona (1992), veio a público um sistema de classificação que fornece as intensidades que se adequam a cada categoria, sistema este utilizado na preparação de Alexandre Popov (pelo seu treinador, Touretski, 1993).

**Tabela 2** - Sistema de níveis de intensidade de treino baseado no cálculo da Velocidade Crítica (Ginn, 1993)

Nível de Treino	% da VC	% de 400m máx.	Classificação Touretski
Nível 1	75 - 80%	< 75 %	A1
Nível 2	80 - 90%	75 – 85 %	A2
Nível 3	90 - 100%	85 – 95 %	LL
Nível 4	100%	100 %	MVO <sub>2</sub>
Nível 5	100 - 110%	105 %	TL/PL

Para além destes 5 níveis, Ginn (1993) sugere a possibilidade de haver um sexto nível onde o nado é realizado a uma intensidade máxima em intervalos de muito curta duração. O mesmo acrescenta que esta intensidade não é baseada na VC, mas representa a velocidade máxima, algo não muito discutido na investigação.

#### 4. Velocidade Crítica noutras modalidades

De acordo com Billat et al. (1999) o modelo de dois parâmetros (biparamétrico) foi um dos primeiros modelos fisiológicos aplicados à resistência do ser humano. Posteriormente, foi utilizado para modelar recordes mundiais desde 1965, na natação, corrida, patinagem de velocidade e ciclismo (Ettema, 1966), sendo os principais objetivos, prever *performances* e explicar os limites da resistência humana, como já tinha sido referido anteriormente.

O mesmo Ettema (1996) criou a seguinte equação para calcular a VC:  $d_{lim} = a + b \times t_{lim}$ , onde o “a” é considerado como a capacidade anaeróbia de corrida, e a inclinação “b” é a correspondente à velocidade crítica (Housh, Housh & Bauge, 1989). Este modelo já havia sido mencionado nesta revisão embora com outras variantes, e fazendo referência ao artigo de Dekerle (2006).

No que diz respeito à definição da velocidade crítica e a relação subjacente entre a distância e o tempo, adaptado à corrida, Kranenburg & Smith (1996) conferiram que a velocidade crítica é refletida no declive da reta obtida por intermédio da regressão linear

entre distâncias fixas e os respectivos tempos, considerando os esforços como sendo de máxima intensidade, tanto em pista de competição como em tapete rolante/ passadeira.

Ainda na corrida, e apenas três anos mais tarde, Hill & Ferguson (1999) fazem referência ao modelo hiperbólico (relação entre intensidade (neste caso, velocidade) e tempo até exaustão (TTE)), descrito por Moritani et al. (1981) [ $TTE = CTA \times (Velocidade - VC)^{-1}$ ]. Contudo, os mesmos (Hill & Ferguson, 1999) comprovaram que tal como a relação entre intensidade e TTE pode servir ao modelo hiperbólico, a relação entre intensidade e tempo para atingir o  $VO_{2max}$  (TTmáx) também pode. Assim, temos a relação traduzida da seguinte forma: [ $TTmáx = CTA' \times (Velocidade - VC')^{-1}$ ]. A sigla  $VC'$  representa a mais elevada intensidade de exercício submáximo, que pode ser sustentada sem a indução do  $VO_{2max}$ , e a sigla  $CTA'$  representa a quantidade de trabalho realizado anaerobiamente antes do  $VO_{2máx}$  ser atingido. No mesmo estudo registou-se um  $VC$  média de  $238 \text{ m/min}^{-1}$  ( $14.3 \text{ km/h}^{-1}$  ou  $3,97 \text{ m/s}$ ), que representou 88% da  $Vmáx$  (velocidade na qual o  $VO_{2max}$  foi induzido).

Segundo uma das especialistas do tema (Billat et al., 2001), a velocidade crítica é conhecida por estar acima do Estado Estacionário Máximo de Lactato e por ser mantida durante uns 30 minutos, sensivelmente (Pepper, Housh & Johnson, 1992), e é a velocidade acima daquela em que os corredores alcançam o  $VO_{2máx}$ , com o prolongar do exercício (Gaesser & Poole, 1996).

Está constatado que a  $VC$  representa o limite superior do domínio pesado (como já foi mencionado), sustentando tal afirmação nos resultados de Smith & Jones (2001) e Pringle & Jones (2002), em testes realizados a adultos tanto em corrida como em ciclismo.

Acima da  $VC$ , derivado à ocorrência da componente lenta, o  $VO_{2máx}$  deve ser atingido. Os trabalhos de Hill (Hill & Ferguson, 1999; Hill, Poole & Smith, 2002) vieram corroborar esta definição, tanto em ciclismo como em corrida. Segundo Dekerle (2006), estes mesmos resultados não foram verificados diretamente na natação, contudo estão em linha com várias descobertas reportadas na literatura.

À imagem do que foi mencionado acima relativamente à natação, também noutras modalidades se utiliza por vezes o recorde pessoal nas distâncias (ou o melhor da última época por exemplo), como utilizado por Billat et al. (2001) em corrida, com os 3, 5 e 10 Km.

No mesmo estudo (Billat et al., 2001), aferiram que para corredores com meia idade (+/- 52 anos), a  $VC$  correspondeu a 85,7% do  $VO_{2máx}$ , e que posteriormente utilizou

a variável VC como velocidade de referência no treino intervalado. A velocidade crítica registada foi de 13.6 km/h (3.77 m/s).

Alguns autores, como foi o caso de Denadai et al. (2003), realizaram testes para a averiguar a VC, mas após programas de treino. Um dos objetivos passava por verificar se haviam diferenças significativas após esse período de treino, o que posteriormente se veio a registar. Para os testes, foi seguido o protocolo de Hill (2001), no qual eram realizados dois testes numa pista de 400 metros, as distâncias de 1500 m e os 5000 m (ritmo de prova, numa simulação da mesma). Antes dos treinos específicos para potenciar a capacidade aeróbia, a VC média foi de 16.97 Km/h (4.71 m/s), a 95% do  $VO_{2máx}$ . Após os treinos, a VC subiu para os 17.25 Km/h (4.79 m/s), também para 95% do  $VO_{2máx}$ . É importante referir que se tratavam de atletas já treinados, todos eles ( $n = 8$ ) em provas de fundo.

Na década de 60, por Ettema (1966) foram abordados quase primordialmente algumas modalidades, entre eles estavam os corredores, e o primeiro valor alvo fruto dos seus estudos para estes desportistas era de uma velocidade de 5.80 m/s (na corrida, naturalmente), aparentemente uma “velocidade crítica máxima que pode manter-se durante um longo período”.

Tal como abordado no tópico da VC relacionado com a natação, existem estudos que demonstram que tendo o conhecimento da equação respetiva da relação  $d - t$ , é possível prever a performance tanto em remo (Kennedy & Bell, 2000; Kendall et al., 2011), em natação (Wakayoshi et al., 1992), em triatlo (Zaryski et al., 1994), e claro, em corrida (Pepper, Housh & Johnson, 1992; Kranenburg & Smith, 1996; Kachouri et al., 1996; Florence & Weir, 1997).

Neste último estudo mencionado (Florence & Weir, 1997), foi calculada a VC, para corredores que iriam efetuar uma maratona, como tal seguiram um protocolo de passadeira similar ao utilizado por Housh et al. (1991), e por Pepper, Housh & Johnson, (1992). Resumidamente, os sujeitos realizaram uma série ordenada aleatoriamente de quatro corridas/testes na passadeira, a velocidades variando entre os 3.6 e os 6.0  $m.s^{-1}$  (para cada velocidade os sujeitos aqueceram durante 5 minutos, a uma velocidade de 1.6  $m.s^{-1}$ , sem inclinação). Posteriormente, o teste começa a contar quando a velocidade já está inserida corretamente, e quando o sujeito já se habituou à velocidade (podendo neste instante tirar as mãos dos suportes laterais). O tempo é cronometrado e finaliza o teste (e o respetivo tempo), quando há uma exaustão “voluntária” (ponto máximo de incapacidade para continuar), assumida pelo participante, apoiando-se neste instante nos suportes

laterais da passareira. Também inserido no protocolo está o tempo de descanso entre corridas (20 minutos mínimo), tempo este que permite que a frequência cardíaca desça a barreira dos 100 bat.m<sup>-1</sup> (Florence & Weir, 1997).

Para cada corrida foi calculada o total de metros percorridos ( $d_{lim}$ ), como o produto da velocidade da passareira e o tempo limite do teste ( $t_{lim}$ ). Com base nas quatro corridas efetuadas, a velocidade crítica (VC) e a capacidade anaeróbia de corrida (*anaerobic running capacity*, ARC), foram determinadas pela inclinação da reta (VC) e pela interseção no eixo dos yy (ARC). As análises de regressão linear simples, separadamente para cada uma das variáveis de predição, presentes no estudo, mostraram que a velocidade crítica aparece correlacionada mais significativamente com o tempo da maratona ( $r^2 = 0.76$ ), do que propriamente com o  $VO_{2pico}$  ( $r^2 = 0.51$ ), ou até mesmo do que com o limiar ventilatório ( $r^2 = 0.28$ ). A velocidade crítica (4.43 m.s<sup>-1</sup>,  $p = 0.48$ ) foi significativamente superior do que a velocidade na qual ocorreu o limiar ventilatório (4.04 m.s<sup>-1</sup>,  $p = 0.48$ ), e ambas apresentaram valores significativamente superiores do que os valores de velocidade da maratona (3.07 m.s<sup>-1</sup>,  $p = 0.35$ ).

Na análise dos resultados, os autores (Florence & Weir, 1997) exprimem-se quanto à diferença entre a teoria e a prática. Em concreto, referem-se à “velocidade que pode ser mantida indefinidamente” (velocidade crítica), como sendo um conceito que peca por padecer de uma predição excessiva, uma vez que habitualmente os sujeitos só conseguem manter um ritmo de corrida a uma velocidade igual à VC por menos de 30 minutos (Housh et al., 1991; Pepper, Housh & Johnson, 1992; Florence & Weir, 1997). Estes últimos, e autores do artigo, sugerem que a forte correlação entre a VC e o tempo da maratona ( $r^2 = 0.76$ ), pode ser um indicador de que o parâmetro “velocidade crítica” engloba informações que são um reflexo das capacidades de um indivíduo para realizar exercícios de resistência prolongados. O que de certa forma vem em consonância com o publicado por Hill (1991), sugerindo que a potência crítica/velocidade crítica refletem as capacidades do metabolismo aeróbio de cada sujeito.

Já muito recentemente, por Galbraith et al. (2014), a velocidade crítica (em corrida) foi testada tanto em pista como em passareira, com resultados convincentes e estatisticamente significativos em determinados parâmetros. De uma forma muito sintética, o teste no laboratório consistiu na realização de 3 corridas até a exaustão (24h intervalo entre cada), a 100%, 105 % e 110% da VAM (Velocidade Aeróbia Máxima) em passareira. Os testes em pista envolveram 3 corridas máximas (3600 m, 2400 m e 1200

metros), com 30 minutos de recuperação, mas também foi testado com 60 minutos de recuperação entre testes (os três testes no mesmo dia).

Não houve diferença significativa entre a velocidade crítica medida com a passadeira e a que foi medida no campo (seja com 30 min ou com 60 min de recuperação) ( $p < 0.05$ ). A análise dos dados demonstrou que a VC da passadeira estava altamente correlacionada com a VC de campo, com 30 min ( $r = 0.89$ ) e com 60 min ( $r = 0.82$ ). Contudo verificou-se uma diferença e sem correlação na máxima distância percorrida acima da VC, entre o teste na passadeira e o de campo (30 min –  $r = 0.13$ ; 60 min –  $r = 0.33$ ).

Esta comparação foi realizada pela primeira vez, tornando este modelo mais ecológico, por haver uma aproximação à realidade dos corredores, logo é importante perceber os erros de estimativa e os coeficientes de variação para futuros testes do género. O erro de estimativa de 0.14 m/s (com 95% de confiança, os limites encontravam-se entre os 0.09 e os 0.26 m/s) foi registado na VC e a marca de 88 metros (com os mesmos 95 % de confiança, os valores balizaram-se entre os 60 m e os 169 metros) para a máxima distância percorrida acima da VC. Foi encontrado um coeficiente de variação de 0.4% (0.3 – 0.8%) para os testes repetidos da VC e um de 13% para a máxima distância percorrida acima da VC (10 – 27%). Com estes testes e consequentes resultados, evidenciou-se que o método de uma única visita ao campo é uma medida alternativa muito útil para descobrir a velocidade crítica (em comparação com a “tradicional” protocolo na passadeira de tempo até exaustão e que implica várias visitas) (Galbraith et al., 2014).

Correr (equiparando a outras modalidades) a velocidades inferiores à VC significa que o consumo de oxigénio é inferior ao máximo. Posteriormente, isto não pode ser compensado, mesmo que correndo mais rapidamente, não podendo o oxigénio ultrapassar o máximo. Será necessária energia extra, que será retirada da reserva apenas (Débito de oxigénio). Em suma, segundo Ettema (1966), e pelo previamente referido, é de extrema importância manter uma velocidade nunca inferior à VC (claro que deve de ser contextualizado às necessidades de cada desportista).

No artigo de Kennedy & Bell (2000), referido anteriormente, foi abordada a estimativa da velocidade crítica mais assertiva para a predição de velocidade durante uma simulação de 2000 metros em remo [num ergómetro, *Concept II Model C rowing machine* (Concept II Inc., Morrisville, VT, U.S.A.)] e a relação com a potência aeróbia, através da utilização de 3 meios distintos: (a) Modelo linear distância-tempo [ $d = CV (t) + CTA$ ]; (b) Modelo linear velocidade-1/ tempo [ $v = (CTA / t) + CV$ ]; (c) Modelo não linear

velocidade-tempo [ $t = CTA / (v - CV)$ ]. Um total de dezesseis remadores realizaram aleatoriamente alguns testes máximos (200, 400, 600, 800, 1000 e 1200 metros), sendo estas distâncias posteriormente categorizadas como curtas (200, 400, 600 e 800 m), médias (400, 600, 800 e 1000 m) e longas (600, 800, 1000 e 1200 m). Em seguida apresento uma tabela com os resultados da estimativa da VC, em cada modelo e categoria.

**Tabela 3** - Estimativa da VC em remo (Kennedy & Bell, 2000)

<b>Modelo</b>	<b>Distâncias Curtas</b>	<b>Distâncias Médias</b>	<b>Distâncias Longas</b>
<b>Modelo linear distância - tempo</b>	$5.1 \pm 0.2 \text{ m.s}^{-1}$	$4.9 \pm 0.3 \text{ m.s}^{-1}$	$4.8 \pm 0.3 \text{ m.s}^{-1}$
<b>Modelo linear velocidade<sup>-1</sup> / tempo</b>	$5.3 \pm 0.2 \text{ m.s}^{-1}$	$5.0 \pm 0.3 \text{ m.s}^{-1}$	$4.8 \pm 0.3 \text{ m.s}^{-1}$
<b>Modelo não linear velocidade - tempo</b>	$5.0 \pm 0.3 \text{ m.s}^{-1}$	$4.8 \pm 0.2 \text{ m.s}^{-1}$	$4.7 \pm 0.2 \text{ m.s}^{-1}$

Através dos testes foi possível concluir que a estimativa da VC foi um método preciso para prever a velocidade a *performance* numa prova de 2000 metros remo. Se por um lado o modelo não linear foi o que teve menor diferença significativa na estimativa para os 2000 m remo reais, por outro foi este modelo que produziu os valores mais conservativos, em termos de estimativa da velocidade crítica, em comparação com os outros modelos, sugerindo que este modelo não linear (velocidade - tempo) pode prever a atual velocidade de desempenho, numa ótica mais “defensiva” (Kennedy & Bell, 2000).

Uns anos passados, e por intermédio de Kendall et al. (2011), a investigação centrou-se novamente num ergómetro simulando o gesto técnico do remo [*Concept II Model D rowing machine*]. Os sujeitos, neste caso do sexo feminino, separados por dois grupos [mais experientes (mais de um ano de prática) vs menos experientes] realizaram quatro testes na máxima intensidade para obter o valor da velocidade crítica. Os testes consistiam na consumação de quatro distâncias diferentes: 400, 600, 800 e 1000 metros (realizados em contrarrelógio, sempre com aquecimento de 1000 metros e distribuídos em dois dias). A distância e o respetivo tempo de cada participante foram registados. O esquema é idêntico ao de Kennedy & Bell (2000), e foi utilizado um software (LabView v8.2) para realizar a regressão linear, e equação formada:  $TD = ARC + CV \times t$  (TD – distância total, ou seja, velocidade x tempo; ARC – capacidade anaeróbia da “remada”; t – tempo para exaustão).

A velocidade crítica combinada (dos dois grupos) foi de  $4.01 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \pm 0.13$ , sendo distribuída da seguinte forma: - VC relativa aos mais experientes foi de  $4.06 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \pm 0.15$ ; - VC dos menos experientes foi  $3.95 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \pm 0.08$ . Para o grupo de remadoras mais experientes, o  $\text{VO}_{2\text{max}}$ , o *output* da potência no limiar ventilatório, o pico desse mesmo *output* mecânico e também a velocidade crítica, todos demonstraram estar correlacionados com a performance dos 2000 metros ( $p \leq 0.007$ ), e o  $\text{VO}_{2\text{max}}$  assumindo-se como a variável mais determinante (melhor preditor), com 84.3% de variância. Este resultado vai ao encontro dos dados recolhidos e analisados por Cosgrove et al. (1999), em remadores do sexo masculino, no qual foi verificado que o  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  era o melhor preditor de contrarrelógio para o remo, explicando 72% da variação do desempenho dos 2000 metros em remo.

Para os remadores mais inexperientes todas as variáveis fisiológicas (adicionando a ARC) estavam significativamente correlacionadas com a *performance* dos 2000 metros, sendo a velocidade crítica o elemento com mais peso, explicando 50.4% da variância.

Embora seja um dado praticamente adquirido, sabe-se que a potência aeróbia é um forte fator na predição da performance de remadores bem treinados (Yoshiga & Higuchi, 2003), contudo a estimativa da velocidade crítica pode fornecer uma alternativa prática aos tradicionais testes de  $\text{VO}_{2\text{max}}$  para treinadores aquando da determinação da capacidade cardiorrespiratória (sobretudo em desportistas menos treinados, mais inexperientes) (Kendall et al., 2011).

Também por intermédio de Kendall e seus colaboradores (Kendall et al., 2012), e aparentemente com os mesmos dados do ano transato, uma vez que foram realizados testes em remadoras de forma a predizer a capacidade aeróbia máxima ( $\text{VO}_{2\text{máx}}$ ), em função dos resultados dos testes da velocidade crítica (como no anterior). Os testes para averiguar a VC foram os mesmos utilizados em Kendall et al. (2011) (inclusive o material), ou seja, quatro testes em contrarrelógio, distribuídos em dois dias diferentes, da seguinte forma: 400 + 1000 m (1º dia), 600 + 800 m (2º dia), com os testes do mesmo dia a serem separados por 15 minutos de recuperação passiva.

Foi observada uma correlação positiva e estatisticamente significativa entre a velocidade crítica e o valor absoluto do consumo máximo de oxigénio ( $r = 0.775$ ,  $p < 0.001$ ) e entre o ARC e o mesmo valor absoluto de  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  ( $r = 0.414$ ,  $p = 0.040$ ). A VC foi o melhor preditor da máxima capacidade aeróbia, explicando 58% da variação. Digase de passagem, que o acréscimo da ARC (componente anaeróbia) melhorou o modelo, explicando 71% da variação do  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ . Deste modo foi criada uma equação para predizer

o valor absoluto de  $VO_{2m\acute{a}x}$ , a partir dos dados da velocidade crítica e da capacidade anaeróbia da remada [*Absolute*  $VO_{2m\acute{a}x} = 1.579 (VC) + 0.008 (ARC) - 3.838$ ,  $SEE = 0.161 L.min^{-1}$ ], sendo SEE o erro padrão de estimativa.

O teste de Velocidade Crítica, que fornece medidas aeróbias (VC) e anaeróbias (ARC) é baseado na relação linear entre a totalidade do trabalho realizado e o tempo até exaustão (Monod & Scherrer, 1965). Este teste foi adaptado por McDowell et al. (1988), substituindo o total do trabalho pela totalidade da distância percorrida (modelo linear distância-tempo), fazendo com que os testes de velocidade crítica pudessem ser aplicados em modalidades como a natação e o remo (Kennedy & Bell, 2000; Wakayoshi et al., 1992).

Ainda na década de 80, por Housh, Housh & Bauge (1989), foi de forma quase pioneira, utilizado um teste de potência crítica (PC) para prever o tempo até exaustão num cicloergómetro (bicicleta ergométrica). Basicamente foram realizadas umas repetições para a PC, e alguns testes para perceber qual o tempo limite/tempo até exaustão efetivo/real. Estes respetivos testes consistiam no seguinte regime protocolar: PC – 20%; PC; PC + 20%; PC + 40%; PC + 60%. A precisão do teste da PC para estimar o tempo até exaustão durante o manuseamento de uma bicicleta ergómetra (*Monarch*) foi determinada pela comparação entre o tempo até exaustão real ( $AT_{LIM}$ ), e o tempo até exaustão predito ( $PT_{LIM}$ ), utilizando coeficientes de correlação, erro padrão de estimativa e consequentes testes t (Housh, Housh & Bauge, 1989).

Os resultados demonstraram que não houve diferenças significativas ( $p > 0.05$ ) entre o  $AT_{LIM}$  e o  $PT_{LIM}$  para uma potência superior à potência crítica (PC + 20%; PC + 40%; PC + 60%). No entanto, ao analisar a curva de potência, é indicado que o teste de potência crítica estima por exagero (por cima) a carga de potência que supostamente pode ser mantida por 60 minutos ( $\pm 17\%$ ). Na repetição inferior à VC (VC – 20%;  $156 \pm 35$  W), 13 dos 14 sujeitos foram capazes de cumprir uma hora de exercício. Na carga correspondente à PC ( $191 \pm 39$  W), os sujeitos conseguiram manter o exercício durante 33.31 minutos (média, com desvio padrão de 15.37 min).

Os testes para averiguar a potência crítica (usando uma ligeira modificação do descrito por Moritani et al., 1981) foram realizados em quatro repetições dinâmicas, variando (em função do nível de “habilidade” física do sujeito) entre 172 a 360 W (Watts). É importante referir que entre repetições [duas por sessão e mais de 24h entre sessões, tal como comprovámos nos testes de remo ergómetro (Kennedy & Bell, 2000; Kendall et al., 2011; Kendal et al., 2012)] houve um repouso passivo até que o ritmo cardíaco se

aproximasse do valor basal, pré exercício (numa amplitude de 10 batimentos/minuto, o que representou pelo menos uma meia hora de descanso) (Housh, Housh & Bauge, 1989).

O aquecimento consistiu em pedalar durante 4 minutos com uma resistência de 34 W. Após 2 minutos de repouso, os sujeitos tinham de começar a pedalar com um ritmo consistente (70 rotações por minutos, rpm) sem resistência. A resistência adequada era colocada após os primeiros 2-3 segundos de exercício, e o sujeito tinha de manter-se nas mesmas rpm, nunca descendo das 65 rpm (quando isso acontecesse o teste acabava). O tempo limite de cada teste foi registado e o total de trabalho realizado foi calculado pelo produto entre a carga imposta e o tempo limite (até exaustão).

Os resultados indicaram que o real valor da PC ( $197 \pm 39$  W) foi significativamente superior ao valor estimado ( $164 \pm 32$  W), que correspondeu a 83% da potência crítica, no entanto, estavam altamente correlacionadas ( $r = 0.912$ ,  $SEE = 12$  W).

Foi mostrado que na realização de séries exaustivas num cicloergómetro a 90 ou 120% do  $VO_{2máx}$  e durante menos de meia hora, ocorre uma depleção de aproximadamente 30% no glicogénio armazenado no músculo (Saltin & Karlsson, 1971). Estas evidências sugerem que a altas cargas de potência, como aquelas encontradas acima da potência crítica, a disponibilidade do substrato de energia na forma de glicogénio muscular não limita o exercício de *endurance*. É possível que a fadiga muscular em cargas de potência superiores à potência crítica, ocorram pela acumulação de ácido láctico ( $[La^-]$ ) ou pela depleção da creatina fosfato (PCr) (Housh, Housh & Bauge, 1989).

Tanto Ribeiro et al. (1986) como Stegmann & Kindermann (1982) demonstraram que o cicloergómetro pode ser mantido durante pelo menos 40 a 50 minutos, com níveis de lactato de 4 a 5  $mmol.l^{-1}$ . No estudo de Housh, Housh & Bauge (1989), os sujeitos foram capazes de manter a potência crítica durante uma média de apenas  $33.31 \pm 15.37$  min (variação entre os 18.42 – 60 min), sendo que dos 14 sujeitos apenas 3 conseguiram cumprir uma hora de trabalho. Como já foi referido a PC estima em excesso, por assim dizer, a intensidade do exercício que pode ser mantido por 60 min (o excesso na estimativa é de aproximadamente 17%) (Housh, Housh & Bauge, 1989). Logo, os mesmos autores sugerem que a potência crítica corresponde a uma potência substancialmente superior ao limiar láctico.

Também em ciclistas, por intermédio de Pringle & Jones (2002), foram estudadas um conjunto de variáveis (MLSS ou EEML, PC e EMG), diversificando algumas análises das encontradas na literatura, tal como o facto da potência referente ao MLSS ser considerado o limite superior do domínio pesado de intensidade (e não a Potência Crítica),

em ciclismo. No mesmo estudo, e podendo absorver este valor como padrão, a PC foi de 242 W, e em contrapartida foi de 222 W (a PC foi significativamente superior à potência do MLSS (P-MLSS)). Apesar disto, os dois valores de potência (PC vs potência-MLSS) estavam altamente correlacionados ( $r = 0.95$ ). Adicionalmente, a PC ocorreu a uma percentagem mais elevada de potência em termos de  $VO_{2m\acute{a}x}$ , do que a potência do MLSS (PC 71% vs P-MLSS 65%;  $p < 0.05$ ). Neste estudo ficou ainda evidenciado que para ciclistas, pedalar a 20 watts acima do P-MLSS (portanto, perto do valor da potência crítica, o lactato sanguíneo, o consumo de oxigénio e ainda a ventilação, elevaram-se todos de forma significativa com o tempo).

No estudo de Pringle & Jones (2002), foi utilizado um cicloergómetro (*Ergoline, Jaeger, Germany*), sendo necessárias 9 sessões para o completar. No que diz respeito à VC, foram realizados 4 testes (um em cada sessão), e com dados referentes ao  $VO_{2m\acute{a}x}$  (proveniente de um teste incremental), os sujeitos realizaram esforços até a exaustão, com a potência calculada em função do  $VO_{2m\acute{a}x}$ , de modo a que esta requisitasse valores entre os 50% e os 110% (com a obrigatoriedade de um teste ser na potência calculada que permita um esforço equivalente aos 100% do  $VO_{2m\acute{a}x}$ ). A VC foi calculada através do modelo linear da potência vs 1/tempo limite, e de acordo com os critérios e metodologias seguidas, o esforço dos 4 testes encontrou-se balizado entre os 2 e os 15 minutos (metodologia distinta da realizada por Housh, Housh & Bauge, 1989).

Alguns dados experimentais sugerem que a potência crítica ou velocidade crítica, e a potência/velocidade do MLSS são coincidentes, dados apresentados para ciclismo (Poole et al., 1988; Poole, Ward & Whipp, 1990; Vanderwalle et al., 1997) e natação (Wakayoshi et al., 1993). Em contraste, um conjunto de estudos indica que a PC ou VC não pode ser mantida mais do que aproximadamente 10-30 minutos, presumivelmente devido à acumulação muscular e sanguínea ( $[La^-]$  e  $[H^+]$ ) (Housh, Housh & Bauge, 1989; Jenkins & Quigley, 1990; Housh et al., 1991; Pepper, Housh & Johnson, 1982). Para a corrida, a VC e a velocidade no MLSS ( $V_{MLSS}$ ) demonstraram ser similares (Sid-Ali et al., 1991; Smith & Jones, 2001).

Acabam por ser escassos os estudos que procuram validar um teste de VC/PC em meio próprio (pista, estrada, etc) que não num cicloergómetro, e, portanto, os dados referentes ao estudo de Karsten et al. (2015), tornam-se uma referência e o seu(s) protocolo(s) um padrão de orientação. Neste estudo foi comparada a potência crítica (PC) determinada em laboratório, com a modelada proveniente dos esforços máximos realizados num velódromo, em testes de 12, 7 e 3 minutos (diferentes protocolos).

Em laboratório foi realizado um teste incremental no cicloergómetro para obter o  $VO_{2máx}$  e a PAM (Potência Aeróbia Máxima). Posteriormente foi calculada a PC através de 3 testes até a exaustão (1º a 80% da PAM; 2º a 100% da PAM; 3º a 105% da PAM), com 30 minutos entre testes, tal como fundamentado por Galbraith et al. (2014).

A PC no velódromo foi obtida através de diferentes protocolos. O primeiro consistiu na realização de 3 esforços máximos (no mesmo dia, com 30 minutos de recuperação, passiva ou ativa, numa intensidade reduzida) de 12, 7 e 3 minutos, respetivamente. Já o segundo protocolo, foi organizado em 9 dias distintos, realizando esforços máximos [3, 7 e 12 minutos (três vezes cada), numa ordem aleatória um teste em cada dia, com 24h descanso]. Naturalmente que cada teste e que cada série proporcionava uma PC diferente, sendo todas elas testadas quanto à sua validade e fiabilidade posteriormente. Por último, o terceiro protocolo resumiu-se à extração do maior valor de potência mecânica gerada em cada um dos esforços máximos (das séries), tendo assim o maior valor em 3', 7' e em 12 minutos, e respetivos dados.

Em termos de resultados relativos à concordância entre os valores obtidos no laboratório e os do velódromo, verificou-se que os valores de PC estavam significativamente correlacionados ( $p \leq 0.01$ ). Os testes no laboratório (tempo até exaustão), tiveram a duração de 667 segundos ( $\pm 176$ ), 256 s ( $\pm 105$ ) e 143 s ( $\pm 44$ ), para os 80, 100 e 105% da PAM, respetivamente. O teste t de amostras emparelhadas não demonstrou qualquer diferença significativa entre os valores do laboratório e os do velódromo, para todas as experiências/ protocolos ( $p > 0.05$ ). Contudo, foram encontradas diferenças significativas entre os valores do laboratório (cicloergómetro) e os do velódromo (nos protocolos 2 e 3), para a variável  $W'$  [definido por Ferguson et al. (2010) como a capacidade que o desportista tem em realizar esforços/exercício sob níveis crescentes de fadiga, causados pela sua própria utilização]. Os limites de concordância para o protocolo 1, 2 e 3 balizaram-se entre os 26 – 29 W, 32 – 53 W e 34 – 44 W, respetivamente.

Ainda dentro dos resultados (quanto à fiabilidade dos protocolos experimentais), e através da ANOVA para medidas repetidas, evidenciou-se a inexistência de diferenças significativas na potência crítica entre testes, dentro de cada protocolo. Os coeficientes de variação para os 3 protocolos foram de 2.2 – 2.5% (protocolo 1), 5.9 – 7.0% (protocolo 2) e de 3.3 – 3.6% (protocolo 3). O coeficiente de correlação intra classe (ou ainda, quociente de reprodutibilidade, R) para a PC de todos os protocolos experimentais, variou entre 0.96 e 0.99 (95% coeficiente de correlação intra classe, 0.90 – 0.99). Ainda um

aparte, para referir que a média do erro padrão de estimativa (no laboratório) para a PC foi de  $5 \pm 3.07$  Watts. O valor referente à média da PC registado no velódromo foi de 277 ( $\pm 38$ ), 271 ( $\pm 44$ ), 276 ( $\pm 46$ ), nos protocolos 1, 2 e 3 respetivamente. Estes resultados são, apesar de entre eles todos idênticos em termos estatísticos, diferentes aos demais estudos relatados nesta revisão, apresentando valores de potência ligeiramente superiores.

Fundamentalmente, através deste estudo percebeu-se o bom nível de concordância entre o método mais tradicional de descobrir a potência crítica (em laboratório, num cicloergómetro) e o método mais ecológico, num velódromo (para todos os protocolos experimentais). Além desta constatação, a PC do laboratório demonstrou estar altamente correlacionada com a PC obtida nos testes em pista, com os protocolos seguidos a terem genericamente uma elevada reprodutibilidade teste/ re-teste (Karsten et al., 2015), e já anteriormente mencionado pelo mesmo grupo de trabalho, num outro artigo de Karsten et al. (2014), dando uma ideia do que pode e deve ser procurado nas restantes modalidades cíclicas, ao aproximarem os testes da VC/PC do contexto do treino e da competição.

## **5. Velocidade Crítica Intermitente**

Nos últimos anos, a velocidade crítica (de dois parâmetros) derivada do conceito original de potência crítica, tem vindo a ser cada vez mais utilizada como um método para proporcionar a individualização do treino. Como já foi visto, a VC é descrita como o limite da intensidade no qual acima deste o  $VO_{2m\acute{a}x}$  é alcançado (Hill & Ferguson, 1999), enquanto a intersecção no eixo dos Y's ( $W'$ ) é definida como a reserva finita de energia proveniente dos compostos fosfato de alta energia, da componente anaeróbia glicolítica e do armazenamento de oxigénio (Poole et al. 1988).

Em alternativa, ou em conjunto,  $W'$  pode estar relacionada à obtenção de uma concentração crítica de um ou mais substratos ou metabolitos que têm sido associados à fadiga muscular (Jones et al. 2008). Foi igualmente proposto, que durante o exercício efetuado acima da VC, a exaustão é atingida quando a  $W'$  é totalmente utilizada, permitindo assim a estimativa da duração do exercício ( $t_{lim}$ ) (Housh et al. 1989; Pepper et al. 1992; Jones et al. 2010).

O modelo da VC e/ou PC tem sido aplicado tanto para exercícios contínuos como para intermitentes, até a exaustão (Dupont et al., 2002; Berthoin et al., 2006; Buchheit et al., 2008; Fukuda et al., 2011; Okuno et al., 2011; Chidnok et al. 2012; Fukuda et al., 2012; Soares-Caldeira et al. 2012), demonstrando respostas fisiológicas idênticas,

independentemente da condição do exercício (contínuo ou intermitente) (Berthoin et al. 2006; Soares-Caldeira et al. 2012).

No entanto, Aguiar et al. (2012) sugere que a VC aplicada a exercícios intermitentes [velocidade crítica intermitente (VCI)] possa ter uma vantagem em relação à VC quando o propósito é o treino, desde que estudos recentes têm vindo a evidenciar que exercício intermitente de alta intensidade pode induzir aumentos superiores no  $VO_{2\text{máx}}$  comparativamente ao exercício contínuo, provavelmente devido à maior duração do exercício e tempo despendido a uma elevada percentagem de  $VO_{2\text{máx}}$  (Midgley, Mc Naughton & Wilkinson 2006). Deste modo, a VCI pode ser uma ferramenta útil no planeamento de sessões de treino intermitente individualizado, baseado em intensidades (como acima da VCI) que fornecem um maior tempo gasto perto do  $VO_{2\text{máx}}$  (Aguiar et al., 2012).

Inúmeros estudos tentaram comparar diferentes combinações de volume, intensidade e duração dos intervalos de trabalho (e conseqüente repouso), relativamente ao tempo despendido perto ou mesmo incidindo no  $VO_{2\text{max}}$  (Billat, 2001; Dupont et al., 2002; Millet et al., 2003a; Millet et al., 2003b). Contudo, nenhum estudo mostrou a eficiência do exercício intermitente de alta intensidade com intervalos de trabalho:repouso de 30s:15s, em que o exercício possa começar a uma intensidade superior e que após alguns intervalos de trabalho (exercício), o trabalho referente à potência/intensidade de cada intervalo de trabalho possa ser reduzido a um nível mais diminuto, e constante (veja-se por exemplo o trabalho de Aguiar et al., 2012, explorado posteriormente).

Esta perspetiva parece ser interessante, uma vez que difere da restante literatura, e também porque esta esquematização potenciará uma aceleração da resposta do  $VO_2$ , diminuindo o tempo necessário para alcançar o  $VO_{2\text{max}}$ , que por sua vez otimizará a tolerância durante o exercício subsequente, prolongando o tempo de atividade perto do  $VO_{2\text{max}}$  (após uma ligeira redução no output mecânico produzido) (Jones et al. 2008).

Se por um lado é verdade que o desempenho aeróbio é principalmente determinado pelo  $VO_{2\text{pico}}$ , custo energético de “corrida”, ou velocidade no limiar láctico/ventilatório, tanto para exercícios contínuos como intermitentes, por outro, estes últimos contêm alguns fatores adicionais como os ajustes entre a produção de energia e as necessidades energéticas no início do exercício, uma mais rápida recuperação e ainda uma maior capacidade anaeróbia, assumindo-se igualmente como fatores que podem influenciar a *performance*.

Em termos de conjugação da VCI com o consumo de oxigénio, é de enaltecer a sugestão de Aguiar et al. (2012), que incide na utilização da VCI (associada a uma estratégia que implique uma partida rápida) como sendo um marcador fisiológico útil no planeamento individualizado de sessões de treino (de corrida) intermitente, para que o  $VO_2$  possa ser mantido por um período mais prolongado semelhante ao  $VO_{2máx}$ .

Protocolarmente, há sempre uma relação entre trabalho e repouso, onde este último referido (Aguiar et al., 2012) distingue-se de alguns antecessores, este por utilizar um rácio de 2:1 (30:15 segundos), e os demais ao recorrer a rácios de 1:1, tendo sido utilizados 15 segundos de intervalo (Dupont et al., 2002; Berthoin et al., 2006; Fukuda et al., 2011), 30 segundos (Buchheit et al., 2008; Okuno et al., 2011; Soares-Caldeira et al., 2012), e ainda 10 segundos (Fukuda et al., 2012).

Por intermédio de Berthoin et al. (2006), foi registada uma relação estatisticamente significativa entre a VC e a VCI ( $r^2 = 0.86$ ,  $p < 0.001$ ), assim como entre a VC, o  $VO_2$  pico e a VAM, numa amostra exclusivamente centrada em crianças pré-pubertárias. Como tal, é sugerido que: a) o modelo de “velocidade crítica” possa ser aplicado com sucesso em crianças, com exercícios intermitentes; b) permite a estimativa da *performance* das crianças em exercícios intermitentes, com uma vasta gama de intensidades durante um esforço intermitente específico (15 s em exercício, intercalado com 15 s de recuperação passiva); c) tanto a VC, como a VCI (embora esta em menor medida) são bons indicadores da capacidade aeróbia. Para além da VCI (ou neste caso, PCI – potência crítica intermitente), de acordo com Okuno et al. (2011), também o limiar de esforço percecionado e o MLSS (estimado por um exercício intermitente) podem ser considerados parâmetros aeróbios para esforços intermitentes.

Na operacionalização dos testes para a conceção desta dissertação, foram utilizados dados referentes a diferentes escalões etárias, o que também vem distinguir dos demais estudos. Por exemplo, Dupont et al. (2002) incidiram os seus estudos em adultos, obtendo informações relevantes para a contextualização da VCI, nomeadamente a revelação de que esta variável (VCI) representa 104% da VAM (em adultos), não muito diferente dos 109% da VAM encontrados por Berthoin et al. (2006) (em crianças).

Num estudo de Aguiar et al. (2012), verificou-se um valor da VCI relativamente reduzido (93.5% da VAM), quando comparado com a restante literatura (alguma já referenciada), na qual os seus valores eram sempre aproximados ou até acima da Velocidade Aeróbia Máxima (Dupont et al., 2002; Berthoin et al., 2006; Buchheit et al., 2008; Fukuda et al., 2011; Okuno et al., 2011; Soares-Caldeira et al., 2012; Fukuda et al.,

2012). Esta diferença entre os valores relativos de VCI, justifica-se provavelmente pelo maior rácio (trabalho:repouso) utilizado no estudo de Aguiar et al. (2012), que acabaram por ser próximos dos valores reportados por Billat, Koralsztein & Morton (1999) e ainda por Hill & Ferguson (1999), com a variante de que o exercício era contínuo (VC) (83.3 e 89% da VAM, respetivamente) (Aguiar et al., 2012).

Ainda contextualizando os parâmetros fisiológicos, e exemplificando um estudo em cicloergómetro, Okuno et al (2011) realizou um estudo centrado na relação das intensidades da potência crítica (contínua e intermitente) e do MLSS (intermitente). Para além da constatação esperada referente à maior potência obtida nos testes da PCI, quando comparada com os de PC (Beneke et al., 2003), verificou-se também que a PCI e MLSS (intermitente) representam valores de intensidades semelhantes. É de anexar a esta informação, que o lactato aumentou rapidamente entre os 5 e os 10 minutos de exercício (na PCI), mas posteriormente a esse instante o aumento foi mais gradual e menos significativo.

Realizando ainda uma consideração quanto à frequência cardíaca, temos alguns valores de referência, destacando-se os 186 bpm (média derivada de um teste até exaustão com *sprints* e repouso intercalados em cada 10s (Fukuda et al., 2012). Denotou-se ainda um outro valor referente a um trabalho intervalado, com 20 minutos de exercício efetivo (174 bpm nos segundos 10 minutos do exercício), sendo este valor significativamente inferior ao acima citado. Num teste quase até exaustão (120 *sprints* de 10 s), foi registada nos últimos 60 *sprints* uma estabilização da frequência cardíaca (FC), e uma atenuação do aumento deste parâmetro observado nos primeiros 60 *sprints*. Portanto, a capacidade de completar um exercício numa frequência cardíaca igual a 80-90% da FC máxima ( $FC_{max}$ ), foi associada com marcadores fisiológicos, como uma resposta ao aumento do lactato sanguíneo (limiar láctico) e compensação respiratória (limiar ventilatório) (Maud & Foster, 2006).

Apesar de nem sempre vir mencionado nos estudos que procuram comparar diferentes intervalos de recuperação passiva, são sempre notórias as relações entre tempo até exaustão e intensidade do exercício (seja pelo maior ou menor repouso, seja pela velocidade/potência configurada). Recentemente, por Chidnok et al. (2013), evidenciou-se que para além deste facto, quanto maior o tempo de repouso (18 vs 30 vs 48 s) entre repetições, maior foi o tempo até exaustão ( $304 \pm 68$ ,  $516 \pm 142$ ,  $847 \pm 240$  s, respetivamente), verificou-se igualmente que a restauração da concentração

intramuscular de fosfocreatina durante a recuperação foi maior nos intervalos mais prolongados, e menor nos mais curtos ( $48s > 30s > 18s$ ;  $p < 0.05$ ).

Consequentemente, e em consonância com o modelo de PCI, a capacidade para realizar uma intensidade superior à PC ( $W > PC$ ) durante exercício intermitente de alta intensidade, e, portanto, a “tolerância ao exercício” aumenta quando a duração do intervalo de repouso é aumentada, atrasando assim a chegada à fase em que o contexto impõe uma limitação intramuscular (Jones et al., 2008; Vanhatalo et al., 2010; Chidnok et al., 2013), embora os valores para o composto fosfato intramuscular (de alta energia) assim como para os próprios metabolitos, foram semelhantes entre si no momento de exaustão (nos diferentes intervalos testados, ou seja, 18, 30 e 48 s) (Chidnok et al., 2013).

Como forma de finalizar esta abordagem à influência dos intervalos no trabalho intervalado/intermitente de alta intensidade, fica a certeza de Chidnok et al. (2013), de que a duração desses mesmos intervalos (os quais são vitais para a recuperação) claramente modula o ritmo em que a homeostasia intramuscular é perdida, com implicações óbvias na duração “tolerável” do respetivo exercício.

A metodologia utilizada por Fukuda et al. (2012) aparentou ser fiável, consoante os valores obtidos, o que nem sempre pôde ser aclamado na literatura, e genericamente verificou-se uma diferença entre sexos quanto ao consumo máximo de oxigénio (15-25% superior no homem) (Sparling, 1980; Cureton et al., 1986). Acrescenta-se ainda que a avaliação da IRC (explicada no parágrafo seguinte) demonstrou que foi lograda a obtenção de um *steady-state* na frequência cardíaca, durante repetidos esforços supramaximais na passadeira.

Alguns trabalhos realizados por Skiba e seus colaboradores refletiram esta questão da importância do intervalo de repouso, mas também do tempo em que o organismo se encontra em trabalho efetivo, assim como efeitos (eventuais ganhos ou não) num conjunto de sessões de “treino” intermitente. Nomeadamente, Skiba et al. (2014), e perante os resultados obtidos, puderam levantar algumas hipóteses, como a de que o exercício intermitente reduz a  $\tau_{W'}$  (constante temporal da reconstituição de  $W'$ ) ( $W'$  - constante da curvatura referente à relação hiperbólica potência-tempo), acelerando a recuperação de  $W'$  durante o próprio exercício intermitente. Este pormenor pode ser relevante, principalmente por saber-se que a PC e a  $\tau_{W'}$  são dois parâmetros correlacionados (Skiba et al., 2014). Do mesmo modo, é indicado que uma maior  $D_{CP}$  (diferença entre a potência utilizada na recuperação ativa e a potência crítica) irá resultar numa mais rápida  $\tau_{W'}$ ,

independentemente de ser proporcionada por uma maior PC ou por uma menor potência na recuperação.

Segundo alguns (Towse, Slade & Meyer, 2005) é possível que este tipo de exercício intermitente afete positivamente a PC, através de um mecanismo similar à hiperemia pós exercício. Por exemplo, se o exercício passa de 300 W de potência para 20 W durante um curto intervalo de recuperação ativa, a perfusão no músculo pode continuar em média mais elevada do que comparativamente com os intervalos de recuperação mais duradouros (Skiba et al., 2014). Os resultados líquidos seriam de que o músculo permanece mais oxigenado (sustentando-se na resíntese da PCr) e melhor “purificado” (removendo metabolitos acumulados relacionados com a fadiga) devido a um maior fluxo sanguíneo. Como consequência, é expectável que resulte numa mais eficaz e eficiente recuperação da W’ (Skiba et al., 2014).

De um outro prisma, igualmente importante na compreensão do conceito, Fukuda et al. (2012) incidiu-se ainda num conceito raramente explorado, a inclusão do intervalo crítico de repouso (ICR) à tradicional VCI, sendo, portanto, uma variável alternativa ( $VCI_{ICR}$ ). Segundo os autores, é um conceito que visa incorporar todo o tempo gasto no exercício (neste caso na passadeira), incluindo não só o tempo de ação, mas também a recuperação passiva entre os esforços (tanto o ICR ( $r = -0.415$ ;  $p = 0.04$ ), como a VCI ( $r = 0.655$ ;  $p < 0.01$ ) demonstraram uma correlação significativa com o  $VO_{2máx}$  relativo).

Por sua vez, o valor de  $VCI_{ICR}$  é utilizado para determinar o ICR [ $(DT / \sum NTI) / VCI_{ICR}$ ], sendo DT a distância total (tempo x velocidade) das várias séries realizadas na passadeira,  $\sum NTI$  o número total de intervalos completos, e  $VCI_{ICR}$  o declive da equação da regressão linear entre distância total e o tempo combinado do exercício com o período de repouso para cada repetição na corrida intermitente. Por fim, é de referir que tanto este conceito como equação advêm dos trabalhos de Pereira et al. (2009).

Recentemente, Laurent et al. (2010) sugeriram que a mulher pode recuperar mais rapidamente e acumular menos fadiga durante *sprints* intermitentes a uma intensidade máxima, enquanto o homem é capaz de obter uma velocidade superior no *sprint*. No estudo já referido de Fukuda et al. (2012) não foi possível confirmar este facto, por não haver diferenças significativas entre sexos para o ICR, contudo as mulheres tiveram uma média menor de ICR do que os homens, representando potencialmente uma melhor capacidade aeróbia/capacidade de recuperação. Tais diferenças também se “comprovam” pela menor acumulação de amoníaco por parte da mulher neste tipo de trabalhos (Esbjornsson et al., 2006), maior capacidade de remoção de amoníaco durante o exercício,

melhorando a capacidade motora (Nybo & Secher, 2004), ou até pela maior percentagem de fibras tipo I no sector feminino (Billaut & Smith, 2009), entre outros fatores.

### 5.1 Determinação da VCI e protocolos até exaustão

Usualmente a VC é obtida ou por um esforço até exaustão (com  $t_{lim}$  e  $d_{lim}$ ) ou pela realização de distâncias fixas. O processo é exatamente o mesmo com a Velocidade Crítica Intermitente (VCI), apesar do escasso número de estudos sobre a temática.

Na investigação de Aguiar et al. (2012), e após a realização de um esforço progressivo na passadeira (para adquirir a VAM), os sujeitos efetuaram 3 esforços intermitentes (30 s a correr com 15 s em recuperação passiva) a 100, 110 e 120% da VAM, registando o  $t_{lim}$  e a  $d_{lim}$  (descontando os períodos de repouso). Através da habitual relação linear (já vista anteriormente na VC) entre estas duas variáveis ( $t_{lim}$  e  $d_{lim}$ ), determinou-se a VCI e a  $W'$  (reserva de energia finita):

- $d_{lim} = (VCI \times t_{lim}) + W'$ , que na prática é uma equação nos moldes  $y = m \times x + b$ , sendo VCI o  $m$  (inclinação/declive da reta) e  $W'$  o  $b$  (intersecção da reta com o eixo das ordenadas).

Também em corrida (Berthoin et al., 2006), realizaram-se testes contínuos (90, 100 e 110% da VAM, baseados num teste progressivo) e intervalados (15 s a correr, com 15 s de recuperação passiva) com tempo até exaustão [a 120, 130 e 140% da VAM, valores estes baseados nos resultados publicados por Berthoin et al. (1996); Dupont et al. (2002); Berthoin et al. (2003)] e tanto a VC (contínua) como a VC (intermitente) foram obtidas pelo modelo matemático exposto em cima.

Continuando na corrida/passadeira, igualmente Fukuda et al. (2012) utilizaram a mesma fórmula já referida nos dois estudos anteriormente explorados, destacando-se a metodologia utilizada. Primeiro, num teste progressivo foi definida a velocidade pico (máxima velocidade atingida num teste de  $VO_{2max}$ ), que posteriormente foi utilizada em 2 testes iguais para a VCI, ambos com 10 segundos *sprint*, numa relação 1:1 com o repouso (o que diferiu de outras investigações onde utilizaram os 15s, como Dupont et al. (2002), Berthoin et al. (2006), Buchheit et al. (2008) ou ainda Fukuda et al. (2011)).

Apesar de Buchheit et al. (2008) terem conseguido relativizar a questão temporal, ao evidenciarem não haver diferenças entre intervalos de 30 e de 15s numa comparação direta do teste de VCI (tanto para a VCI, como para a variável  $W'$ , parâmetro este representativo da exaustão pela alta intensidade do esforço), no entanto nos testes de

Fukuda et al (2012), a diminuição do tempo de *sprint* para 10s, resultou num menor valor de VCI, quando comparado indiretamente com o anterior (+/- 4.4 vs +/- 4.8 m/s).

De acordo com os resultados obtidos por Fukuda et al. (2012), há a recomendação para que os testes da VCI se aproximem de um rácio de trabalho:repouso de 1:2, de modo a aprimorar inclusive algumas capacidades de realização de *sprints* repetidos. Portanto, os mesmos autores alertam para que em vez de utilizar o teste da VCI como um método para simplesmente identificar as capacidades de efetuar *sprints*, o seu uso pode ser mais apropriado na designação do treino mínimo necessário e averiguação de valores *standards* da condição dos respetivos desportistas (ou outros).

A conceção do teste de Fukuda et al. (2012) é díspar de toda a investigação elaborada até à data. Exemplo da metodologia utilizada num teste: 5 min aquecimento → *sprints* repetidos até exaustão (130% da velocidade pico) → 15 min descanso → *sprints* repetidos até exaustão (110% da VP) → 15 min descanso → *sprints* repetidos até exaustão (120% da VP).

Aliando a estes 3 testes, Fukuda et al. (2012), integraram no protocolo um 4º dia de testes, com um teste alicerçado nos *sprints* de 10 segundos (com uma velocidade média definida pela razão entre o somatório da distância total e o somatório do tempo total, respetivos a um dos dois testes, onde se inclui os testes realizados a 130, 110 e 120% da VP) até serem atingidas as 120 repetições (uma repetição equivale aos 10 s de corrida + x segundos de recuperação passiva). A variante, relativamente aos demais estudos, cinge-se no controlo da intensidade também pelos intervalos de repouso (individualizados em função do cálculo do ICR), e não só pela intensidade de corrida.

Relativamente a este estudo, Fukuda et al. (2012) comprovaram a fiabilidade dos resultados no que diz respeito ao teste da VCI especificado anteriormente (para ambos os sexos, não havendo diferenças entre os mesmos).

Em ciclo ergómetro a lógica é semelhante, veja-se por exemplo a investigação levada a cabo por Okuno et al. (2011), utilizando 4 testes (com cargas baseadas nos testes de familiarização realizados previamente) até à exaustão, utilizando a função hiperbólica do modelo de 2 parâmetros para estimar a PC ( $t_{lim} = CTA / (P-PC)$ ). Em acréscimo, realizaram outros tantos testes intermitentes (30 segundos a pedalar, com 30 s de repouso passivo), com potências equivalentes a 110, 120, 130 e 140% da PAM, sendo estes valores escolhidos por serem aqueles que compreendiam esforços com durabilidade de 2 a 15 minutos (sem as pausas).

Também em ciclo ergómetro, Skiba et al. (2014), apenas com testes para averiguar a PC (e não a PCI) e a  $W'$  (constante da curvatura respetiva à relação hiperbólica potência-tempo) (3 min totalizados na intensidade máxima; Vanhatalo et al., 2007), efetivamente operacionalizaram ainda 6 testes intermitentes (com a seguinte configuração trabalho (s): repouso (s) → 60:30; 40:30; 20:30; 20:20; 20:10; 20:5). Estes 6 testes, cada um diferente entre si, corresponderam a uma intensidade localizada no domínio severo ( $> PC$ ), e foram realizados até o sujeito esgotar aproximadamente 50% do seu valor estimado de  $W'_{BAL}$  (saldo/equilíbrio da capacidade de trabalho disponível, acima da PC restante).

Numa perspetiva mais “laboratorial” ainda, Chidnok et al. (2013) basearam-se no conceito PC para realizar testes de extensão do joelho com uma perna (“*single-leg knee-extension*”). Numa primeira parte, para estimar a PC e o  $W'$ , os sujeitos completaram 4 testes (no domínio severo de intensidade, portanto acima da PC), com carga constante, mas diferente entre cada teste, para determinar a relação hiperbólica entre potência e tempo limite. A potência escolhida para os testes foi selecionada com base num trabalho anterior (Vanhatalo et al., 2010), que permitisse que o  $t_{lim}$  se encontrasse entre os 2 e os 12 minutos. Usaram 3 equações de regressão para encontrar os valores (PC e  $W'$ ) e verificar a fiabilidade dos mesmos:

- 1) Potência linear (P) vs Tempo (T):  $T = W' / (P - PC)$
- 2) Trabalho linear (W) vs Modelo tempo:  $W = PC \times T + W'$
- 3) Potência linear (P) vs 1/Modelo tempo:  $P = (1 / T) \times W' + PC$

Na segunda parte dos testes, foram realizados 3 protocolos intermitentes até exaustão, onde foram medidas as respostas metabólicas do músculo (por  $^{31}P$ -MRS, ou seja, espectroscopia de fósforo por ressonância magnética). Os períodos de exercício de alta intensidade tiveram a duração de 60 segundos, com períodos de repouso passivo de 18, 30 e 48 segundos (um para cada protocolo), sendo cada série prolongada até exaustão ( $T_{lim}$ ). A potência para a elevada intensidade do exercício para estes protocolos foi calculada utilizando a PC e a  $W'$  estimada na parte primordial do estudo (já explorada), de acordo com o modelo da potência crítica intermitente de Morton & Billat (2004):

$$T_{lim} = n (t_t + t_r) + [W' - n \{(P_w - PC) t_w - (PC - P_r) t_r\}] / (P_w - PC),$$

onde “ $T_{lim}$ ” é o tempo total do protocolo, “ $n$ ” é o número de ciclos completos (trabalho/repouso), “ $t_t$ ” e “ $t_r$ ” são as durações (t – trabalho, r – repouso), e “ $P_t$ ” e “ $P_r$ ” correspondem às potências do trabalho e do repouso respetivamente.

**Tabela 4** - Síntese de algumas abordagens à VC, em modalidades distintas da natação

<b>Estudo</b>	<b>Amostra/ Modalidade</b>	<b>Metodologia/ Material</b>	<b>Valores de VC/ PC</b>	<b>Resultados de destaque (relacionados com a VC)</b>
<b>Moritani et al. (1981)</b>	16 [8 masculinos (20-33 anos) e 8 femininos (18-24 anos)] estudantes (familiarizados com a bicicleta)	Numa bicicleta ergométrica (cicloergómetro), foram realizados 4 testes TTE (homens: 400, 350, 300 e 275 W; mulheres: 300, 250, 200 e 175 W)	PC <sub>masculinos</sub> = 203.9 W  PC <sub>femininos</sub> = 144.5 W	- A PC relaciona-se de forma significativa com o LL ( $r = 0,927$ ; $p < 0.01$ ), e com o VO <sub>2máx</sub> ( $r = 0,870$ ; $p < 0.01$ ); - A PC associada à reserva de energia, também apresentam uma correlação positiva e estatisticamente significativa ( $r = 0.956$ ; $p < 0.01$ ).
<b>Housh, Housh &amp; Bauge (1989)</b>	14 ciclistas treinados (só do sexo masculino, $22.36 \pm 2.13$ anos)	Num cicloergómetro, foram realizados 4 testes TTE (com potências entre os 172 e os 360 W)	PC = $197 \pm 39$ W	- A PC foi 17% superior à potência que pode ser mantida por 60 minutos.
<b>Dekerle et al. (2003)</b>	11 estudantes e ciclistas bem treinados (sexo masculino, $23 \pm 2.9$ anos)	Num cicloergómetro, realizaram 4 testes TTE (90%, 95%, 100% e 110% VO <sub>2máx</sub> )	PC = 278 W (82.8% PAM e 85.4% VO <sub>2máx</sub> )	- A PC foi significativamente superior ao MLSS ( $p < 0.05$ ).
<b>Karsten et al. (2014b)</b>	14 ciclistas treinados ( $40 \pm 7$ anos)	1) Num cicloergómetro (lab), 3 testes TTE (80%, 100% e 105% da PAM) 2) Num velódromo (vel), 3 testes máximos (3, 7 e 12 minutos)	PC <sub>lab</sub> = $234 \pm 25.5$ W  PC <sub>vel</sub> = $234 \pm 24.4$ W	- Não se verificaram diferenças entre os valores de PC para os dois tipos de “terreno” ( $p = 0.924$ ), e os dados de ambos estavam altamente correlacionados ( $r = 0.976$ ; $p < 0.05$ ).
<b>Kennedy &amp; Bell (2000)</b>	16 remadores universitários e de clube “local” (sexo masculino, $22.7 \pm 3.9$ anos)	Num remoergómetro (ergómetro para o remo), foram realizados 12 testes máximos: 1) Curtas (200, 400, 600 e 800 m); 2) Médias (400, 600, 800 e 1000 m); 3) Longas distâncias (600, 800, 1000 e 1200 metros)  Utilizou-se o modelo linear distância-tempo (a), o modelo linear velocidade-tempo (b), e o modelo não linear velocidade-tempo (c).	1) a = $5.1 \pm 0.2$ m/s b = $5.3 \pm 0.2$ m/s c = $5.0 \pm 0.3$ m/s 2) a = $4.9 \pm 0.3$ m/s b = $5.0 \pm 0.3$ m/s c = $4.8 \pm 0.2$ m/s 3) a = $4.8 \pm 0.3$ m/s b = $4.8 \pm 0.3$ m/s c = $4.7 \pm 0.2$ m/s	- A VC evidenciou estar altamente correlacionada com o VO <sub>2máx</sub> ( $r = 0.91$ ; $p < 0.05$ ) e com a velocidade no teste de 2000 metros (V2000) ( $r = 0.97$ ; $p < 0.05$ ).

<b>Kendall et al. (2011)</b>	35 remadoras (sexo feminino) divididas em 2 grupos [+ experientes (1), - experientes (2)]	Num remoergómetro, realizaram 4 testes máximos (400, 600, 800 e 1000 metros)	VC (1) = 40.6 ± 0.15 m/s VC (2) = 39.5 ± 0.08 m/s VC combinada = 4.01 ± 0.13 m/s	- Verificou-se, para o grupo mais experiente, uma correlação entre VC e V2000 ( $r = 0.856$ ; $p < 0.001$ ), assim como para o grupo menos experiente ( $r = 0.733$ ; $p = 0.001$ ).
<b>Florence &amp; Weir (1997)</b>	12 maratonistas (6 de cada sexo)	Numa passadeira, foram realizados 4 testes TTE (entre 3.6 e 6.0 m/s)	VC = 4.43 m/s	- Ficou evidenciada a correlação entre a VC e o tempo da maratona ( $r^2 = 0.76$ ; $p < 0.001$ ).
<b>Galbraith et al. (2011)</b>	10 corredores treinados (sexo masculino, 22 ± 4 anos)	Numa pista (400 metros), foram realizados 3 testes máximos (cada um composto por 3 distâncias: 3600, 2400, 1200, intercalados por 30 min recuperação)	VC = 4.72 m/s	- Não houve diferenças significativas entre os diferentes testes da VC ( $p < 0.05$ ).

Velocidade Crítica (VC), Potência Crítica (PC), *Time to Exhaustion* (TTE, “tempo até exaustão” ou tempo limite), Limiar Láctico (LL), *Maximal Lactate Steady State* (MLSS, estado estacionário máximo de lactato).

**Tabela 5** - Síntese de algumas abordagens à VC na natação

Estudo	Amostra/ Modalidade	Metodologia/ Material	Valores de VC	Resultados de destaque (relacionados com a VC)
<b>Wakayoshi et al. (1992a)</b>	9 nadadores (sexo masculino, 18-21 anos)	Numa piscina “contra corrente” ( <i>swimming flume</i> ) foram realizados 6 testes TTE a diferentes velocidades (1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6 e 1.7 m/s)	VC = 1.166 ± 0.052 m/s	- Foram encontradas correlações positivas entre o VO <sub>2LL</sub> a VC (r = 0.818, p < 0.01), entre a VC e o OBLA (r = 0.949, p < 0.01) e ainda entre a VC e o V400 (r = 0.865, p < 0.01); - Não houve correlação significativa entre VO <sub>2máx</sub> e a VC (r = 0.318, p > 0.05).
<b>Martin &amp; Whyte (2000)</b>	8 triatletas de elite (5 do sexo masculino e 3 do sexo feminino, 26 ± 4 anos)	Em piscina, a VC foi obtida em função de 5 testes (100, 200, 400, 800 e 1500 m), e todas as possíveis combinações	VC = 1.23 m/s  >VC <sub>combinada</sub> (200 + 400 m) = 1.28 ± 0.13 m/s  <VC <sub>combinada</sub> (800 + 1500 m) = 1.21 ± 0.13 m/s	- A VC foi similar, independentemente das combinações ou do nº de testes incluídos na regressão linear; - A VC foi significativamente superior à velocidade do limiar láctico (p < 0.05); - [La] foi significativamente superior (p < 0.05) na VC (3.0 ± 1.0 mM) do que no LL (1.9 ± mM).
<b>Reis &amp; Alves (2006)</b>	29 nadadores de nível nacional (18 do sexo masculino e 11 do sexo feminino, 12.9 ± 1.15 anos)	Numa piscina de 25 m foram realizados 3 testes (50, 200 e 400 m) para obter a VC VC1 = 50, 200 e 400 m VC2 = 200 e 400 m (Todos os 3 testes foram realizados antes e após 9 semanas de treino predominantemente aeróbio)	Antes treino: - VC1 = 1.12 ± 0.10 (96,4% V400) - VC2 = 1.08 ± 0.11 (92,9% V400)  Após treino: - VC1 = 1.20 ± 0.11 (96,8% V400) - VC2 = 1.14 ± 0.08 m/s (94,5% V400)	- Tanto antes como após o treino, a VC1 não foi significativamente diferente do OBLA, mas significativamente superior à V2000 e à VC2; - Todos os parâmetros testados melhoraram após o treino, nomeadamente os relacionados com a VC (sendo a VC1 4,8 ± 2,5% “mais rápida”; a VC2 teve uma melhoria de 5,2 ± 2,7%); - Embora a VC1 e VC2 tenham registado uma diferença significativa, a V4, V2000, VC1 e VC2 evidenciaram uma forte correlação.
<b>Toubekis, Tsami &amp; Tokmakidis (2006)</b>	20 nadadores jovens (12 do sexo masculino e 8 do sexo feminino, 12.9 ± 1.1 anos)	Em piscina de 25m, a VC foi obtida pelas diferentes combinações de 50, 100, 200 e 400 m, todos realizados à máxima intensidade	VC (com 4 distâncias) = 1.085 (± 0.121 m/s)	- A VC calculada por uma combinação incluindo distâncias de 50, 100 e 200 m foi superior comparativamente à velocidade no LL (p < 0.05);

			$>VC_{\text{combinada}} (50 + 100 \text{ m}) = 1.178 (\pm 0.138 \text{ m/s})$  $<VC_{\text{combinada}} (200 + 400 \text{ m}) = 1.071 (\pm 0.127 \text{ m/s})$	
<b>Espada &amp; Alves (2010)</b>	18 nadadores bem treinados (sexo masculino, $17.1 \pm 2.8$ anos)	Numa piscina de 25 m, a VC foi estimada com base nos testes de 200 e 400 metros à máxima intensidade	$VC = 1.40 \pm 0.08 \text{ m/s}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A VC demonstrou estar altamente correlacionada com a velocidade do MLSS (<math>r = 0.94</math>; <math>p &lt; 0.01</math>) e com a VAM (ou V400) (<math>r = 0.95</math>; <math>p &lt; 0.01</math>);</li> <li>- Evidenciou-se um valor superior da VC quanto à velocidade do MLSS (<math>p = 0.00</math>).</li> </ul>
<b>Zacca et al. (2010)</b>	14 nadadores jovens (14-15 anos) divididos por dois grupos (Velocistas vs Fundistas)	A VC e os restantes parâmetros foram conseguidos através da realização de 6 diferentes testes máximos (50, 100, 200, 400, 800 e 1500 m) numa piscina de 25m. A VC foi calculada pelos modelos de 2, 3 e 4 parâmetros.	$VC_{\text{velocistas}} = 1.23 (\pm 0.02 \text{ m/s})$  $VC_{\text{fundistas}} = 1.25 (\pm 0.02 \text{ m/s})$  $VC_{2\text{par}} = 1.27 (\pm 0.02 \text{ m/s})$  $VC_{3\text{par}} = 1.22 (\pm 0.01 \text{ m/s})$  $VC_{4\text{par}} = 1.23 (\pm 0.01 \text{ m/s})$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quanto à VC, não se verificaram diferenças significativas entre os 2 grupos (<math>p = 0.410</math>), independentemente do modelo utilizado;</li> <li>- Os valores referentes ao modelo de 2 parâmetros foram estatisticamente superiores aos dos restantes modelos</li> <li>- De destacar os elevados coeficientes de determinação (<math>R^2 &gt; 0.93</math>), para ambos os grupos, utilizando os 3 modelos estudados.</li> </ul>
<b>Fernandes (2011)</b>	118 jovens nadadores (56 masculinos e 62 femininos, 11-14 anos)	Numa piscina de 25 m, a VC foi calculada em função dos testes de 200 e 800 metros à máxima intensidade	$VC_{\text{homens}} = 1.28 \pm 0.05 \text{ m/s}$  $VC_{\text{mulheres}} = 1.21 \pm 0.06 \text{ m/s}$  $VC_{\text{total}} = 1.25 \pm 0.06 \text{ m/s}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A VC apresentou uma alta (<math>r = -0.67</math>) e muito alta (<math>r = -0.93</math>) correlação inversa, para os testes de 200 e 800 m, respetivamente (<math>p &lt; 0.001</math>).</li> </ul>

Velocidade Crítica (VC), Limiar Láctico (LL), Velocidade Aeróbia Máxima (VAM), *Maximal Lactate Steady State* (MLSS, estado estacionário máximo de lactato), *Time to Exhaustion* (TTE, “tempo até exaustão” ou tempo limite, *Onset of Blood Lactate Accumulation* (OBLA, na prática é a velocidade correspondente à valor de lactato de 4 mM),  $[La^-]$  (Lactatémia), Velocidade nos 400 metros (V400).

**Tabela 6** - Síntese de algumas abordagens à VCI

Estudos	Amostra/ Modalidade	Metodologia/ Material	Valores de VC/ PC	Valores de VCI/ PCI	Treino/ Sessão Intervalado	Resultados de destaque (relacionados com a VCI e a sessão de treino)
<b>Morton &amp; Billat (2004)</b>	6 corredores de fundo (sexo masculino, 51 ± 6 anos)	Numa pista de 400 m (e registando os melhores tempos da época aos 3, 5 e 10 Km, para a VC), a VCI foi calculada por 3 testes TTE intermitentes: 1) 60s a correr a 120% da VC, com 60s a correr a 50% da VC 2) 180s a correr a 110% da VC, com 180s a correr a 60% da VC 3) 30s a correr a 135% da VC, com 60s a correr a 65% da VC	VC = 4.00 (± 0.26 m/s)	VCI = 3.28 (± 0.27 m/s)	----	- Relativamente à VC, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) variou entre os 0,95 e os 0,99; - A VC evidenciou ser significativamente superior à VCI ( $p < 0.001$ ).
<b>Berthoin et al. (2006)</b>	11 crianças (4 do sexo masculino e 7 do sexo feminino, 8-11 anos), familiarizadas com a corrida	Os testes para a obtenção da VC e da VCI foram realizados ao ar livre, num trajeto em linha reta (apenas delineado por cones): - 3 testes TTE contínuos (90, 100 e 110% da VAM) - 3 testes TTE intermitentes (15s corrida:15s recuperação passiva, a 120, 130 e 140% da VAM)	VC = 2.5 ± 0.27 m/s (85.5 ± 3.8% VAM)	VCI = 3.16 ± 0.33 m/s (108 ± 6.1% VAM)	----	- Foi encontrada uma relação significativa entre o VC e a VCI ( $r^2 = 0.86$ , $p < 0.001$ ); - Verificou-se uma relação significativa entre a VC (e VCI) e o $VO_{2\text{pico}}$ e a VAM.
<b>Aguiar et al. (2012)</b>	7 estudantes de Educação Física (sexo masculino, 22.4 ± 3.1 anos)	Foram efetuados 3 testes TTE (30s:15s, a 100, 110 e 120% da VAM)	----	VCI = 3.694 ± 0.33 m/s (93.5% VAM)	Realização de 3 séries intermitentes TTE (30s a correr e 15s repouso): - 105% VCI - 125% VCI	- Não se evidenciaram diferenças significativas entre 125% VCI, 125-105% e um teste progressivo realizado numa fase inicial ( $p > 0.8$ ), embora todos estes tenham

					- <i>Fast Start</i> (começar a série a 125% e a acabar a 105% da VCI)	apresentados diferenças relativamente aos 105% VCI ( $p < 0.04$ ); - Entre as séries intermitentes (treino) registaram-se diferenças significativas no tlim e no dlim.
<b>Fukuda et al. (2012)</b>	24 pré adolescentes ( $22.7 \pm 2.9$ anos) saudáveis e fisicamente ativos	Foram realizados 2 testes, cada um da seguinte forma: - Teste TTE intermitente (10s:10s) a 130% VP + 15 min repouso + teste TTE intermitente (10s:10s) a 110% VP + 15 min repouso + teste TTE intermitente (10s:10s) a 120% VP	----	VCI (teste 1) = $4.42 \pm 0.55$ m/s VCI (teste 2) = $4.34 \pm 0.67$ m/s	Realização de uma série que consiste em 120 repetições de 10s em corrida (à intensidade da velocidade média dos testes de VCI), com as pausas a serem individualizadas (ICR).	- Verificou-se uma relação significativa entre o $VO_{2m\acute{a}x}$ e a VCI ( $r = 0.655$ , $p < 0.01$ ); - Confirmou-se, após este estudo, que em passadeira, o teste de VCI fornece um parâmetro fiável de corrida intervalada (VCI) a uma intensidade moderada.
<b>Okuno et al. (2011)</b>	10 estudantes (sexo masculino, $24.4 \pm 3.7$ anos) minimamente ativos	Em cicloergómetro, foram realizados: - 4 testes preditivos contínuos (com cargas individualizadas que impõem exaustão entre 2-15 minutos - 4 testes preditivos intermitentes (30s a correr: 30s repouso) a 110, 120, 130 e 140% PAM	PC = $151 \pm 30$ W	PCI = $267 \pm 45$ W	Foi realizada uma série intermitente (30s:30s) à PCI; Caso ocorresse uma estabilização da $[La^-]$ , haveria novo teste, com + 10% de carga mecânica (até obter o MLSS).	- Coeficientes de determinação de PC e PCI foram de 0.981 (0.018) e 0.962 (0.055) respetivamente; - A PC foi significativamente inferior à PCI ( $p < 0.001$ ); - Não se verificaram diferenças significativas entre PCI e a intensidade do MLSS ( $p > 0.05$ ), contudo contém uma alta correlação ( $r = 0.88$ , $p < 0.001$ ), assim como entre a PCI e a PC ( $r = 0.79$ , $p < 0.05$ ); - Outras correlações significativas: PCI e PAM ( $r = 0.75$ , $p < 0.05$ ), PCI e $VO_{2m\acute{a}x}$ (0.76, $p < 0.05$ ).

Velocidade Crítica (VC), Potência Crítica (PC), Velocidade Crítica Intermitente (VCI), Potência Crítica Intermitente (PCI), Velocidade Aeróbia Máxima (VAM), *Time to Exhaustion* (TTE, “tempo até exaustão” ou tempo limite), Velocidade Pico (VP), Intervalo Crítico de Repouso (ICR), tempo limite (tlim), distância limite (dlim), Potência Aeróbia Máxima (PAM).

### **III. Metodologia**

#### **1. Desenho Experimental**

A conceção e estruturação dos testes foram definidas em função de dois grupos distintos: nadadores que realizaram a técnica de Mariposa (mariposistas) e nadadores que efetuaram os testes na técnica de Crol (crolistas). Cada grupo foi composto por 8 nadadores (16 no conjunto).

Os sujeitos cuja técnica nadada foi Crol, realizaram 5 testes na piscina de 25 metros, sendo que os de Mariposa apenas nadaram 4 testes. Na técnica de crol, os testes iniciais eram compostos por dois esforços contínuos à máxima intensidade (400 e 200 metros), efetuados aleatoriamente, em que os respetivos tempos e distâncias percorridas forneceram-nos a variável Velocidade Crítica (VC).

Posteriormente, foram concretizados dois esforços intermitentes máximos (4 x 50 metros e 8 x 50 metros) para todos os sujeitos (os 8 que realizaram a Crol e os 8 que realizaram a Mariposa). Estes dois testes facultaram uma nova variável, a Velocidade Crítica Intermitente (VCI).

Em seguida, e ao ritmo definido pela VCI, foram realizadas n repetições de 50 metros, numa série até exaustão (intervaladas com 15 segundos de pausa entre repetições). Para os mariposistas restou ainda mais uma série até exaustão (idêntica à primeira, com a modificação na pausa, a passar de 15 para 30 segundos).

Em todos os testes foram realizaddas colheitas de Lactato, assim como a medição da Frequência Cardíaca (pelos instrumentos específicos: *Lactate Pro Arkray – Blood Lactate Test Meter* e *Polar RS400*, respetivamente) em distintos momentos, explicados ulteriormente, tendo especial cuidado de modo a proceder de acordo com as recomendações da OMS, no que diz respeito à utilização de luvas próprias para a recolha das microamostras sanguíneas.

#### **2. Amostra**

Como exposto acima, os testes foram realizados por 16 nadadores (sexo masculino) com idades entre os 15 e os 27 anos, que foram equitativamente divididos consoante a técnica de nado de cada um. Oito nadadores a crol (idade:  $17.6 \pm 3.8$  anos; altura:  $173.8 \pm 6.8$  cm; massa corporal:  $67.3 \pm 8.2$  kg) e oito nadadores a mariposa (idade:

17.6 ± 3.8 anos; altura: 173.8 ± 6.8 cm; massa corporal: 67.3 ± 8.2 kg), com um pressuposto base: contabilizar pelo menos uma participação em Campeonatos Nacionais referentes aos dois últimos anos, na técnica de nado efetuada nos testes.

Todos os nadadores concordaram em dar o seu contributo a esta investigação, comparecendo nos testes necessários. Deste modo, cada sujeito, assim como o encarregado de educação (no caso dos menores de 18 anos), assinaram um consentimento, no qual concordam com todos os métodos utilizados para a referida recolha de dados, assim como potenciais riscos (métodos esses que englobam filmagens e colheita de sangue, e que vêm descritos no consentimento).

### **3. Procedimentos**

Os nadadores foram divididos por 2 grupos distintos (Crol vs Mariposa), cada um com os seus testes específicos. Antes de realizar qualquer teste, foi recolhido o valor do ácido láctico (constantemente calibrado) e da frequência cardíaca (dados em repouso, após o aquecimento, mas antes da iniciação ao teste). No caso do lactato, foi utilizada continuamente a mesma metodologia, utilizando o sangue da extremidade distal de um dos dedos da mão. Quanto à FC, foi utilizada uma banda com o recetor específico da *POLAR*, “*RS800CX*”.

Os sujeitos que nadaram Crol, realizaram 5 testes, em 4 dias, organizados da seguinte forma: - 200 m ou 400 m nas duas primeiras sessões (ordem aleatória); 8 x 50 metros, com 30 minutos de recuperação ativa, mais 4 x 50 metros (terceira sessão); - n x 50 metros (15 segundos pausa) (na quarta sessão). Já a mariposa, os nadadores realizaram a terceira e quarta sessão referidas acima, efetuando ainda uma outra sessão extra, idêntica à anterior, ou seja, uma série até exaustão (n x 50 metros), mas com 30 segundos de pausa (passiva) entre cada repetição.

Tanto no teste máximo de 200, como no de 400 metros, foi solicitado que realizassem o esforço a 100%, com uma certa gestão, de modo a poder manter a mesma velocidade ao longo do teste. Efetuaram-se recolhas tanto de lactato como de frequência cardíaca, em repouso e após o teste (até o lactato parar de subir, da seguinte forma: 1, 3, 5 e eventualmente 7 minutos após).

Posteriormente (1ª sessão para quem completou os testes a mariposa), seguiu-se uma sessão composta por 2 testes intervalados (4 x 50 m e 8 x 50 m), também realizados à máxima intensidade e com 15 segundos de pausa (recuperação passiva) entre cada

repetição de 50 metros. Uma vez mais, foi requerida a manutenção da mesma velocidade, dentro dos limites possíveis.

Acrescente-se que ocorreu um período de recuperação ativa, de sensivelmente 30 minutos (onde eram realizados no mínimo entre 400 a 600 m, também em formato intervalado), entre cada teste, de modo a que os índices fisiológicos (lactatemia e frequência cardíaca) pudessem equiparar-se aos valores basais (idêntico ao realizado por Housh, Housh & Bauge, 1989). Em termos de controlo das variáveis fisiológicas, estas foram registadas em repouso (mesmo antes do teste), no fim do teste (1, 3, 5 3 7 minutos após se necessário) e no caso dos 8 x 50 também foi verificado a meio do teste, ao fim da quarta repetição.

Por fim, foram realizadas uma ou duas sessões (consoante se realizadas a crol ou mariposa, respetivamente), num teste composto por um indefinido número de repetições de 50 metros, tendo a sua finalização aquando da incapacidade do nadador ao não manter o ritmo desejado e estipulado, no qual estabelecemos como fronteira máxima, 1 segundo acima da VCI. No primeiro teste, 15 s de pausa repartiam as repetições, enquanto que no segundo teste (apenas para quem nadou mariposa), as pausas tinham uma duração de 30 segundos, aproximando-se ao rácio de trabalho:repouso de 1:1. Foram realizadas colheitas de lactato e verificação da frequência cardíaca antes do início do teste, no fim do teste até o lactato parar de subir (1, 3, 5 e eventualmente 7 minutos após), assim como em cada 4 repetições ao longo do teste até exaustão.

Para cada teste foi realizado um aquecimento prévio, que embora tivesse as suas especificidades e adaptações consoante algumas variáveis [historial do nadador nos aquecimentos de prova, contextualização com as restantes unidades de treino do microciclo, a tipologia das fibras musculares (velocista vs fundista), etc], foi concebido em moldes idênticos aos de Tsalis et al. (2012), com 400-600 metros de nado a um ritmo confortável e controlado pelo próprio nadador, 2-4 x 50 m com intensidade progressiva, 2-4 x 25 m *sprint*, 300 m recuperação ativa.

A recolha de dados foi realizada maioritariamente num momento intermédio entre períodos competitivos (no Macro ciclo que intercala dois Campeonatos Nacionais), nunca antes da iniciação do período de desenvolvimento (após período transitório). Tal momento da época foi escolhido pela disponibilidade dos treinadores e recetividade dos mesmos em ceder os seus nadadores durante um ainda vasto período de testes, que não pudesse colocar em causa o planeamento dos nadadores (mas ao mesmo tempo que permitisse que os sujeitos estivessem em condições para a realização de uma boa

*performance*). Nesse sentido, a sistematização dos testes foi fundamental, de modo a potenciar o momento propício do microciclo para a realização dos testes.

De forma concreta, a VC foi obtida em função da inclinação da reta de regressão linear que traduz a relação entre as distâncias de 200 e 400 metros com os respetivos tempos. A VCI foi adquirida do mesmo modo, mas por intermédio do teste 4 x 50 m e do teste 8 x 50 m (em ambos os casos, somando os diferentes metros, ou seja, 200 e 400, respetivamente, assim como atribuindo-lhes o somatório dos tempos, isolando cada teste, e desprezando o tempo de pausa).

Todos os testes foram efetuados sensivelmente às mesmas horas (reduzida variação intra sujeitos) em piscina coberta de 25 metros, com a temperatura da água entre os 26° e os 27° Celsius, com a humidade a ser inferior a 70%.

#### **4. Análise Estatística**

A análise estatística ficou incumbida ao programa informático SPSS (versão 22), no qual foram realizados um conjunto de testes, sendo que os pressupostos da normalidade e homogeneidade de todas as distribuições foram verificados (nos dados de escala), utilizando os métodos do Shapiro-Wilk e o teste de Levene. Foram igualmente utilizados métodos estatísticos de análise descritiva, nomeadamente para calcular médias e desvios padrão (tal como no *Microsoft Excel, Microsoft Office 2013*).

Tendo-se registado uma normalidade na distribuição dos dados, recorreu-se aos testes paramétricos para verificar diferenças entre as variáveis (Teste de amostras emparelhadas) ou ainda possíveis correlações (Correlação de Pearson).

Para todos os testes operacionalizados, o intervalo de confiança utilizado foi de 5 % ( $p < .05$ ), tendo no entanto verificado varias relações entre variáveis com intervalos inferiores a 1% ( $p < .01$ ).

## IV. Resultados

### 1. Testes efetuados na técnica de crol

Desde logo é fundamental apresentar a relação entre a VC e a VCI, por estarem na génese da investigação, e verificou-se que a VC é inferior à VCI ( $p = .000$ ), não estando as duas variáveis correlacionadas ( $r = .425$ ;  $p > .05$ ).

Tendo um parâmetro de avaliação aeróbia como a VAM, foi possível contextualizar a VC e a VCI, como é possível de observar na tabela abaixo.

**Tabela 7** - Valores médios e desvio padrão da VC, VCI, VAM e VAM<sub>int</sub>

<b>VC</b> <b>(m/s)</b>	<b>VCI</b> <b>(m/s)</b>	<b>VAM</b> <b>(m/s)</b>	<b>VAM<sub>int</sub></b> <b>(m/s)</b>
1.39 ± 0.05	1.61 ± 0.06	1.44 ± 0.05	1.63 ± 0.06
96.2 % VAM	111.4 % VAM		
85.3 % VAM <sub>int</sub>	98.6 % VAM <sub>int</sub>		

Verificaram-se três correlações significativas ( $p < .05$ ), sendo elas entre a VC e a VAM ( $r = .909$ ;  $p = .002$ ), entre a VCI e VAM<sub>int</sub> ( $r = .949$ ;  $p = .000$ ) e por último entre a VAM e a VAM<sub>int</sub> ( $r = .709$ ;  $p = .049$ ). Já em termos de diferenças, há que mencionar que as quatro velocidades médias foram diferentes entre si, sendo o maior valor de  $p$  para a relação entre a VCI e a VAM<sub>int</sub> ( $p = .017$ ) e entre as restantes variáveis o valor foi de  $p = .000$ .

De destacar ainda que também se registaram diferenças significativas ( $p = .000$ ) entre a VAM e a VAM<sub>int</sub> (intervalada), embora com uma correlação elevada ( $r = .709$ ;  $p < .05$ ).

A velocidade no teste 400 metros (T400), apresentou uma forte correlação com a VC ( $r = .898$ ;  $p = .002$ ) e o teste de 200 m (T200) com a VCI ( $r = .790$ ;  $p = .020$ ). Estão assinalados com <sup>a</sup> e <sup>b</sup> as correlações que são significativas nas tabelas 2 e 3. Foram ainda

realizados diferentes testes de diferenças de amostras emparelhadas entre distintas velocidades relativas aos parciais finais dos testes de 200 e 400 metros, assim como correlações, com valores significativos (Tabela 3). O mesmo procedimento foi realizado (entre a VC e a VCI) em relação à velocidade média de todos os parciais da prova dos 200 metros (tempo oficial), sendo possível constatar as correlações abaixo (Tabela 4).

**Tabela 8** - Correlações entre diferentes velocidades de nado, respetivas aos parciais finais do T400 e T200 com a VC e VCI

	<b>T400 (1.47 ± 0.05 m/s)</b>				<b>T200 (1.56 ± 0.06 m/s)</b>		
	<b>U150</b>	<b>U100</b>	<b>U50</b>	<b>Total 400 m</b>	<b>U100</b>	<b>U50</b>	<b>Total 200 m</b>
<b>VC</b>	.834 <sup>a</sup>	.802 <sup>a</sup>	.747 <sup>a</sup>	.898 <sup>b</sup>	.439	.366	.551
<b>VCI</b>	.722 <sup>a</sup>	.748 <sup>a</sup>	.807 <sup>a</sup>	.649	.792 <sup>a</sup>	.690 <sup>a</sup>	.790 <sup>a</sup>

<sup>a</sup> p < 0.05

<sup>b</sup> p < 0.01

**Tabela 9** - Correlações entre as velocidades médias dos parciais da prova oficial dos 200 m livres com a VC e VCI

	<b>Prova oficial 200 metros livres (1.65 ± 0.06 m/s)</b>				
	<b>P50</b>	<b>P100</b>	<b>U100</b>	<b>U50</b>	<b>Total 200 m</b>
<b>VC</b>	.433	.494	.731 <sup>a</sup>	.645	.658
<b>VCI</b>	.844 <sup>b</sup>	.820 <sup>a</sup>	.748 <sup>a</sup>	.675	.808 <sup>a</sup>

<sup>a</sup> p < 0.05

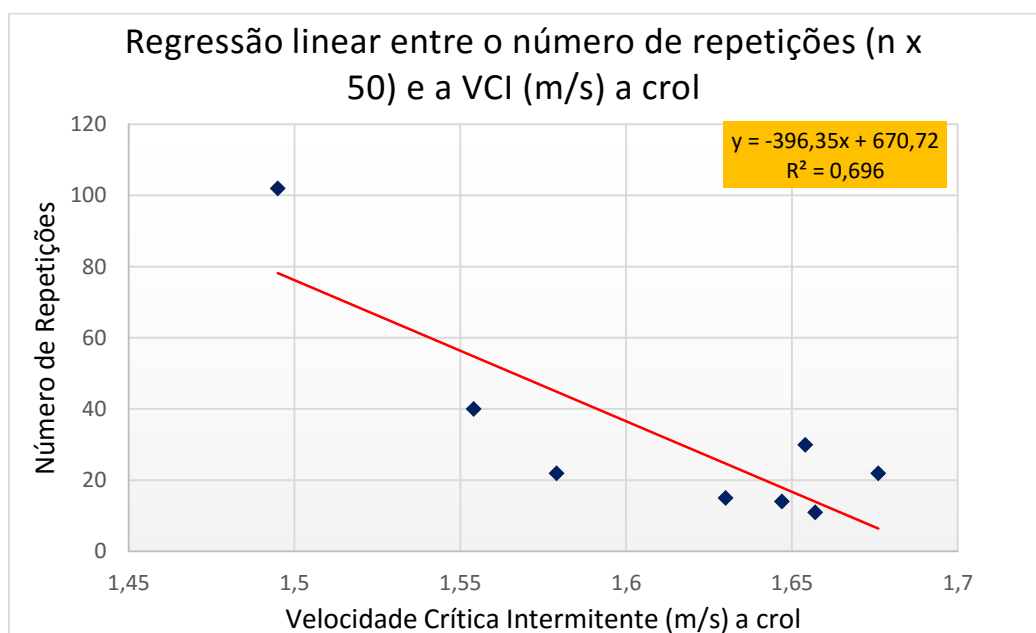
<sup>b</sup> p < 0.01

Diga-se que tanto os últimos 150 (U150), 100 (U100) e 50 m (U50) do T400 como os últimos 100 e últimos 50 m do T200 tiveram não só correlações fortes e positivas como significativas (p <.05) com a VCI, assim como a própria velocidade média dos 200 metros. A este facto, acrescenta-se ainda que foram analisados os parciais da prova de 200 m (tempos oficiais de prova realizados recentemente), e também todos os parciais apresentaram correlações significativas e elevadas com a Velocidade Crítica Intermitente. No último parcial de 50 m, a correlação não é significativa, mas o nível de significância é de p =.06).

Importa realçar que não existiram diferenças significativas entre os últimos 50 e 100 metros, relativos aos 200 metros realizados em competição e a Velocidade Crítica Intermitente. Por outro lado, registaram-se diferenças significativas entre os restantes parciais que foram analisados e podem ser revistos nas tabelas de correlações 3 e 4, correspondendo a: a) parciais finais do T400; b) parciais finais do T200; c) todos os parciais da prova oficial de 200 metros livres] e a VCI.

Quanto à VC, para além da forte correlação já reportada entre esta variável e a velocidade do T400, também foram encontradas fortes correlações ( $r \geq .747$ ;  $p < .05$ ) entre a velocidade dos vários parciais do teste T400 (últimos 150, 100 e 50 metros) com a VC, embora sem qualquer relação com o teste T200, mas com todas as velocidades analisadas a serem significativamente diferentes ( $p < .05$ ), nem com a velocidade dos 200 m obtidos em competição.

No que diz respeito ao número de repetições realizadas nas séries até exaustão ( $32 \pm 29,8$  repetições), é de realçar a forte correlação e negativa como pode ser vista no gráfico abaixo (com inclusão da equação da reta e  $R^2$ ).

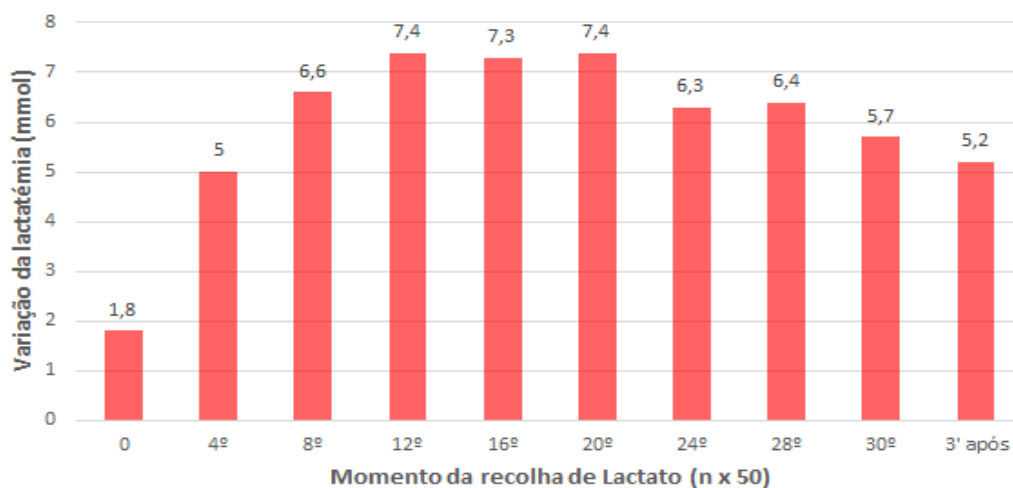


**Figura 5** - Gráfico representativo da regressão linear entre o número de repetições (série ate exaustão) e a VCI

Foram registados os valores de lactatémia ao longo de uma série até exaustão [ficando visível na figura 2 um perfil tipo de um dos sujeitos no decorrer da série (com recolhas em cada 4 repetições)].

Apesar do esquema em si ser demonstrativo da cinética da variação do lactato, é importante referir que em 8 sujeitos, 7 tiveram um perfil semelhante, ou seja, ascendente

numa primeira fase, com uma ligeira manutenção (em valores de  $7,2 \pm 1,7$  mmol) e numa fase final, a verificar-se uma diminuição dos níveis de lactato no sangue (terminando com valores médios de  $5,9 \pm 1,9$  mmol).



**Figura 6** - Cinética da lactatemia ( $\text{mmol.l}^{-1}$ ) ao longo da série até exaustão a crol (exemplo de um sujeito)

O coeficiente de variação referente ao ácido láctico recolhido na série até exaustão foi de 16,6 %, e o valor intermédio do lactato (na série) não foi distinto do valor final ( $p >.05$ ), ao contrário destes dois relativamente ao inicial ( $p <.05$ ). A tabela abaixo resume sucintamente os valores médios de  $[\text{La}^-]$  e Frequência Cardíaca, no início, no ponto intermédio, e fim da série, assim como ao fim de 3' min de repouso e ainda a média de toda a série.

**Tabela 10** - Resumo dos valores da Lactatemia e Frequência Cardíaca em momentos chave da série até exaustão a crol (início, meio e fim da série)

**Valores de Lactato e Frequência Cardíaca em momentos chave da série**

Instante	Início	Intermédio	Fim	3 min após	Média da série
<b>La<sup>-</sup> (mmol/l)</b>	$4,7 \pm 1,0$	$6,4 \pm 1,8$	$5,9 \pm 1,9$	$4,9 \pm 1,6$	$5,4 \pm 1,2$
<b>FC (bat.min)</b>	$143 \pm 15$	$159 \pm 15$	$159 \pm 27$	$113 \pm 9$	$156 \pm 18$

Foi ainda realizada a análise à Frequência de Ciclo (e consequentemente também à Frequência Crítica de Ciclo), onde foi possível observar uma manutenção da frequência ao longo da série (também validada pelo coeficiente de variação de 2,6 %). Como tal, também não se registaram diferenças significativas entre a Frequência de Ciclo Inicial ( $41.6 \pm 2.0$  ciclos.min) e a Final ( $42.0 \pm 3.9$  ciclos.min), nem entre estas e a Frequência

Crítica de Ciclo ( $42.5 \pm 2.6$  ciclos.min). A estas variáveis, acrescenta-se que a Distância de Ciclo também foi analisada, mas com um comportamento muito idêntico ao da Frequência de Ciclo, ou seja, sem grandes oscilações ao longo da série, a acompanhar a estabilização da mesma velocidade no decorrer da série até exaustão.

## 2. Testes efetuados na técnica de mariposa

A Velocidade Crítica Intermitente a mariposa ( $1.48 \pm 0.08$  m/s) representa 97,5 % da  $VAM_{int}$  ( $1.53 \pm 0.06$  m/s) e uma vez que não foi realizada a distância contínua de 400 m, não foram obtidos dados relativos à VAM. Como efetuado a crol, foram realizadas diversas correlações e testes de diferenças entre a VCI a mariposa e as velocidades correspondentes aos vários parciais da prova de 200 mariposa (tempo oficial, e obtido recentemente).

**Tabela 11** - Correlações entre velocidades médias obtidas dos parciais da prova de 200 mariposa e a VCI, a mariposa

*Prova oficial 200 metros mariposa ( $1.51 \pm 0.04$  m/s)*

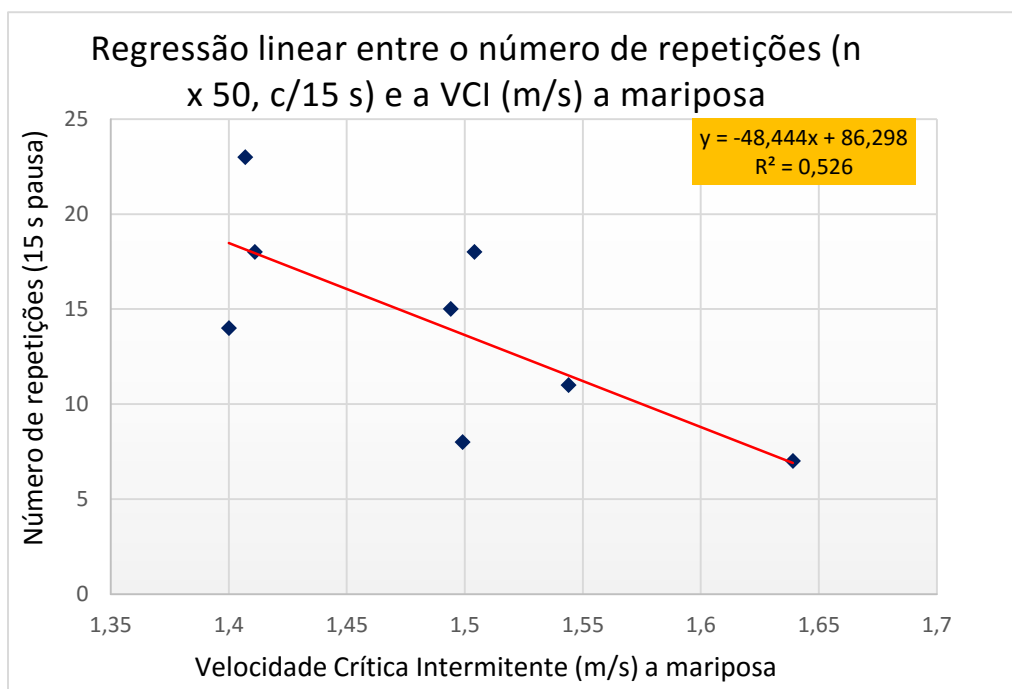
	<b>P50</b>	<b>P100</b>	<b>U100</b>	<b>U50</b>	<b>Total 200 m</b>
<b>VCI</b>	.750 <sup>a</sup>	.775 <sup>a</sup>	.819 <sup>a</sup>	.784 <sup>a</sup>	.848 <sup>b</sup>

<sup>a</sup>  $p < 0.05$   
<sup>b</sup>  $p < 0.01$

A VCI apresenta correlações fortes com todos os parciais e inclusive com a velocidade média dos 200 metros ( $r = 0.848$ ;  $p = .008$ ).

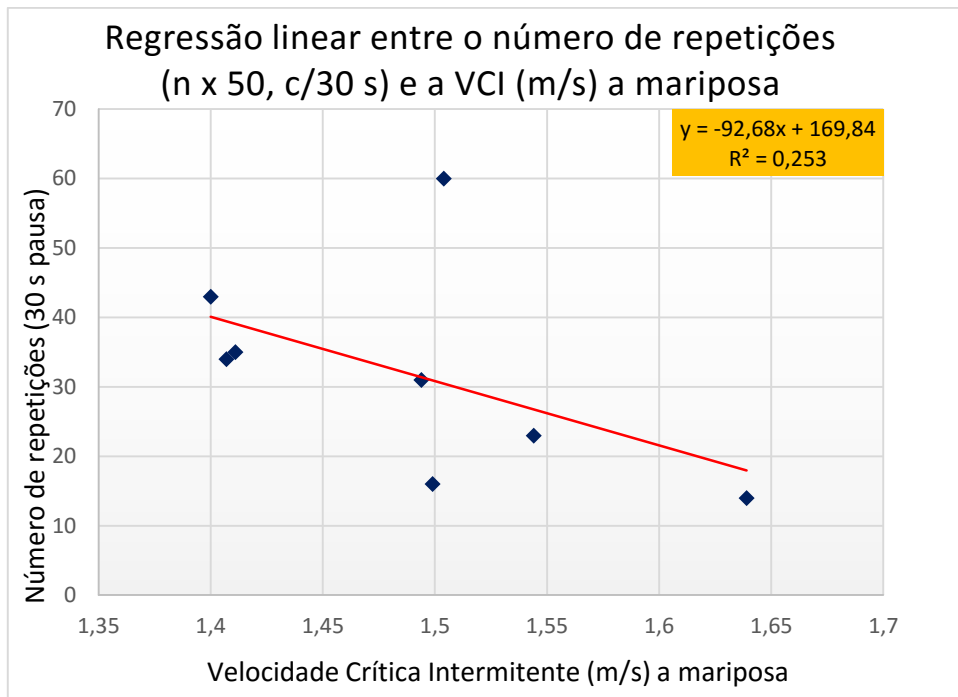
No entanto, verificou-se que a VCI apresenta diferenças significativas com as velocidades relativas aos parciais dos primeiros 50 e 100 metros e últimos 100 m da prova de 200 m ( $p < .05$ ), sendo que a relação com os últimos 50 metros da prova apresenta um nível de significância exatamente de 5 % (ou seja,  $p = .050$ ). Quanto à relação entre a VCI e a velocidade dos 200 m, não se verificaram diferenças significativas ( $p > .05$ ), e é de denotar que com o decorrer dos 200 m, as diferenças entre as velocidades dos parciais e a VCI vão diminuindo (em cada 50 metros a velocidade aproxima-se um pouco mais da VCI).

Foram realizadas duas séries até exaustão (n x 50 m), a primeira com 15 segundos de pausa passiva entre repetições, e a segunda com 30 segundos. Se na primeira verificou-se uma forte correlação inversa ( $r = -.727$ ;  $p = .041$ ) com a VCI (tal como verificado a



**Figura 7** - Gráfico representativo da regressão linear entre o número de repetições (série ate exaustão com 15 segundos de pausa) e a VCI a mariposa

crol), na segunda tal correlação não se verificou ( $r = -.490$ ;  $p = .218$ ). A estas correlações, interessa acrescentar que o número de repetições realizadas é estatisticamente diferente entre as duas séries até exaustão ( $p < .05$ ), sendo que na série que contém 15 s de pausa ( $14 \pm 5$  repetições) foram realizadas menos repetições do que na série intervalada por 30 segundos de recuperação passiva ( $32 \pm 15$  repetições) ( $p = .004$ ).



**Figura 8** - Gráfico representativo da regressão linear entre o número de repetições (série até exaustão com 15 segundos de pausa) e a VCI a mariposa

Relativamente à análise do comportamento da lactatemia ao longo das séries até exaustão, há que salientar, que de um modo distinto do sucedido a crol, na série com 15 s pausa, o perfil da curva de lactato foi ascendente (de forma progressiva) ao longo de toda a série, e verificado em todos os sujeitos (ver o exemplo de um dos nadadores, na figura 5).

Na série cujo tempo de descanso foi de 30 segundos, o comportamento dos nadadores foi distinto entre si, não tendo sido possível observar uma tendência clara em determinado perfil de lactato. Deste modo, três dos nadadores evidenciaram uma curva predominantemente ascendente ao longo de toda a série, outros dois exibiram um perfil estável sem grandes oscilações nos níveis de  $[La^-]$  (onde numa fase inicial há uma normal aumento, mas que depois a tendência é a de estabilizar, como está representado na figura 5), e os restantes três nadadores apresentaram um traçado ascendente.



**Figura 9** - Cinética da lactatémia (mmol/l) ao longo das duas séries até exaustão (gráfico superior respetivo à série 15s pausa, e o inferior relativo à de 30 s pausa) a mariposa (exemplo do mesmo sujeito)

A variação dos níveis de lactato ao longo das séries foi evidente, e a comprovar este facto temos os coeficientes de variação, tanto para a série até exaustão com 15 s de pausa entre repetições, como para a série intervalada com 30 segundos de recuperação passiva, com valores de  $27,5 \pm 8,2\%$  e  $19,5 \pm 3,2\%$ , respetivamente. Um dado adicional, é o de que na série com 15 s de pausa, se verificou um aumento estatisticamente significativo da lactatémia entre o valor inicial e o intermédio ( $p = .000$ ), entre o inicial e o final ( $p = .000$ ), e entre o valor intermédio de lactato e o final ( $p = .011$ ). Contudo, na série até exaustão com 30 s de pausa, e apesar de se evidenciarem diferenças significativas entre os valores iniciais e intermédios ( $p = .003$ ) e entre os iniciais e os finais ( $p = .001$ ), o valor intermédio e o valor final de  $[La^-]$  não são estatisticamente diferentes ( $p = .231$ ).

A tabela 6 resume de uma forma concisa os valores médios, em instantes/momentos importantes na análise do sucedido no decorrer das séries até exaustão a mariposa, como os valores de lactato e frequência cardíaca: iniciais, intermédios, finais, 3 minutos após a série, e a respetiva média da série.

**Tabela 12** - Resumo dos valores da Lactatémia e Frequência Cardíaca em momentos chave, respetivos às séries até exaustão a mariposa (início, meio e fim da série), quer com 15s de pausa, quer com 30s

**Valores de Lactato em momentos chave de ambas as séries até exaustão**

<b>Instante</b>	<b>Início</b>	<b>Intermédio</b>	<b>Fim</b>	<b>3 min após</b>	<b>Média da série</b>
<b>La<sup>-</sup> (mmol/l) série c/ 15s</b>	7,0 ± 2,2	10,5 ± 2,1	12,0 ± 2,0	10,9 ± 2,3	10,0 ± 1,9
<b>La<sup>-</sup> (mmol/l) série c/ 30s</b>	5,7 ± 1,1	10,7 ± 3,6	9,3 ± 2,7	8,4 ± 2,8	8,7 ± 1,7
<b>FC (bat.min) série c/15s</b>	155 ± 15	172 ± 10	168 ± 16	118 ± 9	167 ± 11
<b>FC (bat.min) série c/30s</b>	142 ± 18	169 ± 12	155 ± 16	116 ± 13	162 ± 11

Quanto à análise de alguns parâmetros da braçada, foi dada primazia à Frequência de Ciclo e à Frequência Crítica de Ciclo (FCC), como mencionado a crol. O coeficiente de variação da Frequência de Ciclo a mariposa, foi inferior ao encontrado nos sujeitos que realizaram a série até exaustão a crol, sendo  $1,7 \pm 0,5\%$  para a série com 15s e  $1,4 \pm 0,5\%$  para a série com 30s de pausa. As médias destas frequências foram de  $48.6 \pm 3.1$  ciclos.min e de  $48.4 \pm 3.3$ , respetivamente (sem diferenças significativas entre as séries,  $p > .05$ ), e nas duas séries, os valores finais e iniciais da frequência de ciclo foram em média sempre de  $48.2 (\pm 3.1)$  ciclos por minuto, e naturalmente entre o início e fim de cada uma das séries não foram verificadas diferenças estatisticamente significativas ( $p > .05$ ).

Foram encontradas correlações positivas elevadas entre as Frequências de Ciclo ao longo da série e entre as mesmas e a Frequência Crítica de Ciclo. A Frequência de Ciclo inicial (na série com 15 s) foi significativamente superior ( $p = .033$ ) à FCC (embora altamente correlacionadas,  $r = .867$ ;  $p = .005$ ), enquanto todas as outras relações entre a FCC e os demais momentos de análise da Frequência de Ciclo não apresentaram

diferenças estatisticamente significativas. Adicionalmente observou-se a relação entre a FCC e o número de repetições nas séries até exaustão, e na realidade as correlações não são significativas, embora seja negativa ( $r = -.50$ ).

## **V. Discussão**

### **1. Análise aos testes realizados a crol**

Antes de desenvolver a argumentação para os resultados obtidos, é necessário contextualizar os testes realizados com a experimentação metodológica que foi concebida. Foi um desafio conceptual e metodológico abordar a questão da Velocidade Crítica Intermitente (VCI) na natação, pois nunca antes tinha sido equacionada, ou pelo menos publicado cientificamente, o que confere um cariz de incerteza quanto à operacionalização dos testes, assim como a possíveis interpretações dos resultados obtidos.

Como já foi visto, a VC foi significativamente inferior à VCI ( $p < .05$ ), algo já esperado uma vez que a VC provém de duas distâncias fixas e contínuas, enquanto que a VCI advém de duas tarefas intervaladas com descanso entre repetições, ou seja, propícios tanto a uma maior velocidade como a uma recuperação no decorrer do próprio teste.

Os testes de 200 e 400 metros forneceram-nos a VC, contudo e segundo Rodríguez (2000) e ainda Espada & Alves (2010), o teste de 400 m, ou melhor, a velocidade com que é nadado, confere-nos uma importante variável de avaliação aeróbia, a VAM (Velocidade Aeróbia Máxima). Ao analisarmos a velocidade respetiva à VC e à VCI, percebemos que em média a VC representa 96,2 % da VAM e a VCI representa 111,4 % da VAM. Estes valores da VC estão em linha com os encontrados por Reis & Alves (2006), onde a VC (também calculada pelas distâncias de 200 e 400 m) corresponde a 94,5% da V400 (parâmetro este praticamente idêntico à VAM), e com Dekerle (2006), que menciona valores para a VC entre os 92 e 96% da V400.

Na prática, isto diz-nos que o teste até exaustão (que se efetuou na intensidade correspondente à VCI) foi realizado no domínio severo. Já antes, alguns autores tinham verificado que a VC se localizava na fronteira entre os domínios pesado e severo, como Smith & Jones (2001) na corrida, Pringle & Jones (2002) no ciclismo, ou Dekerle et al. (2010); Espada & Alves (2010); Franken, Zacca & Castro (2011) na natação]. Relativamente à natação, levantaram-se algumas questões quanto há possibilidade da VC ser sobrestimada, dizendo que acima de tudo se não houver pelo menos uma distância de 15 minutos (num dos testes) a VC poderá encontrar-se num domínio severo (Wright & Smith, 1994).

Contudo, e apesar de esta realidade ser constatada, decidimos utilizar o teste das 8 x 50 para criar uma nova variável, que foi apelidada de “Velocidade Aeróbia Máxima Intermitente/Intervalada” ( $VAM_{int}$ ). O intuito foi aproximar a variável e a nossa análise ao contexto, à realidade, e se a VCI foi determinada de um modo intervalado (ao contrário da VC), faria sentido procurar um modo de exprimir a VAM igualmente de um modo intervalado. Assim, a VCI representou 98,6 % da  $VAM_{int}$  (muito diferente dos 111,4 % da VAM), o que já nos parecia mais prudente para a aplicação do teste até exaustão, de modo a que a intensidade pré determinada pudesse ser encarada como passível de manutenção por um período de tempo médio a longo.

Fruto dos testes realizados, é natural que a VC esteja altamente correlacionada com a VAM ( $r = .909$ ;  $p = .002$ ) e a VCI com a  $VAM_{int}$  ( $r = .964$ ;  $p = .000$ ) (embora em ambos os casos com elevados valores de  $r^2$ ), e por si só estas correlações não nos dizem muito mais, contudo importa salientar que esta última ( $VAM_{int}$ ) se correlaciona de forma elevada e positiva com a velocidade nos 200 metros (tempo proveniente do teste;  $r = .874$ ;  $p = .005$ ) e com a velocidade dos 200 metros do recorde pessoal da época (oficial e registado em prova;  $p = .853$ ;  $p = .007$ ). Pode, desde já, ser feito um *transfer* mais específico para o treino, na medida em que as velocidades se equiparam, o que levanta a possibilidade de ao realizar trabalho específico no treino à velocidade correspondente à  $VAM_{int}$ , poder ser um estímulo adequado para trabalhar de forma incisiva os 200 metros (e nem tanto uma distância maior, embora os 400 m também tenham uma correlação e significância elevada de  $r = .765$  e  $p = .027$ ).

Acrescente-se que para além de levantar a hipótese de *transfer* para o treino com a argumentação exemplificada anteriormente, também o facto de não haverem diferenças estatisticamente significativas entre a  $VAM_{int}$  e a velocidade média dos últimos 50 metros do tempo oficial de 200 metros (e ao mesmo tempo não haver em relação ao restantes parciais, nem ao diversos parciais do teste de 400 metros) ( $p > .05$ ), confere uma vitalidade importante a esta variável, com potencial para vir a ser encarada como determinante na fase terminal dos 200 metros.

Quanto à velocidade crítica intermitente (VCI), esta correlaciona-se positivamente e com significância com os parciais finais tanto do teste de 400 metros (últimos 150, 100 e 50 metros), como no de 200 metros (últimos 100, sendo que no caso dos últimos 50 a significância é de  $p = .06$ ), reforçando a ideia da aplicação direta deste instrumento no treino (não esquecendo que a VCI representa 98,6 % da  $VAM_{int}$ ). Já alguns investigadores utilizaram ou mencionaram apenas possíveis aplicações da VC no treino (Dekerle et al.,

2006; Dekerle & Pelayo, 2011; Fernandes, 2011), contudo, a VCI aparece aqui como um novo desafio, que pode e certamente sofrerá desenvolvimentos num futuro próximo, podendo a nosso ver também esta ser muito importante na operacionalização das cargas de treino.

No que diz respeito à série até exaustão (com 15 segundos de recuperação passiva), tanto a VCI como a  $VAM_{int}$  obtiveram boas correlações mas negativas com o número de repetições realizadas ( $r = -.830$  e  $r = -.753$ , respetivamente), sendo ambas estatisticamente significativas ( $p < .05$ ). Em termos puros o que isto reflete é simplesmente que, quanto menor for o valor destas velocidades, maior será o número de realizações realizadas.

Este era um resultado esperado, na medida em que a tolerância ao exercício é muito maior, quando a intensidade é “menor” (a intensidade relativa pode manter-se, mas com o passar do tempo levará à instauração da fadiga, sobretudo por tratar-se de uma intensidade no domínio severo), principalmente porque não ocorre o aparecimento da componente lenta e conseqüentemente não se verifica uma falência na concentração de fosfocreatina (Bailey et al., 2009)], embora a boa correlação ajude a consolidar esta ideia. No entanto, é importante reforçar a ideia de que a intensidade relativa é a mesma ao longo da série (tempo pré determinado), o mesmo não se passa com a tolerância ao exercício que vai diminuindo.

Em termos de literatura, não aparentam haver evidências claras que possam contrariar este facto. As outras variáveis abordadas relacionadas com a velocidade (VC e VAM) evidenciaram igualmente correlações negativas com o número de repetições, embora muito fracas e sem significância.

Estas evidências encontradas vêm ao encontro do que foi referido por Fernandes et al. (2003), de que os nadadores com uma baixa potência aeróbia, aparentemente contêm uma maior capacidade de sustentar uma intensidade de exercício, ao constatar os factos de que tanto a velocidade a que foi atingido o  $VO_{2max}$ , como a velocidade do limiar láctico estão inversamente correlacionadas com o tempo limite.

Como mencionado anteriormente, as referências que temos em natação são todas centradas na VC, que portanto é abordada como uma velocidade possível de manter por um longo período de tempo. A VCI, sendo uma velocidade superior é natural que essa manutenção de velocidade não seja tão evidente, assim como os próprios parâmetros fisiológicos. Veja-se por exemplo alguns dos testes preditivos da VCI/PCI realizados até agora (Berthoin et al., 2006; Okuno et al., 2011; Aguiar et al., 2012; Fukuda et al., 2012),

quase todos eles centravam-se em potências (em percentagens da VAM) acima dos 100% da VAM e a grande maioria até 130 e 140% da VAM, em que os próprios testes eram realizados a essas intensidades, de modo a não se prolongarem por mais de 3 a 15 minutos de exercício (tempo este já estipulado em muitos testes da VC, como pode ser verificado na revisão bibliográfica, semelhante ao inicialmente estabelecido por Poole et al., 1988), com a intenção clara de ser um período que à partida seria suficiente para o aparecimento do  $VO_{2\text{máx}}$  (Dekerle et al., 2002; Di Prampero, 1999).

Mas uma das questões mais relevantes que se coloca, diz respeito à eficácia do parâmetro VCI, levantando a incógnita quanto à operacionalização desta variável (pelo menos ao ser equiparada à VC). É fundamental perceber que se a VC se encontra na fronteira entre os domínios pesado e severo (Poole et al., 1988; Dekerle et al., 2010; Espada & Alves, 2010; Franken, Zacca & Castro, 2010), logo se a VCI (neste estudo) foi cerca de 15% superior à velocidade correspondente à VC, é de supor-se que a VCI está localizada no domínio severo de intensidade.

Com esta presunção, à partida, na série até exaustão, dificilmente a lactatémia seria mantida, pois, segundo Whipp et al. (1982), Jones et al. (2008) ou ainda Greco, Caputo & Denadai (2008), neste patamar a taxa de produção de lactato é maior que a taxa de remoção, o que leva ao acúmulo e incremento na relação entre ácido láctico e ácido pirúvico, assim como da concentração de iões de Hidrogénio ( $H^+$ ). O mesmo autor acrescenta que logicamente neste domínio a tolerância ao esforço é reduzida, com perturbações celulares (taxa de produção e remoção de metabolitos), causadas pelas elevadas necessidades a nível muscular de adenosina trifosfato.

Como esperado, ao longo da série até exaustão não houve estabilização da lactatémia. Aliás, esta variável teve um comportamento algo anormal, porque em média, teve uma ascensão numa fase inicial, mas na parte final teve um decréscimo (ainda antes da recuperação passiva). Estes resultados não seriam espectáveis, contudo aproximam-se daqueles obtidos por Wakayoshi et al. (1993) e também por Brickley et al. (2004) (citado por Dekerle, 2006), embora em séries muito distintas, por serem séries de 400 metros. Convém recordar que apesar de falar em expectativas, nada era certo, uma vez que tudo isto é novo e está a passar por uma fase de experimentação, e mais estudos futuros poderão consolidar esta cinética de lactato ou não.

Apesar de todos os factos apresentados até ao momento terem sustentado que a VCI se enquadra no domínio severo, é importante recapitular alguns princípios do domínio pesado, de forma a realçar as discrepâncias com os resultados que obtivemos.

De acordo com alguns estudos recentes efetuados em natação, como o de Zacca (2012), existe a tendência para a lactatemia estabilizar em concentrações elevadas (principalmente ao comparar com o exercício moderado). Na mesma lógica, Greco et al. (2008), defende que apesar dos níveis elevados de *stress* metabólico ainda há a possibilidade de manter um *steady state* fisiológico, realizando o exercício por um longo período de tempo (também este estudo centrado em natação). Na nossa recolha, é complexo e redutor afirmar que o exercício se prolongou por um longo período de tempo, uma vez que houve ainda uma grande variação entre o número de repetições, embora a média tenha sido de 32 repetições (sensivelmente 976 s de trabalho, desprezando as pausas).

É de realçar ainda o facto de haver a tendência aparente da cinética do lactato assemelhar-se a um trajeto côncavo (sobe e desce), ou seja, para além de haver uma certa estabilização em valores elevados (embora que muito diminuta), no fim decresce (ver exemplo da Figura 2 nos resultados, referente à cinética de um nadador ao longo da série até exaustão). Este comportamento é de difícil análise, pois parece aproximar-se de um domínio de menor intensidade, colocando dúvidas quanto à localização exata da VCI, em termos fisiológicos.

Relativamente ainda à cinética do lactato, é importante referir que o perfil da cinética está altamente correlacionado com a VC, com a VCI, com a VAM e igualmente com a  $VAM_{int}$ , ou seja, a velocidade está intimamente relacionada com a curva, e o comportamento da lactatemia é fortemente influenciado pela velocidade de nado “escolhida” para a série até exaustão. Dito de um outro modo, a curva adotará outro comportamento se a velocidade relativa (para cada indivíduo e não de forma absoluta) for maior (a fase ascendente iria conter uma inclinação mais acentuada e provavelmente não se veria um decréscimo posteriormente), ou se for menor (curva menos “côncava” e uma tendência para a estabilização da lactatemia).

Quanto ao comportamento do lactato, lembrar que o seu valor inicial (na quarta repetição) é diferente do valor intermédio ( $p < .05$ ), assim como o final é diferente do inicial ( $p < .05$ ). Por último, o valor intermédio não é estatisticamente diferente do valor de lactato final ( $p > .05$ ), o que nos indica que provavelmente não deva ser dada muito ênfase a este decréscimo, por não ser significativo (embora em termos visuais dê essa sensação). O coeficiente de variação ao longo da série é de 16,6% (sendo quase

considerados dados de baixa dispersão e portanto homogêneos), percebendo que essa diferença se efetiva acima de tudo na fase ascendente.

Foi ainda utilizada a Frequência Cardíaca, mas apenas como um indicador mais, de modo a auxiliar se necessário a interpretação dos resultados. Esta caracterizou-se por um aumento gradual com o avolumar da série, e à medida que a tolerância diminuía, sendo este um resultado esperado pela intensidade do exercício em questão, ou seja, de alta intensidade (Borresen & Lambert, 2008; Bellenger et al., 2015), no entanto preferimos não dar muita atenção a esta variável (apesar de ser sempre interessante e passível de muitas interpretações), pois também induz facilmente ao erro e a extrapolações divergentes com as da realidade, nomeadamente por ser obtida no meio aquático. Independentemente disso, os resultados da frequência cardíaca relativamente à fase inicial, intermédia e final da série (assim como 3 min após), e ainda a média da FC ao longo da série até exaustão podem ser vistos nos Resultados.

É vital reforçar a ideia de que (e como as diferenças no lactato não são significativas), de que todos os resultados apontam para que a VCI seja uma intensidade correspondente ao domínio severo: número de repetições, o elevado lactato verificado, a tendência ascendente da frequência cardíaca. Parece sim que deva ser enfatizada a relação da VCI com o treino, sobretudo através da relação da VCI com a velocidade de prova de 200 metros.

Outro dos destaques da investigação, é a avaliação de alguns parâmetros da braçada (Frequência de Ciclo, Distância de Ciclo e um conceito defendido por Dekerle (2006), denominado por Frequência Crítica de Ciclo/de Braçada). O mais importante a reter é a constatação de que houve estabilização da Frequência da Braçada/de Ciclo ao longo da série até exaustão (média de 41.5 ciclos.min, sem diferenças significativas entre diferentes momentos de análise, e com coeficiente de variação de 2,6%). São poucas as comparações que se possa fazer com outros estudos, pois os escassos a ter esta análise, fazem com séries de 400 m (como é o caso de Tsalis et. (2012), onde também eles não encontraram diferenças significativas na Frequência de Ciclo, nem na Frequência Crítica de Ciclo ao longo da série).

Este tipo de resultados são díspares aos de Toussaint & Beek (1992) e Zamparo et al. (2005), que embora se incidam em velocidades submáximas, abordam a questão referindo que a fadiga muscular diminui progressivamente a eficiência quanto à amplitude/distância de ciclo, que por sua vez é compensado por um aumento na frequência gestual, na tentativa de manter a mesma velocidade de nado. Ou seja, com a

continuação do esforço, e naturalmente com o aumento da fadiga muscular, o nado torna-se menos eficiente (o *output* mecânico em si), ocorrendo uma diminuição na amplitude de cada ciclo (menor distância de ciclo).

Como já foi possível evidenciar nos resultados, não se verificaram diferenças significativas entre a Frequência Crítica de Ciclo (FCC) e a F. Ciclo inicial ou até mesmo entre a FCC e a F. Ciclo final, corroborando a clara ideia de manutenção dos parâmetros da braçada. Aliás a FCC foi de 42,5 ciclos por minuto, valor muito semelhante a média de ciclos de toda a série (41,5 ciclos.min). Ou seja, por um lado, temos a lactatemia a negar um pouco esta ideia de continuidade, de estabilização, mas por outro temos os parâmetros da braçada a serem mantidos ao longo de mais de 15 minutos (em média), numa intensidade correspondente a 111% da VAM e 98% da VAM<sub>int</sub>.

Apesar deste aparente paradoxo, é importante referir que se a velocidade é mantida ao longo da série [era um pressuposto base, apesar de alguns autores, como Dekerle (2006) referir que hoje em dia a maioria dos autores já nem considera a VC como um intensidade sustentável], também é espectável que a braçada se mantenha constante, contudo poderíamos verificar por exemplo uma diminuição na distância de ciclo e aumento da frequência de ciclo com o diminuir da tolerância ao esforço, mas tal não foi aferido, mantendo-se estáveis ( $p > .05$ ).

## **2. Análise aos testes realizados a mariposa**

A exploração do conceito de velocidade crítica intermitente a Mariposa é de difícil aplicação. De facto, não só está em causa a técnica de nado utilizada, como também a metodologia pioneira que foi utilizada.

Não fazia sentido, realizar a mariposa os testes contínuos (como foram realizados a crol os 200 e os 400 m), pois a máxima distância que existe em prova são os 200 metros mariposa, logo fazer, por exemplo, 400 m a mariposa, seria disfuncional pela descontextualização com a realidade, e longe daquilo que é solicitado no treino em termos de estímulo, daí terem sido efetuados exclusivamente os dois testes intervalados (4 x 50 e 8 x 50) para a obtenção da VCI. Relativamente ainda a este tópico, é possível desde já argumentar que uma das razões pela qual o foco deste estudo foi na VCI e não na VC, foi exclusivamente para tentar encontrar mais uma forma de aproximar a investigação do que se passa no treino, tornando a “nova ferramenta” operacional para todos os treinadores e de muito fácil aplicação.

Primeira noção que pode ser dada, é de que a VCI a mariposa representa 97,5 % da  $VAM_{int}$  (cerca de 1,1 % inferior relativamente a crol), e que só por esta razão poderia fazer-nos pensar que a respetiva intensidade é inferior e portanto com uma maior probabilidade de ser mantida (comparativamente a crol). Contudo, é inequívoco que há um maior gasto energético na técnica de mariposa do que na técnica de crol (Faulkner, 1966; Holmér, 1974; Holmér, 1992; Barbosa et al., 2006).

Tendo em conta alguns dos resultados já expostos, parece-nos uma vez mais que a grande aplicabilidade da VCI (a mariposa), está relacionada com a prova de 200 metros, na medida em que a velocidade média da prova de 200 metros (tempo oficial), não apresenta diferenças significativas com a VCI ( $p > .05$ ). Ao analisar a relação com os diferentes parciais, é de denotar que existem diferenças significativas entre a VCI e os últimos 50 metros da prova de 200 m, mas quase fora do intervalo de confiança ( $p = .05$ ), o que pode sempre (como na técnica de crol) deixar alguma margem exploratória neste âmbito, parecendo que a VCI tem uma preponderância nesta fase final, embora não seja linear esta interpretação. Nesta linha de pensamento, outra das questões que não só pode, como deve ser levantada, prende-se ao facto da amostra ser de apenas 8 nadadores, e estamos em crer que com uma amostra superior, o valor de  $p$  pode ser inferior aos 0.05, embora o desvio padrão relativo ao teste de diferenças entre as respetivas variáveis seja diminuto (0,05 m/s).

Relativamente ainda aos diferentes parciais da prova de 200 m (tal como a velocidade média dos próprios 200 m), com a VCI, assim como entre a VCI com a  $VAM_{int}$ , é importante referir que todas apresentam altas correlações, e estatisticamente significativas, o que em última instância favorece a metodologia aplicada com a VCI.

Naturalmente, há diferenças significativas entre o número de repetições de ambas as séries até exaustão, sendo a série que contém 30 s de pausa, significativamente superior à série de 15 s de pausa ( $p < .05$ ). Contudo, isto não nos diz nada sobre as diferenças reais entre as duas séries, no entanto é de valorizar a alta correlação e significativa, mas negativa entre a VCI e o número de repetições da série até exaustão c/15 s ( $r = -.727$ ;  $p = 0.41$ ), tal como existe em crol, provavelmente pelas razões fisiológicas apresentadas anteriormente (ver terceira página da discussão). Na série intervalada com 30 s de pausa, tal correlação apesar de negativa, não é estatisticamente significativa.

Com este *output* pode supor-se que o efeito “tempo de recuperação passiva” tem uma grande influência também neste prisma, contudo ao explorar o tratamento dos dados, e excluindo o nadador que fez um número de repetições consideravelmente maior do que

os restantes, e ficando sujeito a uma amostra ainda significativa de 7 sujeitos bem treinados e de nível nacional, é possível divergir desta ilação. Ou seja, deste modo obtemos uma correlação inversa entre a VCI e o número de repetições ( $r = -.849$ ;  $p = .016$ ) efetuadas na série até exaustão com 30 segundos de pausa, assim como entre a própria  $VAM_{int}$  e o número de repetições (prevalecendo o que foi anteriormente argumentado e revisto no artigo de Fernandes et al., 2003).

Deste modo, pode especular-se quanto à consistência desta correlação (tempo limite/número de repetições *vs* VCI/ $vVO_{2máx}$ ), que seja idêntica em termos comportamentais, independentemente da técnica de nado.

Tal como a crol, a mariposa os nadadores tiveram um aumento progressivo no que diz respeito à Frequência Cardíaca (embora menos acentuado), e que por si só torna a análise um pouco redutora, se bem que em alguns nadadores houve uma clara diminuição da FC na(s) última(s) repetição(ões), facto maioritariamente correlacionado com a fase final da tolerância ao esforço (estando esta em clara fase descendente) e consequente instalação de fadiga. Tal facto pode ser visto nos resultados, onde em função desta diminuição da FC por alguns nadadores, fez com que a média geral da amostra tenha apresentado um decréscimo entre a fase intermédia da série e a fase final (mas sem diferenças significativas, para ambas as séries).

Em mariposa, a interpretação do perfil da curva de lactato é complexa e divergente do encontrado a crol, isto porque para além de serem realizadas em média menos repetições do que a crol (na série até exaustão com 15 s de pausa), o perfil destaca-se claramente (visualizado em todos os nadadores) por uma ascensão dos níveis de lactato, sem que ocorra a queda na fase terminal (como vimos a crol). Uma das hipóteses prende-se com o facto de em termos biomecânicos ser uma técnica muito menos económica, e por haver uma maior complexidade em termos de arrasto (superfície mestra, típico das técnicas simultâneas) (Barbosa et al., 2006).

Quanto à série com 30 segundos de pausa, o comportamento foi muito distinto, havendo uma predominância evidente da subida gradual do lactato (elevação esta muito menos acentuada quando comparada com a série de 15 s pausa), e em alguns casos o perfil equiparou-se ao encontrado a crol, ou seja, havendo uma certa manutenção da  $[La^-]$  em valores elevados (sensivelmente entre os 8 e os 12 mmol) e até mesmo reduzindo esses valores antes de terminar o exercício. Isto leva-nos novamente a questionar o efeito tempo de pausa, uma vez que tal como visto relativamente na correlação inversa entre o nº de repetições e a VCI, o facto de a pausa aumentar para o dobro (15 s *vs* 30 s), parece

haver a tendência de aproximar-se ao comportamento visto a crol, mas na série de exaustão com pausas de 15 s. Explicitado de uma outra forma, a técnica de mariposa requer mais tempo de recuperação entre repetições, de modo a que o comportamento metabólico se assemelhe ao de crol (com metade do descanso), algo que também pode ser parcialmente justificado pela hipótese dada acima, quanto ao maior custo energético que a técnica de mariposa exige, por diversos fatores, entre os quais biomecânicos, embora os parâmetros da braçada estivessem estabilizados ao longo da série.

O coeficiente de variação relativo à cinética do lactato foi muito superior ao encontrado a crol, tanto na série até exaustão com 15 s de pausa (CV = 27,5 %), quer na de 30 s (19,5 %). Embora não seja possível fazer esta relação direta, é provável que para os valores de lactato serem mais estáveis no decorrer da série intervalada (a mariposa), o tempo de pausa tenha de ser superior a 30 segundos (para obter uma variação idêntica a de crol, seria necessário mais que 30 s de recuperação passiva). A mariposa é notório que o tempo de descanso é fundamental para as consequências fisiológicas (não só no nº de repetições já revisto), nomeadamente quando é possível vislumbrar diferenças estatisticamente significativas entre os coeficientes de correlação para as duas séries até exaustão ( $p < .05$ ).

Neste sentido, ficam aqui duas questões para futuros estudos que me parecem pertinentes: a) Será que noutras técnicas de nado é idêntica esta relação tão evidente com o tempo de pausa? b) Qual será o tempo mínimo necessário (para cada técnica) para que os parâmetros fisiológicos possam ser mantidos, de modo a que o coeficiente de variação seja inferior a 15% (para considerarmos os dados como homogêneos (Lopes, 1999)).

De acordo com Louro et al. (2010), a mariposa há uma aparente maior estabilidade nos parâmetros da braçada para os nadadores que apresentam uma maior velocidade de nado. No nosso estudo esta tendência parece confirmar-se, sobretudo quanto maior for o tempo de descanso (30 vs 15 s), embora não haja diferenças significativas entre os coeficientes de variação da frequência de ciclo das duas séries até exaustão ( $p > .05$ ).

Neste estudo e apesar dos dados fisiológicos terem variações evidentes ao longo da série até exaustão, não ocorreram diferenças significativas na Frequência de Ciclo ao longo de cada série, com os coeficientes de variação a balizarem-se entre os 0 e os 2%, considerando assim os dados como muito homogêneos. Não se verificaram também diferenças significativas ( $p > .05$ ) nestes coeficientes, entre séries. Foi igualmente possível verificar que não se registaram diferenças estatisticamente significativas entre a FCC (Frequência Crítica de Ciclo) e a média da Frequência de Ciclo (em ambas as séries até

exaustão). Este pode até parecer um dado banal, mas ao ser associado às elevadas correlações entre as Frequências de Ciclo iniciais e finais (das duas séries até exaustão), assim como não haver diferenças significativas entre estes dois valores (inicial e final), diz-nos em primeiro lugar que houve estabilização dos parâmetros da braçada (porque não foi só a frequência de ciclo) e que esse é um dos pressupostos tradicionais do conceito de velocidade crítica (di Prampero, 1999; Smith & Jones 2001), e em segundo, que o conceito proposto por Dekerle (2006) de “Frequência Crítica de Braçada” foi comprovado aqui, como também sendo aplicável neste tipo de trabalho intermitente, mas também ao ser aplicado noutras técnicas de nado, que não seja apenas crol, neste caso foi verificado a mariposa.

Não foi possível comparar o comportamento dos diferentes escalões etários devido ao tamanho da amostra. No entanto, decidimos fazer uma análise exploratória (n = 4 juvenis vs n = 4 juniores e seniores) e verificámos para ambas as técnicas, não haver diferenças significativas quanto à VCI (e  $VAM_{int}$ ). Desta forma, principalmente pela reduzida amostra, consideramos que este é um fator que interessa continuar a ser estudado em oportunidades futuras.

Outra das questões importantes é a aplicação da VCI noutras técnicas de nado, e nós tivemos a oportunidade de experimentar com a técnica de Bruços, e neste caso a VCI parece ser um instrumento de avaliação aeróbia mais incisivo do que a mariposa (onde a componente anaeróbia também parece ter um peso mais avultado que a bruços considerável), reforçando a ideia de que a VC é um índice de avaliação aeróbia em jovens nadadores (VCI a bruços provavelmente com mais semelhanças ao conceito original de VC) (Wakayoshi et al., 1992; Toussaint et al., 1998; Papoti et al., 2005; Reis & Alves, 2006). Contudo, e ainda relativamente a esta hipótese levantada a Bruços, há que dizer em sentido contrário que esta menção pode ser questionada, na medida em que é do “senso comum” que a Bruços é a técnica de nado onde existe uma maior variação intracíclica, e onde o arrasto é maior (Gatta et al., 2015), o que em teoria poderia comprometer a valorização desta técnica enquanto padrão aeróbio no que diz respeito á aplicação da VCI.

É de recordar que tanto por Billat et al. (2001), como por Laursen & Jenkins (2002) ficou evidenciada a valorização do treino mais intervalado intensivo (equiparado à VCI), nomeadamente quando aplicado durante longos períodos, para além das claras melhorias na capacidade e na potência aeróbia, também se verificaram ganhos na capacidade anaeróbia.

## VI. Conclusão

Constatou-se que o conceito de PCI (à imagem da PC), pode ser aplicado à natação de competição, com as devidas adaptações (sobretudo pelo meio em causa), e que a VCI obtida por este método (sem custos), pode ser adotada como um padrão, de modo a prescrever o desempenho na natação.

Assim, é inequívoca a necessidade em individualizar adequadamente as cargas de treino de forma a otimizar as adaptações fisiológicas, evitando assim consequências indesejadas, como é o caso do *overtraining*, especialmente quando a precisão dos estímulos é um fator determinante para trabalhar com os estímulos corretos e necessários, nomeadamente com o aumentar dos níveis de exigência e *performance*. Nesta perspetiva, o conceito de VC e VCI parece providenciar um instrumento válido, de fácil manuseamento e prático no que diz respeito à obtenção do ritmo propício e à avaliação do processo de treino.

Urge salientar que se a VC é encarada predominantemente como um parâmetro aeróbio, já a VCI parece ser um parâmetro propício à individualização do treino, muito específico para o treino da prova de 200 metros (premissa levantada neste trabalho pelo menos a crol e a mariposa).

Perante os resultados obtidos, deduz-se que a VCI poderá ser implementada na planificação da dinâmica da carga e mais especificamente das velocidades a utilizar, com primazia nas séries intervaladas, desde que as pausas prolongadas sejam evitadas. Caso a Velocidade Crítica Intermitente seja rigorosamente aplicada, a intensidade a utilizar em determinado exercício (conferida em função da VCI) será o estímulo necessário para criar a adaptação desejada, independentemente da idade ou do nível qualitativo e competitivo do nadador.

A maior potencialidade desta variável, testada pela primeira vez em natação, prende-se ao facto de não só rendibilizar o treino do nadador, ao respeitar a carga necessária (como exposto acima), mas sobretudo na otimização do treino específico para a prova de 200 metros, evidenciado pelas elevadas correlações encontradas e pela similaridade dos valores das velocidades médias dos diferentes parciais da prova com a VCI, tanto a crol como a mariposa, parecendo em termos energéticos situar-se num ponto intermédio entre o sistema anaeróbio láctico e o sistema aeróbio.

Em suma, o conceito pioneiro na natação de VCI, evidencia dados importantes e aplicáveis no processo de treino em natação pura, conferindo à modalidade uma variável

que vem de certo modo colmatar algumas lacunas neste tipo de domínio de intensidade, assim como permitirá à natação equiparar-se com modalidades como o ciclismo e o atletismo (corrida), abrindo deste modo uma nova janela de oportunidades para a investiga o na natação.

## VII. Referências Bibliográficas

- Abe, D., Tokumaru, H., Niihata, S., Muraki, S., Fukuoka Y., Usui, S. & Yoshida, T. (2006). Assessment of short-distance breaststroke swimming performance with critical velocity. *Journal of Sports Science & Medicine*, 5(2): 340-8.
- Aguiar, R. A., Turnes, T., Cruz, R. S. O. & Caputo, F. (2012). Fast-start strategy increases the time spent above 95 % VO<sub>2</sub>max during severe-intensity intermittent running exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 113(4): 941-9.
- Alves, F. (n/p). Significado fisiológico e metodológico do modelo da Potência Crítica.
- Amann, M., Romer, L. M., Pegelow, D. F., Jacques, A. J., Hess, C. J. & Dempsey, J. A. (2006). Effects of arterial oxygen content on peripheral locomotor muscle fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 101(1): 119-27.
- Bailey, S. J., Vanhatalo, A., Wilkerson, D. P., DiMenna, F. J. & Jones, A. M. (2009). Optimizing the "priming" effect: influence of prior exercise intensity and recovery duration on O<sub>2</sub> uptake kinetics and severe-intensity exercise tolerance. *Journal of Applied Physiology*, 107(6): 1743-56.
- Barbosa, T. M., Fernandes, R., Keskinen, K. L., Colaço, P., Cardoso, C., Silva, J., Vilas-Boas, J. P. (2006). Evaluation of the energy expenditure in competitive swimming strokes. *International Journal of Sports Medicine*, 27(11): 894-9.
- Bellenger, C. R., Thomson, R. L., Howe, P. R., Karavirta, L. & Bucklei, J. D. (2015). Monitoring athletic training status using the maximal rate of heart rate increase. *Journal of Science and Medicine in Sport*, S1440-2440(15): 00141-3.
- Beneke, R., Hutler, M., VonDuvillard, S. P., Sellens, M. & Leithauser, R. M. (2003). Effect of test interruptions on blood lactate during constant workload testing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(9): 1626-30.
- Bernard, T., Gavarry, O., Bermon, S., Giacomoni, M., Marconnet, P. & Falgaierette, G. (1997). Relationships between oxygen consumption and heart rate in transitory and steady states of exercise and during recovery: influence of type of exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 75(2): 170-6.

- Berthoin, S., Baquet, G., Dupont, G. & Van Praagh, E. (2006). Critical velocity during continuous and intermittent exercises in children. *European Journal of Applied Physiology*, 98(2): 132-8.
- Billat, V. L., Koralsztein, J. P. & Morton, R. H. (1999). Time in human endurance models. From empirical models to physiological models. *Sports Medicine*, 27(6).
- Billat, V. L., Slawinski, J., Bocquet, V., Chassaing, P., Demarle, A. & Koralsztein, J. P. (2001). Very Short (15s±15s) Interval-Training Around the Critical Velocity Allows Middle-Aged Runners to Maintain VO<sub>2</sub> max for 14 minutes. *International Journal of Sports Medicine*, 22(3): 201-208.
- Billaut, F. & Smith, K. (2009). Sex alters impact of repeated bouts of sprint exercise on neuromuscular activity in trained athletes. *Applied physiology, nutrition, and metabolism*, 34(4): 689-99.
- Borresen, J. & Lambert, M. I. (2008). Autonomic control of heart rate during and after exercise : measurements and implications for monitoring training status. *Sports Medicine*, 38(8): 633-46.
- Brickley, G., Doust, J. & Williams, C. A. (2002). Physiological responses during exercise to exhaustion at critical power. *European Journal of Applied Physiology*, 88(1-2): 146-51.
- Brooks, G. A., Fahey, T. D. & White, T. P. (1996). *Exercise physiology: human bioenergetics and its applications*. 2nd edition. Mountain View. Mayfield Publishing Company. California
- Buchheit, M., Laursen, P. B., Millet, G. P., Pactat, F. & Ahmaidi, S. (2008). Predicting intermittent running performance: critical velocity versus endurance index. *International Journal of Sports Medicine*, 29(4): 307-15.
- Chidnok, W., DiMenna, F. J., Bailey, S. J., Vanhatalo, A., Morton, R. H., Wikerson, D. P. & Jones, A. M. (2012). Exercise tolerance in intermittent cycling: application of the critical power concept. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(5): 966-76.

- Chidnok, W., DiMenna, F. J., Fulford, J., Bailey, S. J., Skiba, P. F., Vanhatalo, A. & Jones, A. M. (2013). Muscle metabolic responses during high-intensity intermittent exercise measured by  $(31)\text{P}$ -MRS: relationship to the critical power concept. *American Journal of Physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology*, 305(9): 1085-92.
- Cosgrove, M. J., Wilson, J., Watt, D. & Grant, S. F. (1999). The relationship between selected physiological variables of rowers and rowing performance as determined by a 2000 m ergometer test. *Journal of Sports Sciences*, 17(11): 845-52.
- Cureton, K., Bishop, P., Hutchinson, P., Newland, H., Vickery, S. & Zwiren, L. (1986). Sex difference in maximal oxygen uptake. Effect of equating haemoglobin concentration. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 54(6): 656-60.
- Dekerle, J. (2006). The use of Critical Velocity in Swimming. A place for Critical Stroke Rate. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 6(2): 201-205.
- Dekerle, J., Baron, B., Dupont, L., Vanvelcenaher, J. & Pelayo, P. (2003a). Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. *European Journal of Applied Physiology*, 89(3-4): 281-8.
- Dekerle, J., Brickley, G., Alberty, M. & Pelayo, P. (2010). Characterising the slope of the distance-time relationship in swimming. *Journal of Science and Medicine in Sport/ Sports Medicine Australia*, 13(3): 365-70.
- Dekerle, J., Lefevre, T., Depretz, S., Sidney, M. & Pelayo, P. (2003b). Stroke length drops from the maximal lactate steady state speed. In: Chatard, J.C. (eds.). *Biomechanics and Medicine in Swimming IX. Publications de l' Université de Saint-Étienne*; Saint-Étienne: 325-330.
- Dekerle, J. & Pelayo, P. (2011). *World book of swimming: from science to performance*. Assessing aerobic endurance in swimming. Chapter 14. Nova Science Publishers. Pp. 276-93.
- Dekerle, J., Pelayo, P., Clipet, B., Depretz, S., Lefevre, T. & Sidney, M. (2005). Critical swimming speed does not represent the speed at maximal lactate steady state. *International Journal of Sports Medicine*, 26(7): 524-30.

- Dekerle, J., Sidney, M., Hespel, J. M. & Pelayo, P. (2002). Validity and Reliability of Critical Speed, Critical Stroke Rate, and Anaerobic Capacity in Relation to Front Crawl Swimming Performances. *International Journal of Sports Medicine*, 23(2): 93-98.
- Denadai, B. S., Greco, C. C., Teixeira, M. (2000). Blood lactate response and critical speed in swimmers aged 10-12 years of different standards. *Journal of Sports Sciences*, 18(10): 779-84.
- Denadai, B. S., Ortiz, M. J., Stella, S. & Mello, M. T. (2003). Validade da velocidade crítica para a determinação dos efeitos do treinamento no limiar anaeróbio em corredores de endurance. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 3(1): 16-23.
- Dennis, S. C. & Noakes T. D. (1998). Physiological and metabolic responses to increasing work rates: Relevance for exercise prescription. *Journal of Sports Sciences*, 1: 77-84.
- Deschenes, M. R., Hillard, M. N., Wilson, J. A., Dubina, M. I. & Eason, M. K. (2006). Effects of gender on physiological responses during submaximal exercise and recovery. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(7): 1304-10.
- DeVries, H. A., Moritani, T., Nagata, A. & Magnussen, K. (1982). The relationship between critical power and neuromuscular fatigue as estimate from electromyographic data. *Ergonomics*, 25(9): 783-791.
- DiPrampero, P. E. (1999). The concept of critical velocity: a brief analysis. *European Journal of Applied Physiology*, 80(2): 162-164.
- DiPrampero, P. E., Dekerle, J., Capelli, C. & Zamparo, P. (2008). The critical velocity in swimming. *European Journal of Applied Physiology*, 102(2): 165-71.
- Dupont, G., Blondel, N., Lensele, G. & Berthoin, S. (2002). Critical velocity and time spent at a high level of VO<sub>2</sub> for short intermittent runs at supramaximal velocities. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 27(2): 103-15.
- Esbjörnsson, M., Bülow, J., Norman, B., Simonsen, L., Nowak, J., Rooyackers, O., Kaijser, L. & Jansson, E. (2006). Adipose tissue extracts plasma ammonia after sprint exercise in women and men. *Journal of Applied Physiology*, 101(6): 1576-80.

- Espada, M. A, Alves, F. B. (2010). Critical velocity and the velocity at maximal lactate steady state in swimming. In: Per-Ludvik Kjendlie, Robert Keig Stallman and Jan Cabri (eds.). *Biomechanics and Medicine in Swimming XI. Norwegian School of Sport Science*; Oslo: 194-196.
- Ettema, J. H. (1966). Limits of human performance and energy-production. *Internationale Zeitschrift Für Angewandte Physiologie*, 22: 45-54.
- Faulkner, J. A. (1966). Physiology of Swimming, *Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 37(1): 41-54.
- Fawcner, S. & Armstrong, N. (2003). Oxygen uptake kinetic response to exercise in children. *Sports Medicine*, 33(9): 651-69.
- Fernandes, R. (2011). Aerobic evaluation of young swimmers using the critical velocity test a brief report. *Journal of Physical Education and Sport*, 11(2): 215-220.
- Fernandes, R. J., Cardoso, C. S., Soares, S. M., Ascensão, A., Colaço, P. J. & Vilas-Boas, J. P. (2003). Time limit and VO<sub>2</sub> slow component at intensities corresponding to VO<sub>2</sub>max in swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 24(8): 576-81.
- 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 VO<sub>2</sub>max velocity in elite crawl swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 29(2): 145-50.
- Fernandes, R. & Vilas-Boas, J. (1998). 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. Jyväskylä; Gummerus Printing*: 233-237
- Florence, S. & Weir, J. P. (1997). Relationship of critical velocity to marathon running performance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 75(3): 274-8.
- Franken, M., Zacca, R. & Castro, F. A. S. (2011). Velocidade crítica em natação: fundamentos e aplicação. *Motriz*, 17(1): 209-222.

- Fukuda, D. H., Smith, A. E., Kendall, K. L., Cramer, J. T. & Stout, J. R. (2011). The determination of critical rest interval from the intermittent critical velocity test in club-level collegiate hockey and rugby players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(4): 889-95.
- Fukuda, D. H., Smith, A. E., Kendall, K. L., Hetrick, R. P., Hames, R. L., Cramer, J. T. & Stout, J. R. (2012). The reliability of the intermittent critical velocity test and assessment of critical rest interval in men and women. *European Journal of Applied Physiology*, 112(4): 1197-205.
- Gaesser, G. A. & Poole, D. C. (1996). The slow component of oxygen uptake kinetic in humans. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 24:35-71.
- Galbraith, A., Hopker, J. G., Jobson, S. A. & Passfield, L. (2011). A Novel Field Test to Determine Critical Speed. *Sports Medicine & Doping Studies*, 1(1): 1-4.
- Galbraith, A., Hopker, J., Lelliot, S., Diddams, L. & Passfield, L. (2014). A single-visit field test of critical speed. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(6): 931-5.
- Gatta, G., Cortesi, M., Fantozzi, S. & Zamparo, P. (2015). Planimetric frontal area in the four swimming strokes: implications for drag, energetics and speed. *Human Movement Science*, 39: 41-54.
- Grassi, B., Rossiter, H. B. & Zoladz, J. A. (2015). Skeletal muscle fatigue and decreased efficiency: two sides of the same coin?. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 43(2): 75-83.
- Greco, C. C., Caputo, F., Denadai, B. S. (2008). Critical power and maximal oxygen uptake: Estimating the upper limit of the severe domain, a new challenge?. *Science & Sports*, 23(5):216-222
- Greco, C. C. & Denadai, B. S. (2005). Critical speed and endurance capacity in young swimmers: Effects of gender and age. *Pediatric Exercise Science*, 17(4): 353-363.

- Greco, C. C., Bianco, A. D., Gomide, E. & Denadai, B. S. (2002). Validity of the critical speed to determine blood lactate response and aerobic performance in swimmers aged 10-15 years. *Science & Sports*, 17(6): 306-308.
- Hawley, J. A., Myburgh, K. H., Noakes, T. D. & Dennis, S. C. (1997). Training techniques to improve fatigue resistance and enhance endurance performance. *Journal of Sports Sciences*, 15(3): 325-333.
- Henson, L. C., Poole, D. C. & Whipp, B. J. (1989). Fitness as a determinant of oxygen uptake response to constant-load exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 59 (1-2): 21-28.
- Hill, D. W. (2001). Aerobic and anaerobic contribution in middle distance running events. *Motriz*, 7: 63-67.
- Hill, D. W. & Ferguson, C. S. (1999). A physiological description of critical velocity. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 79(3): 290-3
- Hill, D. W., Poole, D. C. & Smith, J. C. (2002). The relationship between power and the time to achieve  $\dot{V}O_{2max}$ . *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(4): 709-14.
- Hinckson, E. A. & Hopkins, W. G. (2005). Reliability of time to exhaustion analyzed with critical-power and log-log modeling. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(4): 696-701.
- Holmér, I. (1974). Energy cost of arm stroke, leg kick, and the whole stroke in competitive swimming styles. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 33(2): 105-18.
- Holmér, I. (1992). Swimming Physiology. *The Annals of Physiological Anthropology*, 11(3): 269-76.
- Housh, T. J., DeVries, H. A., Housh, D. J., Tichy, M. W., Smyth, K. D. & Tichy, A. M. (1991). The relationship between critical power and the onset of blood lactate accumulation. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 31(1): 31-6.
- Housh, D. J., Housh, T. J. & Bauge, S. M. (1989). The accuracy of the critical power test for predicting time to exhaustion during cycle ergometry. *Ergonomics*, 32(8): 997-1004.

Hughson, R. L., Orok, C. J. & Staudt, L. E. (1984). A high velocity treadmill running test to assess endurance running potential. *International Journal of Sports Medicine*, 5(1): 23-5.

Jenkins, D. G. & Quigley, B. M. (1990). Blood lactate in trained cyclists during cycle ergometry at critical power. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 61(3-4): 278-83.

Jones, A. M., Carter, H. (2000). The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Medicine*, 29(6): 373-86.

Jones, A. M., Vanhatalo, A., Burnley, M., Morton, R. H. & Poole, D. C. (2010). Critical Power: Implications for Determination of  $VO_{2max}$  and Exercise Tolerance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(10): 1876-90.

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  $^{31}P$ -MRS. *American Journal of Physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology*, 294(2): 585-93.

Karsten, B., Jobson, S. A., Hopker, J., Jimenez, A. & Beedie, C. (2014). High agreement between laboratory and field estimates of critical power in cycling. *International Journal of Sports Medicine*, 35(4): 298-303.

Karsten, B., Jobson, S. A., Hopker, J., Stevens, L. & Beedie, C. (2015). Validity and reliability of critical power field testing. *European Journal of Applied Physiology*, 115(1): 197-204.

Kendall, K. L., Fukuda, D. H., Smith, A. E., Cramer, J. T. & Stout, J. R. (2012). Predicting maximal aerobic capacity ( $VO_{2max}$ ) from the critical velocity test in female collegiate rowers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(3): 733-8.

Kendall, K. L., Smith, A. E., Fukuda, D. H., Dwyer, T. R. & Stout, J. R. (2011). Critical velocity: A Critical velocity: a predictor of 2000-m rowing ergometer performance in NCAA D1 female collegiate rowers. *Journal of Sports Sciences*, 29(9): 945-50.

- Kennedy, M. D. & Bell, G. J. (2000). A comparison of critical velocity estimates to actual velocities in predicting simulated rowing performance. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 25(4): 223-35.
- Knight, D. R., Schaffartzik, W., Poole, D. C., Hogan, M. C., Bebout, D. E. & Wagner, P. D. (1993). Effects of hyperoxia on maximal leg O<sub>2</sub> supply and utilization in men. *Journal of Applied Physiology*, 75(6): 2586-94.
- Kranenburg, K. J. & Smith, D. J. (1996). Comparison of critical speed determined from track running and treadmill tests in elite runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(5): 614-8.
- Laurent, C. M., Green, J. M., Bishop, P. A., Sjökvist, J., Schumacker, R. E., Richardson, M. T. & Curtner-Smith, M. (2010). Effect of gender on fatigue and recovery following maximal intensity repeated sprint performance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 50(3): 243-53.
- Laursen, P. B. & Jenkins, D. G. (2002). The Scientific Basis for High-Intensity Interval Training - Optimising Training Programmes and Maximising Performance in Highly Trained Endurance Athletes. *Sports Medicine*, 32(1): 53-73.
- Lopes, A. V. (1999). Estruturas de Dados – para a construção de software. Volume 1 – Nível básico. Editora da ULBRA. Canoas.
- Louro, H., Silva, A. J., Anguera, T., Marinho, D. A., Oliveira, C., Conceição, A. & Campaniço, J. (2010). Stability of patterns of behavior in the butterfly technique of the elite swimmers. *Journal of Sports Science & Medicine*, 9(1): 36-50.
- Machado, M. V., Junior, O. A., Marques, A., Colantonio, E., Altimari, L. R., Cyrino, E. S. & Melo, M. T. (2013). *Children and Exercise XXVIII – The Proceedings of the 28th Pediatric Work Physiology Meeting*. Correlations between critical velocity and maximal lactate steady state in adolescent elite swimmers. Chapter 46. Routledge Publisher. Pp. 273-276
- Maglischo, E. W. (1993). *Swimming even faster*. Mayfield Publishing Company. California.

- Marinho, D. A., Barbosa, T. A., Silva, A. J. & Neiva, H. P. (2012). Applying Anaerobic Critical Velocity in Non-Elite Swimmers. *International Journal of Swimming Kinetics*, 1(1): 33-50.
- Martin, L. & Whyte, G. P. (2000). Comparison of critical swimming velocity and velocity at lactate threshold in elite triathletes. *International Journal of Sports Medicine*, 21(5): 366-368.
- Maud, P. J. & Foster, C. (2006). *Physiological assessment of human fitness*. 2nd Edition. Human Kinetics. Champaign.
- McDowell, S. L., Kenney, K. B., Hughes, R. A., Housh, T. J., & Johnson, G. O. (1988). The relationship between ventilatory threshold and critical velocity. Unpublished manuscript, Kansas City.
- Midgley, A. W., McNaughton, L. R., Wilkinson, M. (2006). The relationship between the lactate turnpoint and the time at VO<sub>2</sub>max during a constant velocity run to exhaustion. *International Journal of Sports Medicine*, 27(4): 278-82.
- Millet, G. P., Candau, R., Fattori, P., Bignet, F. & Varray, A. (2003a). VO<sub>2</sub> responses to different intermittent runs at velocity associated with VO<sub>2</sub>max. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 28(3): 410-23.
- Millet, G. P., Libicz, S., Borrani, F., Fattori, P., Bignet, F. & Candau, R. (2003b). Effects of increased intensity of intermittent training in runners with differing VO<sub>2</sub> kinetics. *European Journal of Applied Physiology*, 90(1-2): 50-7.
- Monod, H. & Scherrer, J. (1965). The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics*, 8: 329-338.
- Moritani, T., Nagata, A., DeVries, H. A. & Muro, M (1981). Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold. *Ergonomics*, 24(5): 339-350.
- Morton, R. H. (2006). The critical power and related whole-body bioenergetic models. *European Journal of Applied Physiology*, 96(4): 339-54.
- Neiva, H. P., Fernandes, R. J. & Vilas-Boas, J. P. (2011). Anaerobic Critical Velocity in Four Swimming Techniques. *International Journal of Sports Medicine*, 32(3): 195-198.

Nybo, L. & Secher, N. H. (2004). Cerebral perturbations provoked by prolonged exercise. *Progress in neurobiology*, 72(4): 223-61.

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*, 6(2): 74-7.

Olbrecht, J. & Mader, A. (2006). Individualization of training based on Metabolic Measures. In: Hellard, P., Sidney, M. C., Fauquet, D., Lehnaff (eds). First International Symposium Sciences and practices in Swimming. *Atlantica*; Paris: 109-115.

Oliveira, M. F. M., Caputo, F., Lucas, R. D., Denadai, B. S. & Greco, C. C. (2012). Physiological and Stroke Parameters to Assess Aerobic Capacity in Swimming. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7(3): 218-223.

Okuno, N. M., Perandini, L. A., Bishop, D., Simões, H. G., Pereira, G., Berthoin, S., Kokubun, E. & Nakamura, F. Y. (2011). Physiological and perceived exertion responses at intermittent critical power and intermittent maximal lactate steady state. *Journal of Strength and Conditioning Research/National Strength & Conditioning Association*, 25(7): 2053-8.

Papoti, M., Zagatto, A. M., Mendes, O. C & Gobatto, C. A. (2005). Utilização de métodos invasivo e não invasivo na predição das performances aeróbia e anaeróbia em nadadores de nível nacional. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 5(1): 7-14.

Pepper, M. L., Housh, T. J. & Johnson, G. O. (1992). The accuracy of the critical velocity test for predicting time to exhaustion during treadmill running. *International Journal of Sports Medicine*, 13(2): 121-4.

Pereira, G., Freitas, P. B., Rodacki, A., Ugrinowitsch, C., Fowler, N. & Kokubun, E. (2009). Evaluation of an innovative critical power model in intermittent vertical jump. *International Journal of Sports Medicine*, 30(11): 802-7.

Peyrebrune, M. C., Toubekis, A. G., Lakomy, H. K. & Nevill, M. E. (2014). Estimating the energy contribution during single and repeated sprint swimming. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(2): 369-76.

- Poole, D. C. & Barstow, T. J. (2015). The critical power framework provides novel insights into fatigue mechanisms. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 43(2): 65-6.
- Poole, D. C., Ward, S. A., Gardner, G. W. & Whipp, B. J. (1988). Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. *Ergonomics*, 31(9): 1265-79.
- 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 and Occupational Physiology*, 59(6): 421-9.
- Pringle, J. S. M. & Jones, A. M. (2002). Maximal lactate steady state, critical power and EMG during cycling. *European Journal of Applied Physiology*, 88(3): 214-226.
- Reis, J. & Alves, F. (2006). Training induced changes in critical velocity and V4 in age group swimmers. In: J. P. Vilas-Boas, F. Alves, A. Marques (eds.). Biomechanics and Medicine in Swimming X. *Portuguese Journal of Sport Sciences*; Porto: 311- 313.
- Ribeiro, J. P., Hughes, V., Fielding, R. A., Holden, W., Evans, W., Knuttgen, H. G. (1986). Metabolic and ventilatory responses to steady state exercise relative to lactate thresholds. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 55(2): 215-21.
- 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(1): 141-5.
- Scherrer, J., Samson, M. & Paleologue, A. (1954). Muscular activity and fatigue. I. Ergometric data in human experiments. *Journal de Physiologie*, 46(4): 887-916.
- Sid-Ali, B., Vandewalle, H., Chair, K, Moreaux, A. & Monod, H. (1991). Lactate steady state velocity and distance-exhaustion time relationship in running. *Archives Internationales de Physiologie, de Biochimie et de Biophysique*, 99(4): 297-301.
- Skiba, P. F., Jackman, S., Clarke, D., Vanhatalo, A. & Jones, A. M. (2014). Effect of work and recovery durations on W' reconstitution during intermittent exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(7): 1433-40.

- Sloniger, M. A., Cureton, K. J., Carrasco, D. I., Prior, B. M., Rowe, D. A. & Thompson, R. W. (1996). Effect of the slow-component rise in oxygen uptake on VO<sub>2</sub>max. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(1): 72-8.
- Smith, C. G. & Jones, A. M. (2001). The relationship between critical velocity, maximal lactate steady-state velocity and lactate turnpoint velocity in runners. *European Journal of Applied Physiology*, 85(1-2): 19-26.
- Soares-Caldeira, L. F., Okuno, N. M., Sales, M. M., Campbell, C. S. G., Simões, H. G. & Nakamura, F. Y (2012). Similarity in physiological and perceived exertion responses to exercise at continuous and intermittent critical power. *European Journal of Applied Physiology*, 112(5): 1637-44.
- Sparling, P. B. (1980). A meta-analysis of studies comparing maximal oxygen uptake in men and women. *Research quarterly for exercise and sport*, 51(3): 542-52.
- Stegmann, H. & Kindermann, W. (1982). Comparison of prolonged exercise tests at the individual anaerobic threshold and the fixed anaerobic threshold of 4 mmol.l(-1) lactate. *International Journal of Sports Medicine*, 3(2): 105-10.
- Takahashi, S., Wakayoshi, K., Hayashi, A., Sakaguchi, Y. & Kitagawa, K. (2009). A method for determining critical swimming velocity. *International Journal of Sports Medicine*, 30(2): 119-123.
- Toubekis, A. G., Douda, H. T. & Tokmakidis, S. P. (2005). Influence of different rest intervals during active or passive recovery on repeated sprint swimming performance. *European Journal of Applied Physiology*, 93(5-6): 694-700.
- Toubekis, A. G. & Tokmakidis, A. P. (2013). Metabolic responses at various intensities relative to critical swimming velocity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(6): 1731-1741.
- 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): 363-8.

- Toussaint, H. M. & Beek, P. J. (1992). Biomechanics of competitive front crawl swimming. *Sports Medicine*, 13(1): 8-24.
- Toussaint, H. M. & Wakayoshi, K., Hollander, A. P. & Ogita, F. (1998). Simulated front crawl swimming performance related to critical speed and critical power. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(1): 144-51.
- Towse, T. F., Slade, J. M. & Meyer, R. A. (2005). Effect of physical activity on MRI-measured blood oxygen level-dependent transients in skeletal muscle after brief contractions. *Journal of Applied Physiology*, 99(2): 715-22.
- Tsalis, G., Toubekis, A. G., Michailidou, D., Gourgoulis, V., Douda, H. & Tokmakidis, S. P. (2012). Physiological responses and stroke-parameter changes during interval swimming in different age-group swimmers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(12): 3312-3319.
- Yoshiga, C. C. & Higuchi, M. (2003). Rowing performance of female and male rowers. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 13(5): 317-21.
- Vandewalle, H., Vautier, J. F., Kachouri, M., Lechevalier, J. & Monod, H. (1997). Work-exhaustion time relationships and the critical power concept. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 37(2): 89-102.
- Vanhatalo, A., Fulford, J., DiMenna, F. J., Jones, A. M. (2010). Influence of hyperoxia on muscle metabolic responses and the power-duration relationship during severe-intensity exercise in humans: a <sup>31</sup>P magnetic resonance spectroscopy study. *Experimental Physiology*, 95(4): 528-540.
- Wakayoshi, K., Ikuta, K., Yoshida, T., Udo, M., Moritani, T. & Mutoh, Y. (1992a). Determination and validity of critical velocity as an index of swimming performance in the competitive swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, 64(2): 153-157.
- Wakayoshi, K., Yoshida, T., Kasai, T., Moritani, T., Mutoh, Y. & Miyashita, M. (1992b). Validity of Critical Velocity as Swimming Fatigue Threshold in the Competitive Swimmer. *The Annals of physiological anthropology = Seiri Jinruigaku Kenkyukai kaishi*, 11(3): 301-307.

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(1): 90-95.

Whipp, B. J., Ward, S. A., Lamarra, N., Davis, J. A. & Wasserman, K. (1982). Parameters of ventilatory and gas Exchange Dynamics during exercise. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*, 52(6): 1506-13.

Whipp, B. J., Wasserman, K. (1972). Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant-load work. *Journal of Applied Physiology*, 33(3): 351-6.

Wright, B. & Smith, D. J. (1994). A protocol for the Determination of critical speeds as an index of swimming endurance performance. In: Miyashita, M., Mutoh, Y. & Richardson, A. B. (eds.), *Medicine and Science in Aquatic Sports*, Med. Sport Science 39, pp. 55-59. Karger, Basel.

Xu, F. & Rhodes, E. C. (1999). Oxygen uptake kinetics during exercise. *Sports Medicine*, 27(5): 313-27.

Zacca, R. (2012). Velocidade crítica obtida por um modelo de quatro parâmetros e sua relação com a velocidade do teste de 400 metros em nado crawl. Dissertação de Mestrado em Ciências do Movimento Humano - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 107 pp.

Zacca, R., Wenzel, B. M., Piccin, J. S., Marcilio, N. R., Lopes, A. L. & Castro, F. A. S. (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): 121-31.

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(5-6): 697-704.

Zaryski, C. J., Smith, D. J. & Wiley, J. P. (1994). Relationship between discipline speed, individual event speed and speed during a simulated Olympic distance triathlon. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 9: 53 pp.