

**Artigo original**

Fábio Yuzo Nakamura ^{1,2}
Edilson Serpeloni Cyrino ^{1,2}
Thiago Oliveira Borges ^{1,2}
Alexandre Hideki Okano ^{1,2}
Juliana Cordeiro de Melo ²
Eduardo Bodnariuc Fontes ^{1,2}

VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS DO MODELO DE POTÊNCIA CRÍTICA EM RESPOSTA A TREINAMENTO DE CANOAGEM

VARIATION OF THE CRITICAL POWER MODEL PARAMETERS IN RESPONSE TO KAYAK TRAINING

RESUMO

O objetivo deste estudo foi averiguar a sensibilidade dos parâmetros do modelo de potência crítica, em resposta às oscilações nas cargas de treinamento, ao longo de uma temporada competitiva de canoagem. Participaram deste estudo 11 canoístas jovens, do sexo masculino, os quais foram avaliados ao final de cada um de três mesociclos seguidos, sendo: (M_1) após mesociclo de característica aeróbia; (M_2) após mesociclo de característica mista aeróbia-anaeróbia e; (M_3) após mesociclo de característica anaeróbia e de velocidade, o qual antecedia a competição. Nos três momentos, foram determinadas a velocidade crítica (V_{Crit}) e a capacidade anaeróbia da canoagem ($CA_{Canoagem}$) por meio de três distâncias fixas (500, 1.000 e 1.800 m), percorridas no menor tempo possível. A $CA_{Canoagem}$ não foi alterada ao longo dos três mesociclos estudados (M_1 : $91,4 \pm 32,0$ m; M_2 : $89,0 \pm 50,8$ m e; M_3 : $74,0 \pm 44,2$ m). Já a V_{Crit} foi melhorada de M_1 ($3,19 \pm 0,28$ m/s) para M_2 ($3,33 \pm 0,28$ m/s), mantendo-se estável em M_3 ($3,32 \pm 0,19$ m/s). Os resultados apontam que a V_{Crit} é uma variável sensível aos efeitos do treinamento, e pode ser utilizada no monitoramento das adaptações aeróbias ao treinamento.

Palavras-chave: velocidade crítica, capacidade anaeróbia, canoagem.

ABSTRACT

This study proposed to verify the sensibility of the critical power model parameters in response to training load variation during a kayaking competitive season. Eleven young male kayakers participated of this study. They were evaluated at the end of each of three mesocycles, as follows: (M_1) characteristically aerobic; (M_2) characteristically aerobic-anaerobic and; (M_3) characteristically anaerobic and velocity, just before competition. Critical velocity (CV) and kayaking anaerobic capacity (AC_{kayak}) were estimated from the results of three distance tests (500, 1,000 e 1,800 m) covered in the minimal possible time. The AC_{kayak} did not change after the three mesocycles (M_1 : 91.4 ± 32.0 m; M_2 : 89.0 ± 50.8 m e; M_3 : 74.0 ± 44.2 m). In contrast, CV improved from M_1 (3.19 ± 0.28 m.s⁻¹) to M_2 (3.33 ± 0.28 m.s⁻¹), and became stable in M_3 (3.32 ± 0.19 m.s⁻¹). The results indicated that CV is sensible to training effects, and it can be used to control for aerobic training adaptations.

Key words: critical velocity, anaerobic capacity, kayaking.

¹ Grupo de Estudo das Adaptações Fisiológicas ao Treinamento (GEAFIT). Centro de Educação Física e Desportos. Universidade Estadual de Londrina – Londrina/PR.

² Grupo de Estudo e Pesquisa em Metabolismo, Nutrição e Exercício. Centro de Educação Física e Desportos. Universidade Estadual de Londrina – Londrina/PR.

INTRODUÇÃO

O modelo de potência crítica foi sugerido por Monod e Scherrer¹ com o intuito de descrever a relação entre intensidade de exercício e o tempo até a exaustão. Dois parâmetros podem ser estimados a partir dessa relação hiperbólica: a potência crítica (PCrit) e a capacidade de trabalho anaeróbio (CTAnaer). A PCrit tem sido apontada como medida indireta do máximo estado estável de VO_2 e lactato^{2,3} e, mais recentemente, tem sido associada também a um indicador de intensidade em que o esforço percebido não apresentaria aumento significativo ao longo do tempo^{4,5}. A CTAnaer corresponde a uma reserva fixa de energia muscular proveniente dos fosfagênios e da glicólise anaeróbia^{1,6}, apresentando elevada correlação com o máximo déficit acumulado de oxigênio⁷.

Os parâmetros do modelo de potência crítica parecem constituir indicadores fisiológicos adequados para a predição da performance, e para o controle dos efeitos específicos do treinamento sobre a capacidade aeróbia e anaeróbia. Florence e Weir⁸ verificaram correlação de -0,76 entre a PCrit na esteira e o tempo na prova de maratona. Já a CTAnaer em cicloergômetro correlaciona-se com a quantidade máxima de trabalho realizada ao longo de 5 x 1 minutos, a uma carga relativa à massa corporal de 0,75 N/kg, com cinco minutos de pausa entre os tiros⁹. Além disso, estudos têm mostrado aumentos da PCrit, da ordem de 15-30%, em resposta a treinamentos de característica aeróbia, contínuos^{10,11} e intervalados^{10,12}, sem aumento concomitante da CTAnaer. Por outro lado, treinamentos anaeróbios com pesos¹³ e intermitentes, em cicloergômetro¹⁴, resultam em aumentos da CTAnaer de 30-50%, sem modificação da PCrit.

Dessa forma, é de se esperar que, em modalidades esportivas em que se alternam períodos de treinamento de característica predominantemente aeróbia, com períodos de treinamento de característica anaeróbia/velocidade, como na canoagem velocidade, os parâmetros do modelo de potência crítica apresentem variações ao longo da temporada, de acordo com a especificidade dos treinamentos utilizados. Assim, o objetivo do presente estudo foi testar os efeitos do treinamento de canoagem sobre a velocidade crítica (VCrit) e capacidade anaeróbia da canoagem ($CA_{Canoagem}$), estimados a partir da aplicação dos pressupostos do modelo de potência crítica ao desempenho dos atletas na canoagem¹⁵, com o intuito de verificar a sensibilidade dos parâmetros em indivíduos com alto nível de treinamento prévio na modalidade. Ressalta-se que a literatura apresenta resultados consistentes de modificação dessas variáveis apenas para indivíduos previamente não treinados.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Amostra

Foram sujeitos deste estudo 11 atletas jovens ($16,0 \pm 1,2$ anos; $174,0 \pm 2,4$ cm; $65,2 \pm 4,4$ kg), do sexo masculino, com experiência competitiva de pelo menos dois anos em canoagem velocidade de nível nacional, após leitura e assinatura de um termo de consentimento informado, tanto por parte do participante quanto do responsável, no caso do primeiro ter idade inferior a 18 anos. Esta investigação teve duração total de três meses, dentro de uma temporada competitiva de canoagem velocidade, ao longo da qual as cargas de treinamento sofreram modificações em suas características principais (volume, intensidade e métodos empregados).

Mesociclos de treinamento de canoagem

Os testes em caiaque foram realizados em três momentos da temporada: (M_1) após mesociclo de treinamento de característica predominantemente aeróbia (preparação geral); (M_2) após mesociclo de treinamento com característica mista aeróbia-anaeróbia (preparação específica) e; (M_3) após mesociclo de treinamento de característica anaeróbia e de velocidade (competição). As coletas de dados em M_3 foram feitas na semana imediatamente após a competição. O quadro 1 contém uma descrição das estratégias de treinamento utilizadas em cada um dos mesociclos. Cada um deles teve duração média de 28 dias, com microciclos constituintes de sete dias. Normalmente, os mesociclos eram compostos por três microciclos mais fortes (choque), seguidos de um menos intenso (regenerativo)¹⁶, sendo este destinado à coleta de dados deste estudo em M_1 e M_2 .

De acordo com os relatos do treinador da equipe, o 1º mesociclo enfatizou o desenvolvimento da capacidade aeróbia nos treinamentos na água, associados a sessões de treinamento da força especial (em movimentos similares à remada no caiaque), e a treinamentos de força específicos na água (deslocamentos com lastros como fonte adicional de sobrecarga). As sessões de corrida visavam ao aprimoramento da capacidade geral do sistema cardiovascular. O 2º mesociclo teve como objetivo principal o desenvolvimento inicial da capacidade anaeróbia específica, além de continuidade das adaptações aeróbias, julgadas pelo treinador como necessárias para otimização da recuperação orgânica pós-treino. Como estímulos complementares, as sessões de treinamento com pesos foram constituídas a partir da alternância de sessões para o desenvolvimento da potência muscular e da velocidade dos movimentos. Nos treinamentos de corrida, alternavam-se sessões de resistência aeróbia com resistência anaeróbia. No 3º mesociclo, objetivou-se a manutenção e transferência parcial das

capacidades fisiológicas obtidas nos dois primeiros mesociclos para o desenvolvimento da velocidade e resistência de velocidade específicos, tanto nos treinamentos principais (na água), como nos treinamentos complementares contra resistências, e por meio de corrida. A intenção era tornar os atletas preparados para competir em provas de velocidade (500 e 1.000 m) em sua melhor condição.

Testes para determinação dos parâmetros do modelo de potência crítica na canoagem

Previamente a cada teste, havia um breve aquecimento em que os participantes percorriam 1.000 metros em ritmo escolhido livremente. Segundo Bishop et al.¹⁷, a intensidade do aquecimento prévio, a um tiro máximo de 2 min, em um caiaque-ergômetro, influenciava a quantidade máxima de trabalho mecânico, gerado em momentos específicos do próprio tiro. O aquecimento realizado por 15 min, em uma

intensidade intermediária, entre o limiar de lactato e o limiar anaeróbio (~65% do VO_2 max), resultava em maior desempenho mecânico na primeira metade do tiro de 2 min do que o aquecimento na intensidade associada ao limiar anaeróbio (~75% do VO_2 max), apesar da contribuição anaeróbia total dos testes não ter diferido. O aquecimento parece melhorar o nível de prontidão para o esforço severo, por meio da indução de vasodilatação e possível alteração na cinética de VO_2 ^{7,18}. Assim, foi instruído que os canoístas não realizassem neste estudo o aquecimento a uma intensidade demasiadamente alta, na qual pudesse ser induzido um elevado nível de acidose metabólica, com o objetivo de otimizar a performance nos tiros.

A estimativa dos parâmetros do modelo de potência crítica foi conduzida em embarcação K-1 (comprimento máximo de 5,20 metros e massa mínima de 12 kg), que é uma embarcação de

Quadro 1. Características dos mesociclos de treinamento de canoagem.

	1º Mesociclo	2º Mesociclo	3º Mesociclo
Metabolismo energético predominante	Aeróbio	Aeróbio/anaeróbio	Anaeróbio
Sessão de treinamento típica na água	12 km contínuos e tiros intervalados extensivos com durações entre 1-10 min	10 km contínuos e tiros intervalados intensivos com durações entre 10 s e 6 min	Tiros de 200, 500 e 1.000 m a velocidades máximas e próximas a máxima
Intervalos de pausa entre os tiros	1-2 min	1-3 min	3-6 min
Intensidade proposta (% da máxima)	70-85%	80-90%	90-100%
Volume total médio percorrido por semana (km)	84 km	83 km	78 km
Treinamento com pesos complementar/ vezes na semana	Desenvolvimento da hipertrofia muscular de tronco e membros superiores/ 4x	Desenvolvimento da potência muscular de tronco e membros superiores/ 3x	Desenvolvimento da resistência de velocidade/ 3x
Treinamento de corrida complementar/ vezes na semana	8 km abaixo de 35 minutos/1x	8 km e 4 tiros de 1500 m/1x cada	8 km e 4 tiros de 500 m/1x cada
Tipos de microciclos	três choques e um regenerativo	três choques e um regenerativo	três choques e um de polimento para a competição
Nº de sessões de treinamento	25	20	18

competição individual, em um lago com águas calmas. Para a realização dos testes, foram escolhidos dias ensolarados, sem vento forte que afetasse a velocidade dos caiaques. As distâncias foram fixadas em 500, 1.000 e 1.790 metros. Era solicitado que, ao sinal do avaliador, o atleta realizasse um tiro à máxima velocidade para cada distância. Os atletas foram avaliados em grupos para motivá-los a tentar o melhor desempenho. O tempo foi registrado com cronômetro com precisão de segundos. Esse protocolo já havia sido empregado em estudos anteriores^{15,19}. Havia intervalo de pelo menos 24 horas entre testes sucessivos, mantendo-se o horário de realização dos esforços no período da tarde (15:00-16:00).

A equação abaixo relaciona a velocidade de deslocamento da embarcação durante cada um dos tiros, com a duração dos mesmos, por meio de uma hipérbole. A assíntota no eixo da velocidade representa a $VCrit$, e a curvatura da hipérbole constitui uma estimativa da $CA_{Canoagem}$ (Figura 1).

$$\text{Tempo} = CA_{Canoagem} / (\text{velocidade} - VCrit)$$

Os parâmetros foram obtidos por procedimento de regressão não linear (SPSS 7.5 for Windows). Foram estimados também o erro padrão de estimativa (EPE) da $VCrit$ e da $CA_{Canoagem}$, bem como o coeficiente de determinação (R^2) relacionado ao ajuste dos dados experimentais à equação.

Tratamento estatístico

A comparação dos parâmetros $VCrit$ e $CA_{Canoagem}$ entre os diferentes momentos de realização dos testes na canoagem foi feita a partir de ANOVA *one way* para medidas repetidas. O teste *post hoc* de Newman-Keuls foi utilizado para a identificação das diferenças entre as médias. Os mesmos procedimentos estatísticos foram empregados para comparar os EPE associados aos parâmetros e o R^2 , nos diferentes momentos da temporada. O nível de significância pré-estabelecido em todas as análises foi de $p < 0,05$.

RESULTADOS

Em resposta ao treinamento de canoagem, observou-se modificação significativa da $VCrit$. A figura 1 ilustra o comportamento individual de um dos canoístas em M_1 e M_2 . A assíntota da relação não linear velocidade-tempo foi deslocada para a direita, denotando aumento da capacidade aeróbia. O grupo como um todo apresentou essa melhora significativa da $VCrit$ entre M_1 e M_2 (6,3%), e entre M_1 e M_3 (4,4%) (figura 2). Em M_3 , a $VCrit$ não era diferente de M_2 ($p > 0,05$). É possível notar uma redução gradativa na dispersão dos valores de $VCrit$ do grupo, inferida a partir do intervalo de confiança (IC95%), sobretudo em M_3 . Nesse momento, o grupo pode ser considerado mais homogêneo no que diz respeito à capacidade aeróbia.

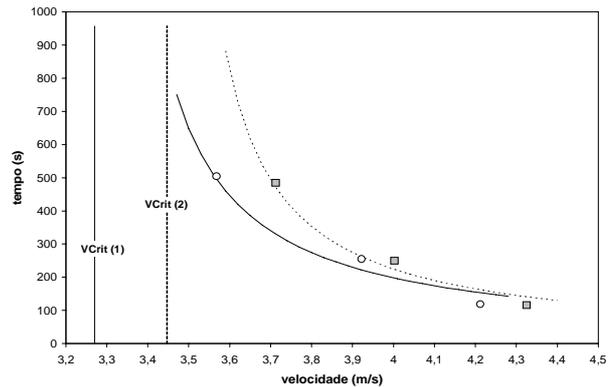


Figura 1. Alteração da relação não linear velocidade-tempo (M_1 – círculos vazios e linha contínua; e M_2 – quadrados cheios e linha tracejada) em função do treinamento de característica mista aeróbia-anaeróbia, de um sujeito representativo da amostra. As assíntotas das hipérbolas, no eixo da velocidade, foram significativamente diferentes.

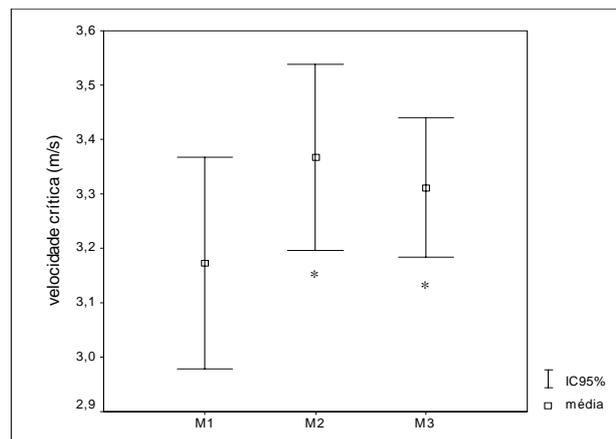


Figura 2. Velocidade crítica ($VCrit$) média estimada nos três momentos distintos da temporada de treinamento de canoagem velocidade. * diferente de M_1 ($p < 0,05$).

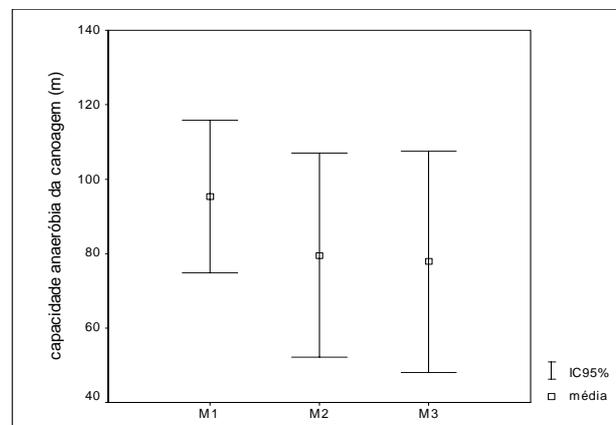


Figura 3. Capacidade anaeróbia da canoagem ($CA_{Canoagem}$) média estimada nos três momentos distintos da temporada de treinamento de canoagem velocidade.

Tabela 1. Valores médios do erro padrão de estimativa dos parâmetros do modelo de potência crítica na canoagem, e do coeficiente de determinação (\pm DP) nos diferentes momentos da temporada.

Momentos	EPE da V _{Crit} (m/s)	EPE da CA _{Canoagem} (m)	R ²
M ₁	0,04 \pm 0,03	20,9 \pm 15,5	0,978 \pm 0,02
M ₂	0,08 \pm 0,17	31,6 \pm 66,1	0,948 \pm 0,14
M ₃	0,03 \pm 0,06	14,3 \pm 27,5	0,967 \pm 0,07

A CA_{Canoagem} não foi alterada ao longo dos três mesociclos estudados (figura 3), a despeito da modificação substancial das características do treinamento empregado nos diferentes períodos. Esse resultado contrastou com os apresentados para a V_{Crit}.

A tabela 1 mostra o EPE da V_{Crit} e da CA_{Canoagem}, assim como o R², nos diferentes momentos da temporada. Nenhuma dessas variáveis representativas dos erros estatísticos na estimativa dos parâmetros e do grau de ajuste dos dados experimentais à equação não linear foi modificada em função do treinamento. Em geral, os EPE, sobretudo da V_{Crit}, foram relativamente baixos, e os valores de R², altos.

DISCUSSÃO

Estudo de Nakamura et al.¹⁹ apresentou estimativas de que as provas oficiais de competição de canoagem velocidade, de 500 e 1.000 m, demandariam um custo total de oxigênio de 8,0 \pm 2,2 e de 13,1 \pm 3,4 L, respectivamente. Desse montante, na prova de 500 m haveria participação de 60,6 \pm 9,2% de contribuição aeróbia na transferência de energia, ao passo que na prova de 1.000 m essa participação relativa seria de 78,6 \pm 4,9%. A diferença remanescente seria a estimativa da contribuição anaeróbia. Apesar da predominância aeróbia, por serem provas que duram para esses atletas, em torno de 151,4 \pm 16,5 e 315,8 \pm 33,6 s¹⁹, respectivamente, infere-se que tanto a capacidade/potência aeróbia quanto a anaeróbia interferem diretamente no desempenho.

A aplicação do modelo de potência crítica ao desempenho na canoagem velocidade, com o objetivo de se estimar a capacidade aeróbia e anaeróbia específica, é bastante recente. Fontes et al.²⁰ mostraram que a V_{Crit}, calculada a partir das distâncias de 750, 1.000 e 1.500 m, estava relacionada à velocidade de ocorrência de máximo estado estável de lactato no sangue. Não se verificou nesse estudo a validade da CA_{Canoagem} enquanto preditora da capacidade anaeróbia.

Um outro estudo de nosso grupo¹⁵ teve como objetivo associar a P_{Crit} e a CT_{Anaer} estimadas em cicloergômetro para membros superiores com os parâmetros similares determinados a partir dos testes no caiaque. A P_{Crit} (123 \pm 10 W) dos nove canoístas

analisados foi altamente correlacionada ($r = 0,82$) com a V_{Crit} (3,06 \pm 0,30 m/s). No entanto, a CT_{Anaer} (10.831 \pm 5.541 J) não se correlacionou com a CA_{Canoagem} (74,0 \pm 19,2 m). Esse estudo mostrou que a capacidade aeróbia estimada em uma situação não específica (cicloergômetro) foi capaz de prever a mesma variável na canoagem. No entanto, testes para membros superiores devem ser aplicados com cautela.

Trabalho de Calis e Denadai²¹ evidenciou que a P_{Crit} de não atletas, em cicloergômetro de membros superiores, era protocolo-dependente à medida que, de quatro cargas preditivas, a utilização de apenas três mais intensas resultou em uma medida significativamente superior (190,5 \pm 23,2 W) quando comparada com as resultantes da utilização de todas as cargas (184,2 \pm 25,4 W) e das três menores (177,5 \pm 29,5 W). Cabe ressaltar que esse comportamento já foi descrito também para testes em cicloergômetro para membros inferiores²² e na própria canoagem¹³. Além disso, a reprodutibilidade dos parâmetros de potência crítica em cicloergômetro de membros superiores foi considerada baixa por Taylor e Batterham²⁴.

A despeito das possíveis limitações, o presente estudo demonstrou que a V_{Crit} parece ser sensível aos efeitos específicos do treinamento de canoagem. Em M₂ e M₃, essa variável foi significativamente maior que em M₁. Em outras palavras, a V_{Crit} respondeu de forma mais acentuada ao período de treinamento de característica mista aeróbia-anaeróbia, e foi mantida no período de treinamento de característica anaeróbia-velocidade.

Ao submeterem indivíduos não treinados em ciclismo a treinamento de seis semanas de duração (três vezes por semana) em cicloergômetro, em modo: (G1) contínuo com duração de 40 min, a 50% do VO₂max e; (G2) intervalado (10 x 2 min a 100% do VO₂max) com pausas de 2 min, Gaesser e Wilson¹⁰ reportaram que tanto em G1 (13,4%) quanto em G2 (15,0%) a P_{Crit} foi melhorada. Em contraste, apenas G2 obteve aumento significativo do VO₂max devido, provavelmente, à especificidade do treinamento conduzido. Resultados semelhantes foram reportados por Jenkins e Quigley¹¹ para treinamentos realizados de forma semelhante a G1, embora a magnitude do aumento da P_{Crit} tenha sido maior (31%). É provável que essa diferença se deva ao fato de que Jenkins e Quigley¹¹ realizaram ajustes periódicos das cargas de treinamento, artefato não utilizado por Gaesser e

Wilson¹⁰. Em nenhum dos estudos a CTAnaer foi modificada.

Em estudo mais elaborado, Poole et al.¹² submeteram oito indivíduos a programa composto de treinamento intervalado, em cicloergômetro, por sete semanas (três sessões semanais). As sessões eram compostas por 10 x 2 min, a uma potência equivalente a 105% da PCrit. Em resposta ao treinamento, a PCrit aumentou de 197 ± 12 W para 217 ± 11 W. O achado mais notório foi que o perfil metabólico e respiratório durante os testes retangulares na PCrit antes e após o treinamento, respeitaram o padrão qualitativo definido por Gaesser e Poole²⁵. Ou seja, tanto o VO₂ (pré: 2,97 ± 0,11 L/min; pós: 3,42 ± 0,18 L/min) quanto o lactato (pré: 5,6 mM; pós: 4,2 mM) estabilizaram-se em algum momento durante os 24 minutos de teste. Adicionalmente, tanto antes quanto após o período de treinamento, quando a carga era acrescida em 5%, o VO₂ atingia seu valor máximo e o lactato aumentava linearmente com o tempo, após a fase inicial de transição. Novamente, não houve alteração significativa da CTAnaer.

A característica diferenciadora deste estudo com os supra-citados refere-se ao fato da amostra por nós estudada ser constituída por atletas com bom nível de treinamento prévio ao acompanhamento experimental. A magnitude relativa de aumento da Vcrit, ao longo dos mesociclos (4,4 - 6,3%), aproximase do apresentado pela literatura entre ciclistas de alto nível, que alcançaram melhoras do limiar ventilatório 1 de 5% e do limiar de lactato de 9,7%, do período pós-descanso da temporada anterior até o período competitivo da temporada vigente²⁶.

Destaca-se o fato de que o grupo tornou-se mais homogêneo em relação à capacidade aeróbia ao longo dos mesociclos. Esse fenômeno pode ser constatado pelo IC95%, que diminuiu a cada período de treinamento. Isso está de acordo com a percepção do treinador, na qual os membros da equipe passaram a ter desempenhos mais próximos à medida que se aproximava a competição, sobretudo pela melhora mais significativa dos atletas com menor nível inicial de treinamento. A maior treinabilidade dos atletas com menor nível de treinamento inicial, foi confirmada a partir da correlação de -0,81, encontrada entre a Vcrit em M₁, e o percentual de melhora dessa variável entre M₁ e M₃.

A manutenção da capacidade aeróbia após o 3º mesociclo pode parecer paradoxal em virtude do tipo de treinamento empregado (anaeróbio-velocidade). Poder-se-ia esperar um efeito de destreino. Em atletas com vários anos de experiência competitiva acumulados, no entanto, essa manutenção aeróbia em face à redução substancial, mas provisória, no volume de treinamento é considerada normal e esperada. Em trabalho de Houmard et al.²⁷, observou-se que a redução considerável de 70%, no volume e 17% na frequência das sessões de treinamento de

corredores de fundo, por três semanas, com manutenção da intensidade, não causava redução significativa do VO₂max (61,81 ± 1,08 versus 60,94 ± 1,20 ml/kg/min), mas aumentava o tempo de tolerância ao exercício nessa intensidade (5,30 ± 0,28 versus 5,85 ± 0,43 min). Em adição, os tempos nas distâncias de 1.600, 3.200 e 5.000 m eram mantidos, e o de 800 m foi melhorado.

A interrupção completa dos treinamentos provoca rápidas perdas funcionais. Um exercício submáximo a 75% do VO₂max pré-inatividade, causava acúmulo de apenas 1,9 ± 0,2 mM de lactato no sangue de atletas com mais de 10 anos de experiência²⁸. Após apenas 12 dias de destreino, esse acúmulo chegou a 3,8 ± 0,4 mM, sendo que após 84 dias de inatividade, o valor de lactato sanguíneo na mesma intensidade atingiu o valor de 7,6 ± 0,6 mM. Esse efeito de destreino do perfil lactacidêmico foi acompanhado de reduções significantes de enzimas mitocondriais. A correlação entre esses eventos foi de 0,93. Isso mostra que a manutenção da capacidade aeróbia pressupõe necessariamente a presença de estímulos de treinamento, sobretudo com elevada intensidade.

Nossos resultados indicaram ausência de modificação significativa da CA_{Canoagem} ao longo dos três mesociclos de treinamento. Esse fenômeno, porém, não era esperado, uma vez que o 2º e o 3º mesociclos foram destinados ao aprimoramento das características anaeróbias do desempenho da canoagem velocidade. É possível que CA_{Canoagem} não seja suficientemente sensível para detectar alterações nos processos anaeróbios de transferência energética. Na realidade, apesar de não significativa, a CA_{Canoagem} foi reduzida em M₂ e M₃, comparada com a medida em M₁. O achado recorrente de correlações negativas entre as modificações da PCrit e da CTAnaer, em resposta a treinamentos específicos^{10,13}, evidencia uma potencial limitação do modelo de dois parâmetros da potência crítica em acessar as alterações simultâneas na capacidade aeróbia e anaeróbia. Atualmente, esforços investigativos estão sendo realizados no sentido de se estabelecer uma medida mais acurada e sensível ao treinamento anaeróbio de canoagem.

Estudos prévios com não atletas apresentaram resultados positivos com relação ao ganho em CTAnaer com o treinamento anaeróbio. Após serem treinados por meio de sessões intervaladas (5 x 1 min a 0,736 N/kg, com 5 min de pausa entre os tiros máximos) por um período de oito semanas, sujeitos previamente não treinados apresentaram melhora da CTAnaer sem alteração concomitante da PCrit¹⁴. O aumento da CTAnaer, de 13,4 ± 3,2 kJ para 20,0 ± 3,8 kJ, foi acompanhada por um aumento de 16% na quantidade total de trabalho mecânico gerado nos treinos. A concentração de lactato de pico no plasma sanguíneo, após o protocolo de treinamento, também apresentou aumento significativo de 12,2 ± 1,5 para

16,3 ± 0,9 mM, denotando aumento da capacidade de mobilização da glicólise anaeróbia, tida como principal componente da CTAnaer. Dessa forma, Jenkins e Quigley¹⁴ concluíram a favor da sensibilidade da CTAnaer aos efeitos do treinamento anaeróbio intervalado.

O treinamento com pesos periodizado, por seis semanas, com o objetivo de aumentar a força máxima dos membros inferiores, foi efetivo em provocar alteração positiva da CTAnaer em cicloergômetro de 21,5 ± 1,1 kJ para 29,0 ± 3,3 kJ, em um grupo de pessoas inicialmente não treinadas¹³. O grupo controle não obteve o mesmo efeito, tampouco experimentou o ganho de 28,6% na força máxima no *leg press*, alcançado pelo grupo treinado. Evidência a favor da relação direta entre a muscularidade e a CTAnaer é a correlação moderada ($r = 0,59$), relatada entre a última e a área de secção transversa da coxa, mensurada por ultra-sonografia computadorizada²⁹. A partir dos estudos citados, pode-se inferir a adequação da CTAnaer para o acompanhamento dos efeitos do treinamento de característica anaeróbia em indivíduos previamente não treinados; no entanto, a generalização não parece ser válida para atletas experientes. Isso limita o potencial de utilização do próprio modelo de potência crítica.

Para nosso conhecimento, esta é a primeira investigação destinada ao acompanhamento da capacidade aeróbia e anaeróbia de canoístas, ao longo de uma temporada de treinamento, tendo por base a utilização do modelo de potência crítica. Este estudo se alinha com outros realizados em modalidades similares, como remo³⁰ e natação³¹. Padrões diferenciados de resposta à manipulação das variáveis de treinamento (intensidade, volume e métodos empregados) podem ser detectados entre todas elas. De uma forma geral, limiar anaeróbio²⁹ e a própria performance em tiros longos³¹, e a VCrit neste estudo, têm se mostrado indicadores sensíveis ao treinamento. Indicadores de performance anaeróbia têm falhado em outros estudos^{29,32}, assim como no presente, em prover medida válida da capacidade/potência anaeróbia. Isso ocorre porque ainda há dificuldade em se estabelecer um teste “padrão ouro” para a capacidade anaeróbia, sobretudo nas avaliações de campo. Ressalta-se, ainda, a limitação do modelo de potência crítica em detectar simultaneamente as adaptações da condição aeróbia e anaeróbia.

Uma das limitações do presente estudo foi a ausência das medidas prévias a M_1 . Esse período, após as férias da temporada anterior, poderia fornecer informações valiosas sobre o estado “destreinado” dos atletas. Com a inclusão dessa medida, o quadro da evolução dos parâmetros do modelo de potência crítica, ao longo da temporada, poderia ter sido mais completo. Isso poderia ter acrescentado mais elementos para a discussão dos resultados, e

conclusões do estudo. Além disso, uma outra limitação está atrelada à falta de grupo controle e amostra reduzida. Considerando este aspecto, Stone et al.³³ apontam a necessidade de se estudar incrementos da performance esportiva através de métodos e princípios científicos, com base em aplicação regular de testes em grupos atléticos, mesmo que por vezes suas restrições inviabilizem o respeito aos critérios tradicionais de qualidade dos estudos longitudinais (amostra maior e presença de grupo controle).

CONCLUSÕES

O presente estudo apresentou a evolução dos parâmetros do modelo de potência crítica em resposta a três mesociclos de treinamento de canoagem velocidade. Esse acompanhamento permitiu a corroboração de observações feitas em trabalhos anteriores a favor da sensibilidade da VCrit, aos efeitos específicos do treinamento, mesmo em atletas com alto nível inicial de capacidade aeróbia. Essa capacidade foi elevada com treinamentos de característica mista aeróbia-anaeróbia, e pôde ser mantida em um mesociclo de ênfase anaeróbia-velocidade. Entretanto, a CA_{Canoagem} não respondeu de forma coerente aos treinamentos impostos, não apresentando quaisquer modificações aos treinamentos específicos anaeróbios. Com isso, esse parâmetro deve ser utilizado com cautela na avaliação e acompanhamento de atletas, visto que pode não demonstrar sensibilidade às cargas impostas em indivíduos com elevada capacidade anaeróbia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Monod H, Scherrer J. The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics* 1965;8:329-38.
2. Hill DW, Smith JC. Determination of critical power by pulmonary gas exchange. *Can J Appl Physiol* 1999;24:74-86.
3. Poole DC, Ward SA, Gardner GW, Whipp BJ. Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. *Ergonomics* 1988;31:1265-79.
4. Nakamura FY, Gancedo, MR, Albuquerque da Silva L, Lima JRP, Kokubun E. Utilização do esforço percebido na determinação da velocidade crítica em corrida aquática. *Rev Bras Med Esporte* 2005;11:1-5.
5. Nakamura FY, Brunetto AF, Hirai DM, Roseguini BT, Kokubun E. O limiar de esforço percebido (LEP) corresponde à potência crítica e a um indicador de máximo estado estável de consumo de oxigênio. *Rev Bras Med Esporte* 2005;11:197-202.
6. Green S, Dawson BT, Goodman C, Carey MF. Y-intercept of the maximal work-duration relationship and anaerobic capacity in cyclists. *Eur J Appl Physiol* 1994;69:550-6.
7. 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.

8. Florence S-I, Weir JP. Relationship of critical velocity to marathon running performance. *Eur J Appl Physiol* 1997;75:274-8.
9. Jenkins DG, Quigley BM. The y-intercept of the critical power function as a measure of anaerobic work capacity. *Ergonomics* 1991;34:13-22.
10. Gaesser GA, Wilson LA. Effects of continuous and interval training on the parameters of the power-endurance time relationship for high-intensity exercise. *Int J Sports Med* 1988;9: 417-21.
11. Jenkins DG, Quigley BM. Endurance training enhances critical power. *Med Sci Sports Exerc* 1992;24:1283-9.
12. Poole DC, Ward SA, Whipp BJ. The effects of training on the metabolic and respiratory profile of high-intensity cycle ergometer exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1990;59:421-9.
13. Bishop D; Jenkins DG. The influence of resistance training on the critical power function & time to fatigue at critical power. *Aust J Sci Med Sport* 1996;28:101-5.
14. Jenkins DG, Quigley BM. The influence of high-intensity exercise training on the $W_{lim}-T_{lim}$ relationship. *Med Sci Sports Exerc* 1993;25:275-82.
15. 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 Ci Mov* 2005;13:41-8.
16. Fry RW, Morton AR, Keast D. Periodization of training stress – A review. *Can J Spt Sci* 1992;17:234-40.
17. Bishop D, Bonetti D, Dawson B. The effect of three different warm-up intensities on kayak ergometer performance. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:1026-32.
18. Gerbino A, Ward SA, Whipp BJ. Effects of prior exercise on pulmonary gas-exchange kinetics during high-intensity exercise in humans. *J Appl Physiol* 1996;80:99-107.
19. Nakamura FY, Borges TO, Sales OR, Cyrino ES, Kokubun E. Estimativa do custo energético e contribuição das diferentes vias metabólicas na canoagem de velocidade. *Rev Bras Med Esporte* 2004;10:70-7.
20. Fontes EB, Nakamura FY, Gobbo LA, Altinari LR, Melo JC, Carvalho FO et al. Does critical velocity represents maximal steady state lactate in canoe/kayak flatwater? *The FIEP Bulletin* 2005;75:427-30.
21. Calis JFF, Denadai BS. Influência das cargas selecionadas na determinação da potência crítica determinada no ergômetro de braço em dois modelos lineares. *Rev Bras Med Esporte* 2000;6:1-4.
22. Housh DJ, Housh TJ, Bauge SM. A methodological consideration for the determination of critical power and anaerobic work capacity. *Res Q Exerc Sport* 1990;61:406-9.
23. Fontes EB, Borges TO, Altinari LR, Melo JC, Okano AH, Cyrino ES. Influência do número de coordenadas e da seleção de distâncias na determinação da velocidade crítica na canoagem de velocidade. *Bras Ci Mov* 2002;10:n.4S.
24. Taylor AS, Batterham AM. The reproducibility of estimates of critical power and anaerobic work capacity in upper-body exercise. *Eur J Appl Physiol* 2002;87:43-49.
25. Gaesser GA, Poole D. The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Exerc Sport Sci Rev* 1996;24:35-70.
26. Lucía A, Hoyos J, Pérez M, Chicharro JL. Heart rate and performance parameters in elite cyclists: A longitudinal study. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:1777-82.
27. Houmard JA, Costill DL, Mitchell JB, Park SH, Hickner RC, Roemmich JN. Reduced training maintains performance in distance runners. *Int J Sports Med* 1990;11:46-52.
28. Coyle EF, Martin III WH, Bloomfield SA, Lowry OH, Holloszy JO. Effects of detraining on responses to submaximal exercise. *J Appl Physiol* 1985;59:853-9.
29. Miura A, Endo M, Sato H, Sato H, Barstow TJ, Fukuba Y. Relationship between the curvature constant parameter of the power-duration curve and muscle cross-sectional area of the thigh for cycle ergometry in humans. *Eur J Appl Physiol* 2002;87:238-44.
30. Vermulst LJM, Vervoorn C, Boelens-Quist AM, Koppeschaar HPF, Erich WBM, Thijssen JHH. et al. Analysis of seasonal training volumes and working capacity in elite female rowers. *Int J Sports Med* 1991;12:567-72.
31. Costill DL, Thomas R, Pascoe RD, Lambert C, Barr S, Fink WJ. Adaptations to swimming training: influence of training volume. *Med Sci Sports Exerc* 1991;23:371-7.
32. Papoti M, Zagatto AM, Freitas Júnior 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;11:126-30.
33. Stone MH, Sands WA, Stone ME. The downfall of sports science in the United States. *Strength Cond J* 2004;26:72-75.

Endereço para correspondência

Fábio Yuzo Nakamura
 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: fabioy_nakamura@yahoo.com.br

Recebido em 31/10/05

Revisado em 28/03/06

Aprovado em 31/03/06