


Artigo original

Luiz Augusto Buoro Perandini¹
 Nilo Massaru Okuno¹
 Eduardo Kokubun²
 Fábio Yuzo Nakamura¹

CORRELAÇÃO ENTRE A FORÇA CRÍTICA E A VELOCIDADE CRÍTICA E SUAS RESPECTIVAS FREQUÊNCIAS DE BRAÇADA NA NATAÇÃO

CORRELATION BETWEEN CRITICAL FORCE AND CRITICAL VELOCITY AND THEIR RESPECTIVE STROKE RATES

Resumo

O modelo da potência crítica tem sido utilizado para estimar a capacidade anaeróbia e aeróbia na natação. Há estudos demonstrando que a velocidade de nado livre, força no nado atado e frequência de braçadas aderem ao modelo da potência crítica. Entretanto, a relação entre essas estimativas no nado livre e atado necessita ser elucidada. Assim, o objetivo do estudo foi avaliar a relação entre a força crítica (F_{CRIT}) no nado atado e a velocidade crítica (V_{CRIT}) em nado livre e as respectivas frequências críticas de braçada (FBr_{CRIT}). Onze nadadores de ambos os sexos ($16,6 \pm 1,3$ anos, 60 ± 10 kg, 172 ± 8 cm) foram submetidos à natação atada até a exaustão e esforços máximos livres em 200 e 400 m. Foram estimados: 1) F_{CRIT} e CI_{Anaer} através três equações do modelo de potência crítica (hiperbólica força-tempo F-t, linear força-1/tempo F-1/t, linear impulso-tempo I-t); 2) V_{CRIT} e CN_{Anaer} na natação livre através da relação distância-tempo (d - t) e; 3) FBr_{CRIT} e CBr_{Anaer} nos dois testes (atado e livre). No nado atado houve elevado grau de ajuste dos dados ao modelo da potência crítica: F_{CRIT} (R^2 de 0,98, 0,97 e 0,99) e $FBr_{CRIT-ATADO}$ (R^2 de 0,96, 0,90 e 0,99). Houve correlação significativa entre a V_{CRIT} e F_{CRIT} ($r = 0,89-0,91$). Entretanto, não houve correlação significativa entre as $FBr_{CRIT-ATADO}$ e a $FBr_{CRIT-LIVRE}$, nem entre as variáveis anaeróbias. Esses resultados indicam que a F_{CRIT} pode ser apontada como um indicador de capacidade aeróbia. Porém, a $FBr_{CRIT-ATADO}$ apesar de se ajustar ao modelo de potência crítica, não se mostrou um bom indicador desta capacidade.

Palavras-chave: velocidade crítica, força crítica, frequência crítica de braçada, nado atado.

Abstract

The critical power model has been utilized to estimate the anaerobic and aerobic capacities in swimming. There are studies which evidence the applicability of swimming velocity, force during tethered swimming and stroke rate data to the critical power model. However, the relationship among these estimates derived from freestyle and tethered swimming needs to be established. Therefore, the aim of this study was to evaluate the relationship between critical force (F_{CRIT}) obtained from tethered swimming and critical velocity (V_{CRIT}) during freestyle swimming (V_{CRIT}), and their respective critical stroke rates (FBr_{CRIT}). Eleven swimmers of both sexes (16.6 ± 1.3 years, 60 ± 10 kg, 172 ± 8 cm) underwent maximal tests to exhaustion in the tethered system and to as fast as possible trials during 200 and 400 m freestyle swimming. There were estimates of: 1) F_{CRIT} and CI_{Anaer} fitting the three known equations derived from the critical power model (hyperbolic force-time F-t, linear force-1/time F-1/t, linear impulse-time I-t); 2) V_{CRIT} and CN_{Anaer} during the freestyle tests using the linear distance-time relationship (d-t) and; 3) FBr_{CRIT} and CBr_{Anaer} during both kinds of tests (tethered and freestyle). The tethered performance data presented a good fitting to the critical power model: F_{CRIT} (R^2 of 0.98, 0.97 and 0.99) and $FBr_{CRIT-TETHERED}$ (R^2 of 0.96, 0.90 and 0.99). There was a high correlation between V_{CRIT} and F_{CRIT} ($r = 0.89-0.91$). Nevertheless, there was no significant correlation among the estimates of $FBr_{CRIT-TETHERED}$ and $FBr_{CRIT-FREESTYLE}$, neither among the anaerobic variables. These results indicate that F_{CRIT} can be considered a reliable aerobic capacity index. However, the $FBr_{CRIT-TETHERED}$ did not approach this capacity, despite the good fitting to the critical power model.

Key words: critical velocity, critical force, critical stroke rate, tethered swimming.

¹ Grupo de Estudo das Adaptações Fisiológicas ao Treinamento – GEAFIT – Universidade Estadual de Londrina.

² Laboratório de Biodinâmica – UNESP/Rio Claro.

INTRODUÇÃO

Dentre as competições oficiais de natação, há provas com predomínio do metabolismo anaeróbio (50 m) e outras com predomínio aeróbio (1500 m). Dentre os testes específicos aplicados nesta modalidade podem-se destacar a determinação da resposta de lactato sanguíneo a diferentes velocidades de nado (limiar anaeróbio e pico de lactato), bem como medidas de força em nado atado. Entretanto, a avaliação aeróbia é considerada uma das mais importantes, pois independentemente da especialidade do atleta, elas são utilizadas, sobretudo, durante o período preparatório básico.

O modelo de potência crítica (P_{CRIT}) é considerado uma opção válida, pois apresenta baixo custo operacional e é de fácil aplicabilidade, sendo seus pressupostos amplamente aceitos¹. Este modelo foi proposto por Monod e Scherrer² em exercícios monoarticulares. Os primeiros a aplicarem este modelo na natação foram Wakayoshi et al.³. Eles realizaram a estimativa da velocidade crítica (V_{CRIT}) em *swimming flume*. Foi verificado posteriormente que as estimativas de V_{CRIT} em *swimming flume* e aquelas calculadas por meio de “tiros” em piscina nas distâncias de 200 e 400 m não apresentaram diferenças significativas⁴. Além disso, Wakayoshi et al.⁵ e Kokubun⁶ mostraram que a V_{CRIT} representa a intensidade de máximo estado estável de lactato em nadadores jovens.

Dekerle et al.⁷ não encontraram diferença significativa entre a V_{CRIT} e a velocidade média em teste máximo de 30 min (V_{30}), demonstrando que a V_{CRIT} na natação pode ser utilizada como índice de aptidão aeróbia. O mesmo estudo demonstrou que as frequências de braçadas na V_{CRIT} (FBr_{CRIT}) e na V_{30} (FBr_{30}) não apresentaram diferença estatisticamente significativa, além de serem altamente correlacionadas ($r = 0,86$). Num outro estudo de Dekerle et al.⁸ a frequência e o comprimento da braçada não diminuíram durante esforços realizados na velocidade de máximo estado estável de lactato. Acima dessa velocidade, em algum momento, os nadadores tiveram redução do comprimento de braçadas em função da fadiga muscular. Houve alta correlação ($r = 0,88$) entre a intensidade de máximo estado estável de lactato e a máxima velocidade com ausência de queda do comprimento da braçada. Além disso, as intensidades não apresentaram diferença estatística ($1,22 \pm 0,09$ m.s⁻¹ versus $1,20 \pm 0,10$ m.s⁻¹, respectivamente). Isso mostra que quando o indivíduo nada em intensidades acima do máximo estado estável de lactato, seu comprimento de braçada tende a diminuir, enquanto a frequência aumenta de forma compensatória.

Outra maneira de se estimar um indicador de capacidade aeróbia, utilizando o modelo de potência crítica é a determinação da força crítica (F_{CRIT}) em

nado atado, por meio de sistema de polias. Ikuta et al.⁹ encontraram boas correlações entre este índice e o limiar anaeróbio. No entanto, a literatura não apresenta outros estudos mostrando esta correlação. Além disso, não se conhece a relação entre as FBr_{CRIT} estimadas quando da utilização de “tiros” em piscina para determinação da V_{CRIT} e em nado atado para determinação da F_{CRIT} .

Portanto, o objetivo do presente estudo foi verificar as correlações entre a F_{CRIT} mensurada a partir das três equações do modelo de potência crítica em nado atado, com a V_{CRIT} em nado livre. Além disso, objetivou-se também relacionar as respectivas estimativas de FBr_{CRIT} para estabelecer similaridades na mecânica de nado nas duas formas de avaliação da capacidade aeróbia.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Sujeitos

Participaram deste estudo 11 nadadores de ambos os sexos ($16,6 \pm 1,4$ anos, 60 ± 10 kg, 172 ± 8 cm). Para a participação no estudo, os atletas deveriam estar no mínimo na categoria juvenil 1 e com pelo menos dois anos de experiência em equipe competitiva, na qual os treinamentos apresentam volume de 5 km.dia⁻¹, seis vezes por semana. Os pais ou responsáveis dos sujeitos foram informados sobre os procedimentos do estudo e assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido.

Os sujeitos foram instruídos a não ingerir bebidas contendo cafeína ou álcool nas 24 horas precedentes aos testes, sendo os mesmos realizados pelo menos três horas após a refeição.

Os testes foram divididos em duas etapas: (1) determinação da F_{CRIT} e capacidade de impulso anaeróbio (CIAnaer); (2) determinação da V_{CRIT} e capacidade de nado anaeróbio (CNAaer). Em ambas as etapas foram estimadas também a frequência crítica de braçada (FBr_{CRIT}) e a capacidade de braçada anaeróbia (CBrAnaer).

Determinação da F_{CRIT} e CIAnaer

A F_{CRIT} e CIAnaer foram determinadas em nado atado, por meio de um sistema de polias (Figura 1). Foram realizados 3-4 testes retangulares com diferentes cargas, nos quais os sujeitos nadaram até a exaustão. Cada teste foi realizado respeitando o intervalo de pelo menos 24 horas em relação ao teste anterior. As cargas impostas variaram entre 2,31 kg e 8,44 kg, e foram aplicadas de forma randômica. Procurou-se impor cargas que causavam exaustão na natação atada em 1-10 min¹⁰. O critério de exaustão foi definido como o instante em que o nadador não conseguisse manter a carga em uma altura predeterminada, demarcada no aparelho, por um período maior que cinco segundos a despeito

do encorajamento verbal. A F_{CRIT} e CI_{Anaer} foram determinadas pelas três equações do modelo de potência crítica:

$$\begin{aligned} \text{tempo} &= CI_{Anaer} / (\text{Força} - F_{CRIT}) && \text{(Hiperbólico } F - t) \\ \text{Força} &= F_{CRIT} \cdot (CI_{Anaer} / \text{tempo}) && \text{(Linear } F - 1/t) \\ \text{Impulso} &= CI_{Anaer} + (F_{CRIT} \cdot \text{tempo}) && \text{(Linear } I - t) \end{aligned}$$

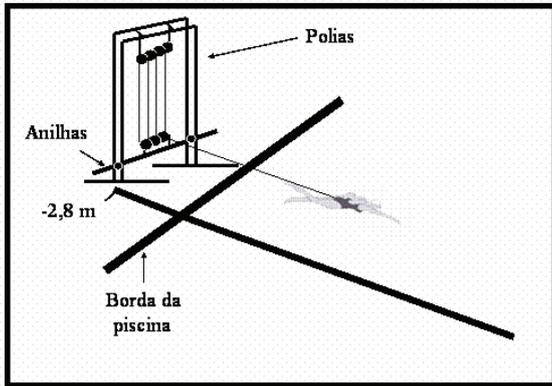


Figura 1. Imagem representativa do nadador atado ao sistema de polias sustentando uma carga.

Determinação da V_{CRIT} e CN_{Anaer}

A V_{CRIT} e CN_{Anaer} foram estimadas a partir de dois esforços máximos nas distâncias de 200 e 400 m. Entre cada esforço, foi respeitado o intervalo de 24 horas. Os dados foram ajustados à função tempo-distância: $\text{tempo} = (\text{Distância} - CN_{Anaer}) / V_{CRIT}$.

Determinação da FBr_{CRIT} e CBr_{Anaer}

A FBr_{CRIT} foi estimada a partir dos testes para a determinação da F_{CRIT} e V_{CRIT} . Utilizou-se um cronômetro Technos (S26043 / 8P), com o qual foi obtida a frequência de braçada por meio de um sistema de base 3. Em outras palavras, o cronômetro citado realiza registro do tempo necessário para que três ciclos de braçada sejam realizados, convertendo-o automaticamente para frequência média de braçada. A cronometragem foi manual, sendo realizada por um único avaliador experiente.

Os protocolos para a determinação da FBr_{CRIT} foram diferentes nas duas condições de nado. Durante os testes para a determinação da V_{CRIT} , a frequência de braçada foi mensurada a cada 50 m. A contagem se iniciava após a virada e quando o nadador já tivesse realizado quatro braçadas a fim de eliminar os efeitos da impulsão na parede, e registrar as braçadas no momento em que a velocidade já estivesse constante. Entretanto, na determinação da F_{CRIT} a frequência de braçada foi obtida a cada 30 s. Para a realização das estimativas da FBr_{CRIT} nos diferentes protocolos, foi considerada a média das frequências de braçadas obtidas durante cada teste. As FBr_{CRIT} foram obtidas pelas seguintes

equações:

$$\begin{aligned} \text{tempo} &= CBr_{Anaer} / (FBr - FBr_{CRIT}) && \text{(Hiperbólico } FBr - t) \\ FBr &= FBr_{CRIT} (CBr_{Anaer} / \text{tempo}) && \text{(Linear } FBr - 1/t) \\ \text{Número de Br} &= CBr_{Anaer} + (FBr_{CRIT} \cdot \text{tempo}) && \text{(Linear } n^{\circ}Br - t) \end{aligned}$$

sendo a capacidade de braçadas anaeróbias (CBr_{Anaer}) uma estimativa teórica do número total de braçadas que poderiam ser completadas com participação estrita do metabolismo anaeróbio.

No caso da estimativa da FBr_{CRIT} relacionada a V_{CRIT} , foi adotada somente a relação linear $n^{\circ}Br - t$, em função do número de pontos disponíveis para o ajuste.

Tratamento Estatístico

Os dados foram caracterizados por média \pm desvio padrão. Para a realização das estimativas dos parâmetros do modelo de potência crítica foi utilizada regressão linear e não linear. A análise de variância (ANOVA) *one-way* para medidas repetidas foi utilizada para comparar as estimativas derivadas da aplicação do modelo de potência crítica produzidas pelas diferentes equações (F_{CRIT} , V_{CRIT} , CI_{Anaer} e CN_{Anaer}). A mesma análise foi conduzida para comparar as estimativas de FBr_{CRIT} agrupando as duas condições de nado. Para a identificação das variáveis que apresentaram diferenças significantes foi utilizado o teste de *post-hoc* de Tukey. A correlação de Pearson foi utilizada para verificar a relação entre as variáveis estimadas por meio do sistema de polias com a estimada no nado livre. O nível de significância adotado foi de $p < 0,05$.

RESULTADOS

A tabela 1 apresenta os valores médios da F_{CRIT} e CI_{Anaer} dos nadadores, bem como o coeficiente de determinação (R^2) referente à aplicação dos dados de performance nos testes realizados em nado atado às duas equações lineares e à equação hiperbólica. Foi encontrada diferença significativa para a F_{CRIT} entre a equação hiperbólica e linear ($F - 1/t$). Já para a CI_{Anaer} , o valor estimado por meio da equação linear ($F - 1/t$) foi significativamente menor em relação aos estimados pelas outras equações. Foram encontradas também diferenças entre os R^2 das equações lineares, e entre o R^2 da equação linear ($F - 1/t$) e hiperbólica ($F - t$) ($p < 0,05$).

A tabela 2 apresenta a FBr_{CRIT} e CBr_{Anaer} dos nadadores estimadas a partir dos testes realizados para estimar a F_{CRIT} ($FBr_{CRIT-ATADO}$, $CBr_{Anaer-ATADO}$, respectivamente). Foi encontrada diferença significativa no valor do coeficiente de determinação entre as equações lineares ($p < 0,05$).

Os valores médios da V_{CRIT} e CN_{Anaer} , além da $FBr_{CRIT-LIVRE}$ e $CBr_{Anaer-LIVRE}$ são apresentados na tabela 3.

Tabela 1. Média \pm desvio padrão da F_{CRIT} e $CIAnaer$, os respectivos erros padrões de estimativa (EPE) e coeficiente de determinação (R^2).

Equação	F_{CRIT}	EPE	$CIAnaer$	EPE	R^2
F - 1/t	3,95 \pm 1,15	0,31 \pm 0,14	199 \pm 55 ^{b,c}	39 \pm 21	0,970 \pm 0,020 ^{b,c}
F - t	3,76 \pm 1,11 ^a	0,11 \pm 0,06	281 \pm 87	58 \pm 42	0,988 \pm 0,011
I - t	3,88 \pm 1,05	0,2 \pm 0,10	232 \pm 43	65 \pm 40	0,998 \pm 0,001

^a - diferença estatisticamente significativa entre F - t e I - t ($p < 0,05$)

^b - diferença estatisticamente significativa entre F - 1/t e F - t ($p < 0,05$)

^c - diferença estatisticamente significativa entre F - 1/t e I - t ($p < 0,05$)

Tabela 2. Média \pm desvio padrão da $FBr_{CRIT-ATADO}$ e $CBrAnaer_{-ATADO}$, os respectivos erros padrões de estimativa e o coeficiente de determinação (R^2).

Equação	$FBr_{CRIT-ATADO}$	EPE	$CBrAnaer_{-ATADO}$	EPE	R^2
FBr - 1/t	0,47 \pm 0,04	0,24 \pm 0,01	10,28 \pm 4,45	2,90 \pm 1,63	0,904 \pm 0,139 ^a
FBr - t	0,45 \pm 0,04	0,12 \pm 0,36	13,84 \pm 5,42	4,60 \pm 5,27	0,966 \pm 0,045
n°Br - t	0,45 \pm 0,03	0,01 \pm 0,00	12,33 \pm 3,97	4,62 \pm 3,35	0,999 \pm 0,000

^a - diferença estatisticamente significativa entre FBr - t e n° - t ($p < 0,05$)

Tabela 3. Média \pm desvio padrão da V_{CRIT} , $CNAAnaer$, $FBr_{CRIT-LIVRE}$ e $CBrAnaer_{-LIVRE}$.

Equações	V_{CRIT}	$CNAAnaer$	$FBr_{CRIT-LIVRE}$	$CBrAnaer_{-LIVRE}$
d - t	1,16 \pm 0,11	23,26 \pm 10,20	-----	-----
N°Br - t	-----	-----	0,60 \pm 0,14	1,48 \pm 16,07

A figura 2 apresenta as correlações entre as estimativas de F_{CRIT} e V_{CRIT} , além de $FBr_{CRIT-ATADO}$ e $FBr_{CRIT-LIVRE}$. Foram encontradas correlações significativas entre a F_{CRIT} e a V_{CRIT} , não ocorrendo o mesmo para a $FBr_{CRIT-ATADO}$ e $FBr_{CRIT-LIVRE}$, as quais ainda apresentaram diferença estatisticamente significativas ($p < 0,05$). Além disso, as variáveis anaeróbias também não apresentaram correlações significativas ($CNAAnaer$ e $CIAnaer - F - 1/t$, $r = 0,06$; $F - t$, $r = -0,62$; $I - t$, $r = -0,14$); ($CBrAnaer_{-LIVRE}$ e $CBrAnaer_{-ATADO} - FBr - 1/t$, $r = 0,02$; $FBr - t$, $r = -0,34$; $n^\circ Br - t$, $r = 0,53$).

DISCUSSÃO

A P_{CRIT} corresponde à intensidade de exercício em que se sustenta o máximo estado estável de lactato e VO_2 . Representa, portanto, uma medida de capacidade aeróbia. A capacidade de trabalho anaeróbio ($CTAnaer$) parece ser um indicador do máximo déficit acumulado de oxigênio ($MAOD$), sendo assim considerada uma medida de capacidade anaeróbia¹¹. Na natação, as variáveis são denominadas V_{CRIT} e $CNAAnaer$. A V_{CRIT} também representa a intensidade de máximo estado estável de lactato^{5,6}. Entretanto, não existem estudos relacionando $MAOD$ e $CNAAnaer$. Ainda na natação, Deklerle et al.⁷ mostraram alta correlação entre a FBr_{CRIT} e a FBr_{30} ($r = 0,86$) demonstrando que a FBr

também pode ser um indicador mecânico associado à capacidade aeróbia.

No presente estudo, as estimativas dos parâmetros do modelo de potência crítica no nado atado (F_{CRIT} , $CIAnaer$, FBr_{CRIT} , $CBrAnaer$), quando da aplicação das diferentes equações, apresentaram variabilidade relativamente baixa. Isso pode ser visualizado nas tabelas 1 e 2. Foram encontradas diferenças estatisticamente significativas na estimativa da F_{CRIT} para a relação hiperbólica e linear $I - t$. Apesar destas diferenças apresentadas, o coeficiente de determinação foi elevado em todas as equações. Resultados semelhantes foram apresentados por Gaesser et al.¹², Bull et al.¹³ e Hill et al.¹⁴.

Bull et al.¹³ mensuraram a P_{CRIT} em cicloergômetro por meio das três equações do modelo de potência crítica. O modelo linear $P - 1/t$ apresentou diferença estatisticamente significativa com os demais (hiperbólico $P - t$, linear $W - t$), enquanto o hiperbólico e o linear $W - t$ não apresentaram diferenças significativas. Hill et al.¹⁴ mensuraram a V_{CRIT} e a $CTAnaer$ em remadores, por meio do mesmo modelo. As estimativas foram realizadas em duas seqüências diferentes de distâncias (200 a 1200 m e 200 a 2000 m). Os valores da V_{CRIT} , $CTAnaer$ e R^2 para 200 a 1200 m foram: $V - t$ (4,81 \pm 0,25 m.s⁻¹; 74 \pm 16 m; 0,943 \pm 0,019), $d - t$ (4,95 \pm 0,24 m.s⁻¹; 52 \pm 11 m; 0,999 \pm 0,001), $V - 1/t$ (5,12 \pm 0,23 m.s⁻¹; 33 \pm 6 m; 0,856 \pm

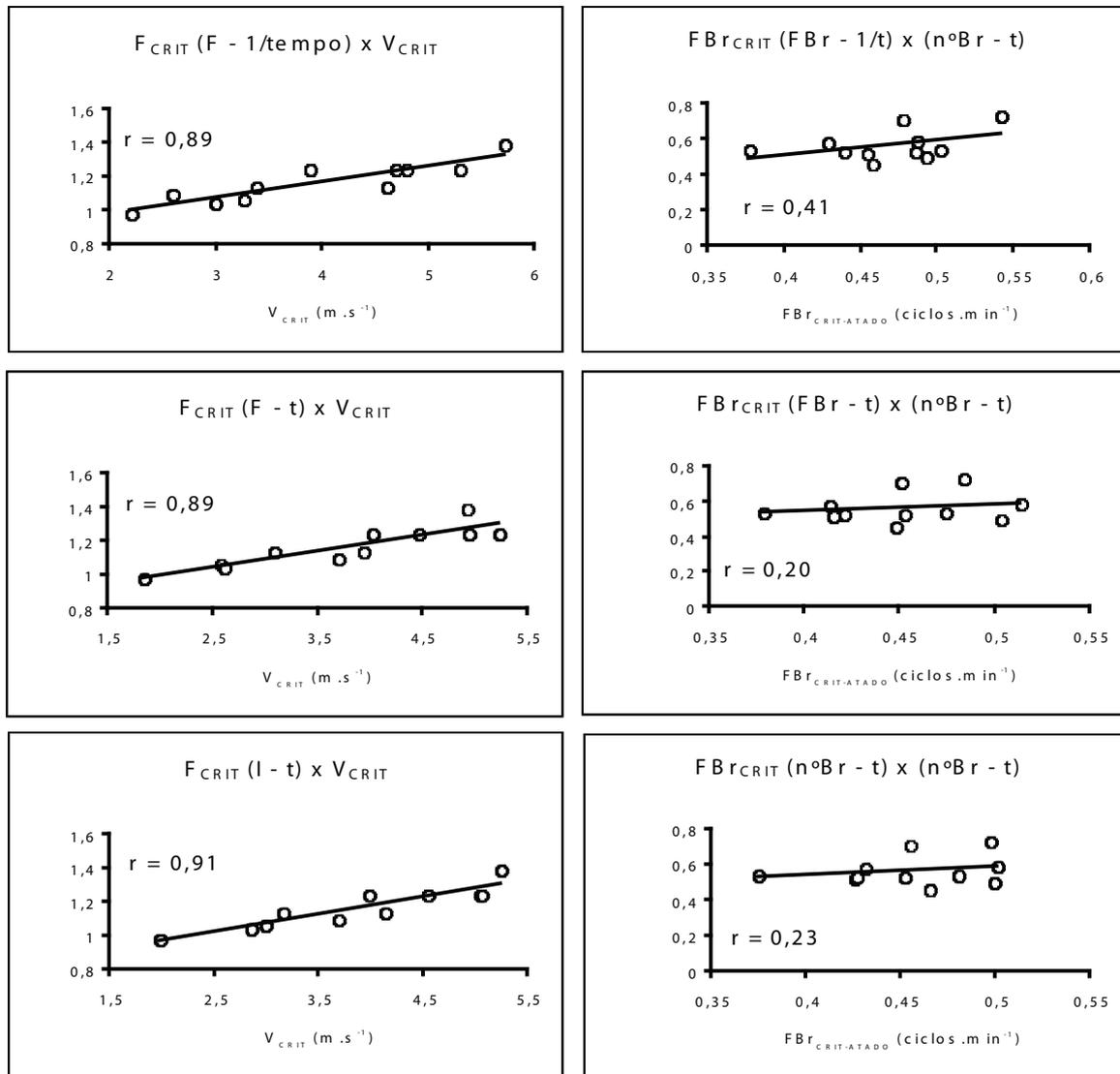


Figura 2. Gráficos das correlações entre a F_{CRIT} ($F - 1/t$, $F - t$, $I - t$) e V_{CRIT} , e $FBr_{CRIT-ATADO}$ ($FBr - 1/t$, $FBr - t$, $n^{\circ}Br - t$) e $FBr_{CRIT-LIVRE}$.

0,059). Já para 200 a 2000 m, foram equivalentes a: $V - t$ ($4,71 \pm 0,28 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $90 \pm 15 \text{ m}$; $0,971 \pm 0,013$), $d - t$ ($4,80 \pm 0,27 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $69 \pm 11 \text{ m}$; $0,999 \pm 0,001$), $V - 1/t$ ($5,04 \pm 0,24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $37 \pm 7 \text{ m}$; $0,837 \pm 0,047$). Apesar dos dados se ajustarem bem às equações, as estimativas da V_{CRIT} e CT_{Anaer} foram estatisticamente diferentes para as três equações em ambas combinações de distância. Além disso, quando comparadas a partir das diferentes distâncias, todos os resultados apresentaram diferença estatisticamente significativa.

Neste estudo, as estimativas da V_{CRIT} e CN_{Anaer} , e da $FBr_{CRIT-LIVRE}$ e $CBr_{Anaer-LIVRE}$, foram realizadas a partir das distâncias de 200 e 400 m. Dekerle et al. ⁷ realizaram a velocidade máxima de 30 minutos (V_{30}) e compararam com a V_{CRIT} estimada a partir de diferentes distâncias. Apenas a V_{CRIT} encontrada para as distâncias de 200 e

400 m não apresentou diferença estatisticamente significativa com a V_{30} . Entretanto, a combinação de outras distâncias (de 50 a 400 m) gerou estimativas de V_{CRIT} diferentes da V_{30} . Resultado semelhante foi reportado por Wakayoshi et al. ⁴ Esses achados justificam a opção deste estudo para se utilizar apenas as distâncias de 200 e 400 m.

Apesar das estimativas terem sido realizadas de acordo com o previsto na literatura, as variáveis anaeróbias ($CN_{Anaer} - CI_{Anaer}$; $CBr_{Anaer-ATADO} - CBr_{Anaer-LIVRE}$) mensuradas por meio do modelo de potência crítica, não apresentaram correlação significativa. Moysés et al. ¹⁵ reportaram comportamento semelhante entre as estimativas de CT_{Anaer} obtidas pelas três equações em teste de corrida “vai-e-vem” de 20 metros, e a mesma variável calculada através de testes de corrida em pista de 400 metros. Ou

seja, ao que parece, a CTAnaer obtida em uma forma de exercício não prediz de forma acurada a capacidade anaeróbia em outro exercício, mesmo que haja muita semelhança entre eles do ponto de vista de padrão motor.

O mesmo padrão foi observado entre canoístas testados em cicloergômetro de membros superiores e na própria embarcação¹⁶. Os valores de P_{CRIT} e V_{CRIT} apresentaram correlações entre 0,79-0,91. Entretanto, as estimativas de CTAnaer no ergômetro e na canoagem não se correlacionaram.

Além disso, no estudo de Papatzi et al.¹⁷ foi verificado que as CNAnaer estimados a partir de diferentes combinações de esforços máximos na natação, variando de 100 a 600m, não apresentam nenhuma relação com a performance dessas mesmas distâncias. O mesmo resultado pode ser observado quando a CNAnaer foi relacionada com variáveis estimadas por meio de nado atado (força pico e aptidão anaeróbia). Dessa forma, a CNAnaer demonstrou não ter representatividade para a predição de performance.

Também não foram encontradas correlações significativas entre a $FBr_{CRIT-ATADO}$ e $FBr_{CRIT-LIVRE}$ (figura 2). A $FBr_{CRIT-LIVRE}$ apresenta-se bem estabelecida na literatura, uma vez que Dekker et al.⁷ mostraram não haver diferença significativa entre a FBr_{CRIT} e a FBr_{30} . Esses autores observaram ainda que a intensidade de máximo estado estável de lactato não era estatisticamente diferente da intensidade em que se iniciava a queda do comprimento de braçada e, conseqüentemente, o aumento da frequência de braçada⁸. Além disso, apresentaram correlação significativa ($r = 0,88$). Apesar das estimativas de FBr_{CRIT} não apresentarem boas correlações no presente estudo, os valores de coeficiente de determinação (R^2) para a $FBr_{CRIT}-F_{CRIT}$ foram altos ($FBr - 1/t$, $R^2 = 0,904 \pm 0,139$; $FBr - t$, $R^2 = 0,966 \pm 0,045$; $n^o Br - t$, $R^2 = 0,999 \pm 0,001$). Isso mostra que mesmo em nado atado, os dados se ajustam bem às equações do modelo de potência crítica. Portanto, acredita-se que não foram encontradas correlações significativas entre as FBr_{CRIT} devido a diferentes estratégias mecânicas utilizadas nestes dois diferentes tipos de nado, causadas sobretudo pelas restrições ao deslocamento no nado atado.

Esses achados vão de encontro ao estudo realizado em remadores por Mello e Fanchini¹⁸, em que foi verificado que a V_{CRIT} em remoergômetro foi maior que a estimada na água, não sendo verificado também nenhuma relação entre essas variáveis em diferentes situações. Apesar disso, não houve diferenças significativas entre as V_{CRIT} com as velocidades médias em "tiros" de 2000 m em cada uma das situações (água e remoergômetro), além de apresentarem altas correlações ($r \geq 0,93$). Dessa forma o desempenho no remoergômetro não

implica necessariamente um melhor desempenho na água, indicando que a técnica executada em cada uma das situações são diferentes.

Apesar das FBr_{CRIT} não apresentarem correlação, as estimativas da F_{CRIT} determinada em nado atado pelas três equações do modelo de potência crítica, apresentaram correlações significativas com a V_{CRIT} em nado livre ($F - 1/t$, $r = 0,89$; $F - t$, $r = 0,89$; $I - t$, $r = 0,91$). Almeida et al.¹⁹ mensuraram a F_{CRIT} a partir dos mesmos procedimentos e testaram se esta intensidade correspondia ao máximo estado estável de consumo de oxigênio e lactato. Os resultados mostraram que a F_{CRIT} subestimou as intensidades do máximo estado estável. Entretanto, Ikuta et al.⁹ encontraram resultados semelhantes aos do presente estudo. Estes autores mensuraram em 13 nadadores a F_{CRIT} e a V_{CRIT} seguindo o mesmo protocolo apresentado. Além disso, mensuraram o limiar anaeróbio. Os resultados apresentaram correlações significativas entre a F_{CRIT} e a V_{CRIT} ($r = 0,69$), bem como entre a F_{CRIT} e o limiar anaeróbio ($r = 0,68$).

A concordância dos resultados apresentados neste estudo com o de Ikuta et al.⁹ são de grande valia para a natação, pois independente da especialidade do atleta, a periodização de uma temporada passa pelo período preparatório básico. Neste período priorizam-se os treinamentos aeróbios, quando a F_{CRIT} pode ser utilizada como indicador de capacidade aeróbia, complementando as medidas de força máxima, as quais são realizadas mais freqüentemente nesta modalidade. No entanto, não há evidências que indiquem que a F_{CRIT} seja a intensidade de máximo estado estável de lactato, havendo a necessidade, dessa forma, de mais estudos para investigar a validade fisiológica dessa variável. Além disso, como a $FBr_{CRIT-ATADO}$ não apresentou relação com a $FBr_{CRIT-LIVRE}$, esta não pode ser utilizada como um indicador de capacidade aeróbia.

CONCLUSÃO

Os resultados apresentados no presente estudo indicam que tanto o desempenho mecânico durante o nado atado, quanto no nado livre, se ajustam bem às equações do modelo de potência crítica. Porém, não foi encontrada correlação significativa entre as FBr_{CRIT} , evidenciando ausência de similaridades cinemáticas entre os nados. Entretanto, a F_{CRIT} pode ser considerada como um indicador de capacidade aeróbia, devido às suas boas correlações com a V_{CRIT} . Os resultados também indicam que a estimativa da capacidade anaeróbia no nado atado não reflete a mesma variável no nado livre.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Hill DW. The critical power concept. *Sports Med* 1993;16:238-253.
2. Monod H, Scherrer J. The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics* 1965;8:329-338.
3. Wakayoshi K, Ikuta K, Yoshida T, Udo M, Moritani T, Mutoh Y, et al. Determination and validity of critical velocity as an index swimming performance in the competitive swimmer. *Eur J Appl Physiol* 1992;64:153-157.
4. Wakayoshi K, Yoshida T, Udo M, Kasai T, Moritani T, Mutoh Y, et al. A simple method for determining critical speed as swimming fatigue threshold in competitive swimming. *Int J Sports Med* 1992;13:367-371.
5. Wakayoshi K, Yoshida T, Udo M, Haradat T, Moritani T, Mutoh Y, et al. Does critical swimming velocity represent exercise intensive at maximal lactate steady state? *Eur J Appl Physiol* 1993;66:90-95.
6. Kokubun E. Velocidade Crítica como estimador do limiar anaeróbio na natação. *Rev Paul Educ Fís* 1996;10:5-20.
7. Dekerle J, Sidney M, Hespel J, Pelayo P. Validity and reliability of critical speed, critical stroke rate and anerobic work capacity in relation to front crawl swimming. *Int J Sports Med* 2002;23:93-98.
8. Dekerle J, Nesi X, Lefevre T, Depretz S, Sidney M, Hout Marchand F, et al. Stroking parameters in front crawl swimming and maximal steady state speed. *Int J Sports Med* 2005;26:53-58.
9. Ikuta Y, Wakayoshi K, Nomura T. Determination and validity of critical swimming force as performance index in tethered swimming. *Biomech Med Swimming* 1996;7:146-51.
10. Poole DC. Letter to the editor-in-chief. *Med Sci Sports Exerc* 1986;18:703-704.
11. Hill DW, Smith JC. A method to ensure the accuracy of estimates of anaerobic capacity derived using the critical power concept. *J Sports Med Phys Fitness* 1994;34:23-37.
12. Gaesser GA, Carnevale TJ, Garfinkel A, Walter DO, Womack CJ. Estimation of critical power with nonlinear and linear models. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27:1430-1438.
13. Bull AJ, Housh TJ, Johnson GO, Perry SR. Effect of mathematical modeling on the estimation of critical power. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:526-530.
14. Hill DW, Alain C, Kennedy MD. Modeling the relationship between velocity and time to fatigue in rowing. *Med Sci Sports Exerc* 2003;12:2098-2105.
15. Moysés EP, Nakamura FY, Nakamura PM. Confiabilidade e validade dos parâmetros do modelo de potência crítica em testes "vai-e-vem" de 20 metros. *Motriz* 2003;9:S53-S54.
16. Nakamura FY, Borges TO, Brunetto AF, Franchini E. Correlação entre os parâmetros do modelo de potência crítica no cicloergômetro de membros superiores e no caiaque. *Rev Bras Ciên Mov* 2005;13:41-48.
17. Papoti M, Zagatto AM, Freitas Junior PB, Cunha SA, Martins LEB, Gobatto CA. Utilização do intercepto-y na avaliação da aptidão anaeróbia e predição da performance de nadadores treinados. *Rev Bras Med Esporte* 2005;11:126-130.
18. Mello FC, Franchini E. Velocidade crítica e velocidade média nos 2000m: diferenças entre o desempenho na água e no remoergômetro. *Rev Bras Ciên Mov* 2003;11:73-77.
19. Almeida AG, Cunha FAP, Rosa MRR, Kokubun E. Força crítica em nado atado: relações com o lactato sanguíneo e o consumo de oxigênio. *Rev Bras Ciên Esporte* 2002;24:47-59.

Endereço para correspondência

Luiz Augusto Buoro Perandini
Grupo de Estudo das Adaptações Fisiológicas ao Treinamento (GEAFIT).
Centro de Educação Física e Desportos - Universidade Estadual de Londrina
Rod. Celso Garcia Cid, km 380, Campus Universitário
CEP 86051-990 - Londrina, PR – Brasil
e-mail: luloperandini@yahoo.com.br

Recebido em 07/06/06
Revisado em 08/09/06
Aprovado em 06/10/06