



Potência Crítica – A revisão de um conceito

Sérgio Henrique Bunioto

A busca por um índice capaz de refletir a perfeita integração que deve existir entre os sistemas cardiovascular, respiratório e muscular para ajustar o aumento da demanda energética que existe durante o exercício tem sido o tema central de diversos estudos (Astrand, 1956; Coyle, 1995; Noakes, 1988). Parte deste grande interesse provém das importantes implicações e aplicações que um índice desta natureza pode apresentar nas áreas da atividade física, do esporte, da clínica e da reabilitação. Inicialmente, o índice que apresentou maior validade para estas aplicações e por isso foi considerado por muitos pesquisadores como padrão-ouro, foi o consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}) (Denadai, 2000). Por meio de sua aferição durante um teste incremental, é possível identificar também os limiares ventilatórios, mais precisamente o limiar ventilatório II (LV II), ou ponto de compensação respiratória, um dos mais importantes índices para a predição do desempenho aeróbio (Denadai, 2000). Posteriormente, alguns estudos realizados a partir da década de 60, identificaram na resposta do lactato sanguíneo ao exercício, um outro índice de igual relevância para a avaliação aeróbia (Denadai, 2000).

A partir daí, outros parâmetros foram criados no intuito de se mensurar e/ou predizer o desempenho aeróbio, principalmente de atletas de diversas modalidades de média e longa duração, como limiar glicêmico, limiar de fadiga eletromiográfica, entre outros. Porém, tais aferições são dependentes de onerosa instrumentação laboratorial e de difícil acesso para a maioria dos indivíduos (Denadai, 2000). Sendo assim, outros métodos de baixo custo operacional, não-invasivos e de ampla aplicabilidade prática passaram a ter importância bem como estudos comparativos foram conduzidos visando correlacionar seus resultados com os testes laboratoriais já existentes. Neste contexto, um dos principais métodos estudados para a predição da endurance aeróbia tem sido o cálculo da potência crítica (Hill, 1993).

A base para o conceito de potência crítica provém da existência de uma relação hiperbólica entre carga de trabalho e o tempo que cada carga é sustentada (Hill, 1993). Em teoria, o cálculo da potência crítica proporciona uma estimativa da carga que pode ser mantida por “um tempo muito longo sem o aparecimento de fadiga” (Monod, Scherer 1965; Hill 1993) ou “teoricamente quase indefinido” (Moritani et al 1981).

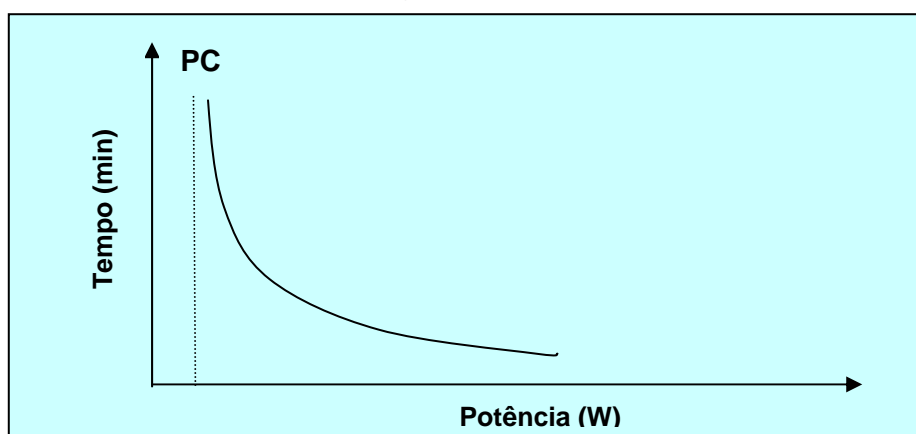
Desde o primeiro artigo elaborado por Scherrer et al (1954) com o título “trabalho e fadiga durante exercícios locais”, muitos estudos têm sido dedicados à aplicação do conceito de potência crítica a exercícios gerais como, corrida, ciclismo, exercícios em ciclo ergômetro, natação, remo, caiaque e exercícios em cadeira de rodas (Vandewalle et al, 1997).

Apesar de, teoricamente, a assíntota da relação hiperbólica potência-tempo ou trabalho-tempo (potência crítica) representar a carga sustentável por um longo período sem fadiga, estudos mostram que ao se expor um indivíduo a esta carga, a exaustão ocorre, na maioria das vezes, após cerca de 30 a 60 minutos (Hill, 1993). E ainda, uma vez que estas estimativas geralmente estão acima do limar anaeróbico (Poole et al 1988; Housh et al 1990; Talbert et al 1991; Mcllellan, Cheung 1992), e conseqüentemente com alta taxa de produção e acúmulo de lactato durante o exercício a esta intensidade (Mcllellan & Cheung 1992; Overend et al. 1992), parece que o exercício realizado na intensidade correspondente à potência crítica não pode ser sustentado sem o aparecimento de fadiga (Hill, 1993).

Para se calcular o valor correspondente a esta carga, três diferentes modelos matematicamente equivalentes foram introduzidos para descrever a relação potência-tempo ou trabalho-tempo:

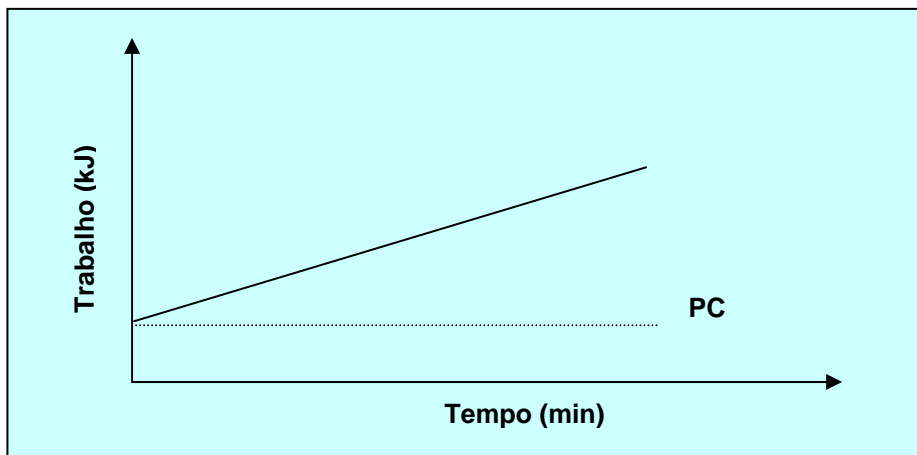
(1) modelo não-linear ou hiperbólico potência-tempo:

$$\text{tempo} = \text{CTA} / (\text{carga} - \text{PC});$$



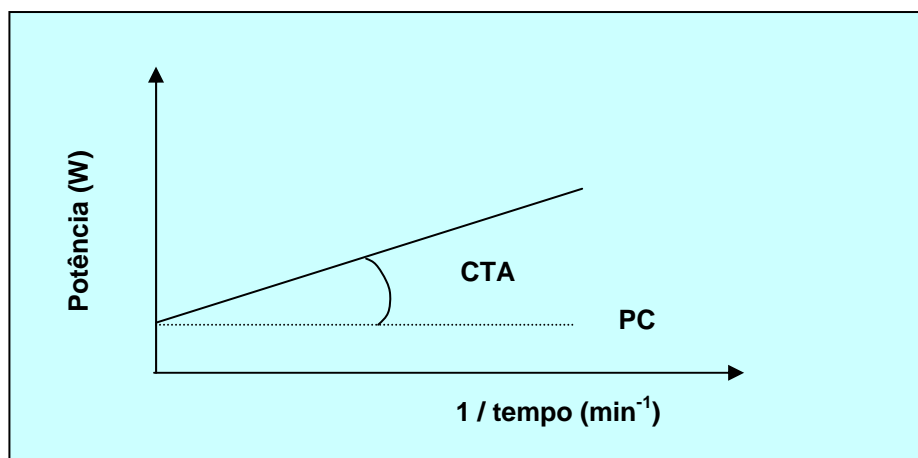
(2) modelo linear trabalho–tempo:

$$\text{trabalho} = \text{CTA} + (\text{PC} \cdot \text{tempo})$$



(3) modelo linear potência – 1 / tempo:

$$\text{carga} = \text{PC} + (\text{CTA} \cdot 1 / \text{tempo});$$



Onde:

PC = Potência Crítica

CTA = Capacidade de Trabalho Anaeróbio

HOPKINS et al (1989) elaboraram outro modelo incluindo um terceiro parâmetro no cálculo da potência crítica, a potência máxima (P_{\max}). De acordo com seus relatos, este modelo exponencial seria capaz de proporcionar uma melhor descrição da relação intensidade–tempo que os modelos tradicionais de dois parâmetros para corridas em alta velocidade em esteira:

$$\checkmark \text{ carga} = PC + (P_{\max} - PC) \cdot (e^{-\text{(tempo até exaustão} / \tau)})$$

Onde:

τ = constante de tempo

MORTON (1996) também propôs, posteriormente, um modelo alternativo que incluía a potência máxima (P_{\max}) no cálculo da PC. Este novo modelo pode ser descrito sob duas maneiras:

$$\checkmark \text{ tempo até exaustão} = CTA / (\text{carga} - PC) - CTA / (P_{\max} - PC);$$

$$\checkmark \text{ tempo até exaustão} = (CTA / (\text{carga} - PC)) + K.$$

Como descrito anteriormente, o conceito de potência crítica é baseado na relação hiperbólica entre a potência e o tempo de exaustão. Para a determinação desta relação, diferentes estudos foram realizados no intuito de se determinar o número ideal de cargas para se alcançar um resultado preciso e ao mesmo tempo proporcionar o mínimo de esforço ao avaliado (Hill, 1993; Housh et al, 1990; Carnevale, Gaesser 1991), já que quanto maior o número de cargas preditivas, menor será o erro associado aos parâmetros estimados de PC e CTA (Hill, 1993). Sendo assim, para um cálculo otimizado da potência crítica, são recomendados, conforme a maioria dos estudos, de quatro a cinco cargas preditivas, separadas por um intervalo de 24h, como sendo ótimas, conciliando precisão e exequibilidade simultaneamente (Hill, 1993). Por outro lado, ao se utilizar modelos lineares, em teoria, apenas duas cargas preditivas seriam necessárias para a derivação da PC (Denadai, 2000).

HILL (2004) comparou valores de cálculos obtidos para PC e CTA por meio da utilização de modelos com dois e três parâmetros. De acordo com seus resultados, não houve diferença significativa nas estimativas, mostrando uma maior praticidade na utilização de modelos lineares que utilizam apenas duas cargas preditivas, embora o modelo de três parâmetros tenha se mostrado mais eficaz na utilização de cargas preditivas extremamente curtas, inferiores a 2 minutos (Hill 2004). Estes resultados seguem de acordo com estudos previamente realizados por Gaesser et al (1995). Na ocasião, foram avaliados

modelos hiperbólicos e lineares, não sendo encontradas diferenças significativas em suas estimativas. Entretanto, Vandewalle et al (1997) mostraram que é preciso cautela na derivação da PC por meio de modelos lineares utilizando apenas duas cargas preditivas, uma vez que para corredores de elite de nível internacional, a relação velocidade-tempo para exaustão não se mostrou perfeitamente linear. Já para exercícios realizados em ciclo-ergômetro, outros fatores como a escolha do ergômetro ou da cadência de pedalada podem afetar a validade dos parâmetros estimados (Hill, 1993).

Um outro fator de influência na estimativa da PC relaciona-se à sugestão de um tempo limite de permanência no exercício. Nos estudos em que os participantes foram orientados a permanecerem em exercício por cerca de 24 a 30 minutos, o tempo médio para exaustão foi de 24 minutos (Overend et al 1992; Poole et al 1988). Por outro lado, quando os participantes se dirigiram ao exercício por até 60 minutos ou a exaustão, o tempo médio de exercício foi de 33 minutos (Housh et al 1990). Já quando o exercício foi realizado por até 90 minutos ou a exaustão, o tempo médio de permanência foi de 43 minutos, na primeira tentativa, e de 51 minutos na segunda (Scarborough et al 1991). E, finalmente, com o exercício sendo realizado durante o maior tempo possível até a exaustão, o tempo limite foi de 51 minutos, na primeira tentativa, e de 65 minutos, na segunda. Ou seja, parece que a sugestão de um tempo limite de permanência na intensidade correspondente à potência crítica é capaz de afetar as respostas dos avaliados. Além disso, aparentemente, o desempenho na PC está sujeito a um efeito de aprendizagem. E ainda, o desempenho dos participantes pode sofrer alterações em decorrência da fase de treinamento, do limiar anaeróbio, ou ainda devido à distribuição dos tipos de fibra muscular (Hill, 1993). Sendo assim, McLellan, Cheung (1992) notaram que é preciso padronizar a metodologia para se estimar a PC e assim, tornar possível a comparação dos dados com estudos posteriores.

Um outro questionamento importante surge em relação à duração das cargas preditivas. Como a relação potência-tempo trata-se de uma relação hiperbólica, os valores extremos desta relação tendem a ser infinitos, ou seja, subentende-se que na carga correspondente à potência crítica, o tempo de permanência seria infinito e, durante intervalos de tempo extremamente curtos, a potência capaz de ser suportada também seria infinita, o que não acontece na prática em ambas as situações (Hill, 1993). Neste caso, para se diminuir o erro

associado às cargas preditivas extremamente curtas ou longas, deve-se evitar a utilização de cargas com tempo de exaustão inferiores a 2 minutos. Um outro motivo para esta medida encontra-se no fato de que em cargas com durações extremamente curtas, a via aeróbia não está completamente ativada, o que resulta numa superestimativa dos resultados (Hill, 1993). Já em relação às cargas extremamente longas, fatores como desidratação, depleção de glicogênio, fadiga e queda motivacional também são capazes de alterar os resultados. Sendo assim, por convenção, a maioria dos pesquisadores recomenda cargas preditivas variando entre 2 e 10 minutos como sendo ótimas, visando assim minimizar o erro associado às estimativas. Portanto, para se conseguir resultados adequados e com alto grau de precisão, a escolha cuidadosa das cargas preditivas parece ser fundamental (Hill, 1993).

Contudo, apesar do conceito de potência crítica ser ainda motivo de discussões acerca das metodologias e da precisão em suas estimativas, em suma, este conceito tem se mostrado bastante eficaz e altamente correlacionado a indicadores tradicionais de desempenho aeróbio como VO_{2max} , limiar anaeróbio, limiar de lactato e outros, além de ganhar importância como método alternativo, não-invasivo e de baixo custo (Smith et al 1999). Ou seja, com apenas um cronômetro e um ergômetro é possível sua determinação, permitindo ainda, este conceito, ser facilmente adaptado à testes de campo.

Referências Bibliográficas

Astrand PO. Human physical fitness with special reference to sex and age. *Physiology Review* 1956;36: 307-36.

Carnevale TJ, Gaesser GA. Effects of pedaling speed on the power-duration relationship for high-intensity exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1991;23:242-46.

Coyle E F. Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. *Exercise and Sports Sciences Reviews* 1995; 23: 25-63.

Denadai, BS e colaboradores. Avaliação Aeróbia – Determinação Indireta da Resposta do Lactato Sangüíneo. Rio Claro: Motrix; 2000.

Gaesser GA, Carnevale TJ, Garfinkel A, Walter DO, Womack CJ. Estimation of critical power with nonlinear and linear models. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1995;27:1430-8.

Hill DW. The critical power concept. A review. *Sports Med* 1993;16:237-54.

Hill DW. The relationship between power and time to fatigue in cycle ergometer exercise. *Int J Sports Medicine* 2004;25:357-61.

Hopkins WG, Edmond IM, Hamilton BJ, MacFarlane DJ, Ross BH. Relation between power and endurance for treadmill running of short duration. *Ergonomics* 1989;32:1565-71.

Housh, D.J. et al. A methodological consideration for determination of critical power and anaerobic work capacity. *Reserch Quarterly Exercise Sport* 1990;61:406-09.

McLellan TM, Cheung KSY. A comparative evaluation of the individual anaerobic threshold and the critical power. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1992;24:543-50.

Monod H, Scherrer J. The work capacity of synergic muscle group. *Ergonomics* 1965;8:329-38.

Moritani TA, Nagata HA, de Vries HA, Muro M. Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold . *Ergonomics* 1981; 24:339-50.

Morton RH. A 3-parameter critical power model. *Ergonomics* 1996;39:61-19.

Noakes TD. Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: A comtemporary perspective. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1988;20:319-30.

Overend TJ, Cunningham DA, Paterson DH, Smith WDF. Physiological responses of young and elderly men to prolonged exercise at critical power. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 1992;64:187-93.

Poole DC, Ward SA, Gardner GW, Whipp BJ. A metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. *Ergonomics* 1988;31:1265-79.

Scarborough PA, Smith JC, Talbert SM, Hill DW. Time to exhaustion at the power asymptote in men and women. Abstract. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1991;23:S12.

Scherrer J, Samson M, Peléologue A. Etude du travail musculaire et de la fatigue. Données ergométriques obtenues chez l'homme. *J Physiol* 1954;46:887-916.

Smith JC, Dangelmaier BS, Hill DW. Critical power is related to cycling time trial performance. *Int J Sports Med* 1999;20:374-78.

Talbert SM, Smith JC, Scarborough PA, Hill DW. Relationships between the power asymptote and indices of aerobic and anaerobic power. Abstract. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1991;23:S27.

Vandewalle H, Vautier JF, Kachouri M, Lechevalier JM, Monod H. Work-exhaustion time relationships and the critical power concept. A critical review. *J Sports Med Phys Fitness* 1997;37:89-102.

© 2005 – Centro de Estudos de Fisiologia do Exercício

Este artigo somente poderá ser reproduzido para fins educacionais sem fins lucrativos