

Modelo preditivo do desempenho de ciclistas durante competição de rua simulada

Predictive model of cyclists' performance during simulated street competition

Bruno Ryker Moraes^{1,3} , Renato André Sousa da Silva^{2,3} , Flávio de Oliveira Pires³ 

¹Universidade Católica de Brasília, (UCB), Brasília, Distrito Federal, Brasil. bruno@aptidaoesportiva.com.br

²Universidade Estadual de Goiás (UEG), Itumbiara, Goiás, Brasil. rass@ueg.br, piresfo@usp.br.

³Grupo de Estudos em Psicofisiologia do Exercício (GEPsE) da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (EACH-USP), São Paulo, São Paulo, Brasil. piresfo@usp.br

Resumo

Variáveis fisiológicas obtidas em testes do tipo abertos ou fechados são sugeridas para prever o desempenho atlético em ciclistas. Contudo, não se sabe quais destas variáveis conseguiriam explicar melhor o desempenho no ciclismo. Este estudo analisou quais variáveis poderiam prever o desempenho em um simulado de ciclismo (63,5km). Ciclistas (n=15) foram submetidos a diferentes testes para a obtenção das seguintes variáveis: VO_{2MAX} , W_{PICO} , LAn e o $TLIM$. Em adição, testes fechados de 20 km (TT20km) e 5 km (TT5km), foram realizados. Significantes correlações foram observadas entre o desempenho no simulado de ciclismo e a W_{PICO} ($r = -0,83$; $p = 0,00$), o TT20km ($r = 0,71$; $p = 0,00$), e a $WLAN$ ($r = -0,63$; $p = 0,01$). Modelos regressivos simples e múltiplos *Stepwise* apresentaram a W_{PICO} e o TT20km como as variáveis a prover as melhores estimativas, com menor erro padrão de estimativa (≤ 3 minutos). Contudo, a W_{PICO} foi a única variável a entrar no modelo regressivo múltiplo, explicando 68% da variância do tempo. Apesar do apelo teórico apontando maior validade ecológica nos testes fechados, foi uma variável derivada do teste aberto, a W_{PICO} , a melhor explicar o rendimento na competição simulada.

Palavras-chave: W_{PICO} ; Validade ecológica; Ciclismo; Correlação.

Autor correspondente:

Renato André Sousa da Silva

E-mail: rass@ueg.br

Fonte de financiamento:

Não se aplica

Parecer CEP

Aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP-UCB 07411)

Procedência:

Não encomendado

Avaliação por pares:

Externa

Recebido em: 29/08/2024

Aprovado em: 31/10/2024

Como citar: Moraes, B. R., Silva, R. A. S. da, & Pires, F. de O. Modelo preditivo do desempenho de ciclistas durante competição de rua simulada. *Revista Ciências da Saúde Ceuma*, 2(3). <https://doi.org/10.61695/rcs.v2i3.54>

Abstract

Physiological variables obtained through open and closed exercises have been suggested to estimate the athletic performance of cyclists. However, it is unknown which variables best explain the performance of cycling. This study analyzed which variables best explained the performance of cyclists in a simulated race. Cyclists ($n=15$) undertake different tests to obtain: VO_{2MAX} , W_{PEAK} , LAn e o TLIM. In addition, a 20km (TT20km) and 5 km (TT5km) cycling time trial were performed. Significant correlations were observed between performance in natural cycling simulated and W_{PEAK} ($r= -0.83$; $p= 0,00$), TT20km ($r= 0.71$; $p= 0,00$), and LAn ($r= -0.63$; $p= 0.01$). Simple and multiple *Stepwise* regressive models showed that W_{PEAK} and TT20km provided the best estimates, with the lowest error of estimate (≤ 3 minutes). However, the W_{PEAK} was the single variable in the regressive model, explaining 68% of the variance of the cycling race time. Although the theory suggests greater ecological validity of closed exercises, the W_{PEAK} obtained in open exercise showed greater power to estimate the performance in an actual cycling race.

Keywords: W_{Peak} ; Ecological validity; Cycling; Correlation.

INTRODUÇÃO

Algumas variáveis fisiológicas estão associadas ao desempenho atlético em provas de ciclismo, como por exemplo, o consumo máximo de oxigênio (VO_{2MAX}) (MUJIKÁ; PADILLA, 2001). Entretanto o VO_{2MAX} é limitado em prever o desempenho em grupos homogêneos de indivíduos, justificando a busca por outras variáveis capazes de distinguir o desempenho (HAWLEY; NOAKES, 1992). Neste caso, o tempo de permanência (TLim) na intensidade do VO_{2MAX} (ou no pico de potência em teste incremental; W_{PICO}) é sugerido como discriminante do desempenho aeróbio (NOAKES, 1998). Por exemplo, o TLim explicou o desempenho em corrida de 1500m e num teste de ciclismo de 40 km (LINDSAY et. al., 1996; LAMBERTS et. al., 2012). Nesta mesma linha, outra variável tradicionalmente associada ao desempenho aeróbio é o limiar anaeróbio (LAn), onde fortes correlações sustentam a ideia de que o sucesso em provas de ciclismo também dependeria dessa variável (FARIA et. al., 2005).

As variáveis apresentadas até aqui são tradicionalmente reconhecidas como importantes para o desempenho no ciclismo. Estudos correlacionais verificaram que ciclistas mais treinados apresentam maiores valores de VO_{2MAX} , TLim, W_{PICO} e LAn (HAWLEY; NOAKES, 1992; FARIA et. al., 2005; LUCIA, 1998; BALMER et. al., 2000). Entretanto, estas variáveis são obtidas em modelos laboratoriais de exercícios abertos, os quais possuem características diferentes das situações reais em provas de ciclismo, pois possuem ponto de término desconhecido, necessidade de manter a cadência do pedal e a potência mecânica alvo fixas, e conseqüentemente, não permitem variações na W (ZAVORSKY, 2007; NOAKES, 2012; SHARMA et. al., 2015). Tais aspectos poderiam estar ligados ao limitado poder preditivo dessas variáveis.

Em exercícios com término conhecido, chamados de exercícios fechados, o ponto final é previamente conhecido e variações na W são permitidas, provendo maior especificidade e validade ecológica a esse modelo de exercício. Maiores coeficientes de variação são encontrados nesse

modelo de exercício com diferentes distâncias, como por exemplo, nos testes de ciclismo de 20km (TT20km) e 40km (TT40km) (ZAVORSKY, 2007; SMITH, 2001; VALENZUELA et. al., 2023). Laursen et. al. (2007) reportaram menor variabilidade e maior confiabilidade em exercícios fechados, quando comparados aos abertos; corroborando a ideia de que este modelo de exercício fornece avaliações adequadas para o desempenho real de ciclistas (NOAKES, 2012). Ainda, Swensen et al. (1999) verificaram que índices derivados do teste de 5km em pista (TT5km) estavam associados ao desempenho aeróbio medido em laboratório. Contudo, poucas são as evidências de que esse modelo de exercício tem, de fato, maior poder de predição do desempenho em situação competitiva no ciclismo (SHARMA et. al., 2015). Ainda são contraditórios os achados acerca do qual melhores preditores como TT20km e TT5km são em relação à índices tradicionais como VO_{2MAX} , T_{Lim}, W_{PICO} e L_{An}. Desta forma, é necessário, e foi objetivo do presente estudo, verificar a capacidade de testes abertos e fechados, laboratoriais ou de campo, em predizer o desempenho numa competição simulada de ciclismo rua.

MATERIAIS E MÉTODOS

Trata-se de um ensaio clínico correlacional de corte transversal com testagens laboratoriais e de campo onde os voluntários de uma amostra por conveniência foram informados sobre os riscos e benefícios das intervenções, bem como, assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP-UCB 07411).

Amostra e desenho

Quinze homens ciclistas recreacionais ($29,0 \pm 5,7$ anos de idade, $175,0 \pm 6,0$ cm, $70,5 \pm 5,3$ kg, $12,3 \pm 3,6$ % de Gordura e $60,7 \pm 6,8$ ml.kg⁻¹.min⁻¹ de VO_{2MAX}) realizaram três visitas laboratoriais e duas em campo, da seguinte forma: 1) teste incremental máximo (*ExcaliburLode*®, Holanda), com carga inicial de 100W e incrementos de 30W/3 minutos até exaustão, para a identificação do VO_{2MAX} , W_{pico} e L_{An}; 2) T_{Lim} na W_{pico} , com cadência do pedal em 70-80 rpm; 3) TT20 km do tipo contra-relógio em ciclo-simulador (*Computrainer*, 3D, *RacerMate*®, Seattle, WA, USA e *Techyogym*® Bolonha, Itália); 4) TT5km realizado em pista de 400 metros; 5) competição simulada de ciclismo de 63,5 km, realizada em caráter competitivo. O percurso possuía predominância de trechos planos. Todos os testes foram realizados no mesmo horário, em temperatura entre 25 e 29°C, e umidade relativa do ar entre 50-65%. Cada voluntário do estudo manteve a configuração da bicicleta usada nos testes de laboratório e de campo.

Medidas fisiológicas e de desempenho

Medidas de trocas gasosas (*Metalyzer3B*, *Cortex*®Leipzig, Alemanha) e frequência cardíaca (FC) (*Polar*®, Kempele, Finlândia) foram obtidas no teste incremental máximo, enquanto a potência mecânica (W) e tempo de prova foram obtidas nos testes Tlim, TT20km, TT5km e simulado de ciclismo.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

A estatística descritiva dos dados por média e desvio-padrão foi utilizada após confirmação da normalidade (*Shapiro-Wilk*). Modelos de regressão simples e múltiplos foram obtidos, considerando o desempenho no teste do simulado de ciclismo como variável dependente. Valores de VO_{2MAX} , Tlim, W_{LAn}, W_{PICO}, tempo de TT20km e TT5km, assim como 90% do TT5km, foram utilizados como variáveis independentes. Uma matriz de correlação de Pearson foi inicialmente obtida para verificação das correlações existentes entre variável dependente e variáveis independentes, estabelecendo, assim, as variáveis de entrada no modelo preditivo inicial. Posteriormente, modelos de regressão múltipla *stepwise* foram obtidos, baseados nos princípios de correlação parcial, colinearidade e fator de inflação da variância. O tamanho do efeito (TE) e o poder do modelo obtido foram considerados para estabelecer o melhor modelo preditivo, quando $P < 0,05$ (SPSS® versão 20.0).

RESULTADOS

Resultados obtidos nos testes abertos (incremental e Tlim) e fechados (TT20km e TT5km) estão apresentados na Tabela 1. Correlações ($p < 0,05$) foram observadas entre o desempenho no simulado de prova de ciclismo e a W_{PICO}, TT20km e W_{LAn}, enquanto as demais variáveis independentes não se correlacionaram com o desempenho no simulado de prova de ciclismo (Tabela 2). Desta forma, modelos preditivos baseados na W_{PICO}, TT20km e W_{LAn} foram obtidos.

Tabela 1 – Média (+ DP) das variáveis independentes, do tempo no simulado de prova e sua velocidade média

Testes	Média	+ DP
Velocidade média do Simulado ($km.h^{-1}$)	42,1	2,5
Tempo do Simulado (seg)	5489	229,5
VO_{2MAX} ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$)	60,75	6,79
W _{PICO} (w)	304	32,5
W _{LAn} (w)	272	34,9
Tlim (seg.)	374	133,2
TT20 (seg.)	2084	140,4

Tabela 1 – Média (+ DP) das variáveis independentes, do tempo no simulado de prova e sua velocidade média (continuação)

Testes	Média	+ DP
TT5 (seg.)	465	31,9
90% _{TT5km} (km.h ⁻¹)	35,0	2,5

W_{PICO}: potência mecânica máxima no teste incremental; W_{LAn}: potência do limiar anaeróbio; TLim: tempo até a exaustão na intensidade correspondente à W_{PICO}; TT20km: tempo para completar o teste de 20km; TT5km: tempo gasto para completar o teste de 5km; 90%_{TT5km}: 90% da velocidade média alcançada no TT5km.

Tabela 2 – Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis independentes e o tempo de prova no simulado de 63,5km

Testes	Simulado	VO _{2MAX}	W _{PICO}	W _{LAn}	TLIM	TT20km	TT5km	90% _{TT5KM}
Simulado	1	-,492	-,826**	-,636*	,090	,713**	,442	-,491
VO _{2MAX}	-,492	1	,553*	,798**	,190	-,650**	-,668**	,705**
W _{PICO}	-,826**	,553*	1	,749**	-,234	-,746**	-,412	,446
W _{LAn}	-,636*	,798**	,749**	1	,075	-,821**	-,671**	,689**
TLIM	,090	,190	-,234	,075	1	-,131	-,375	,408
TT20km	,713**	-,650**	-,746**	-,821**	-,131	1	,471	-,512
TT5km	,442	-,668**	-,412	-,671**	-,375	,471	1	-,984**
90% _{TT5KM}	-,491	,705**	,446	,689**	,408	-,512	-,984**	1

**Correlação é significativa no nível de P < 0.01. *Correlação é significativa no nível de P < 0.05. Variável dependente: simulado de prova de ciclismo de rua. Variáveis independentes são: VO_{2MAX}, W_{PICO}, W_{LAn}, TLIM, TT20km, TT5km, 90%_{TT5km}.

Dentre os modelos regressivos obtidos, apenas aqueles com a presença de uma única variável independente alcançaram poder e Tamanho do Efeito (TE) satisfatórios. Foi possível observar que W_{PICO} e TT20km proveram modelos preditivos com menor erro padrão de estimativa e maiores TE e poder. Detalhes dos modelos estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Modelos preditivos simples do tempo de prova no simulado de prova de 63,5 km

Variáveis	R ²	EPE	βSTD	t	p	TE	Poder
W _{LAn}	0,40	3,1	0,63	-2,97	0,01	1,7	0,9
TT20km	0,51	2,8	0,71	3,66	0,00	2,4	0,9
W _{PICO}	0,68	2,2	-0,83	-5,28	0,00	4,8	1

R²: Coeficiente de determinação. EPE: Erro padrão de estimativa (expresso em minutos). βSTD: coeficiente beta padronizado. T: valor do teste t-Student. p: significância. TE: tamanho do efeito.

DISCUSSÃO

O principal objetivo desse estudo foi investigar a capacidade de testes abertos e fechados, laboratoriais e de campo, em predizer o desempenho numa competição simulada de ciclismo rua. A W_{PICO} obtida em exercício do tipo aberto laboratorial apresentou o modelo preditivo mais poderoso para estimar o desempenho numa prova simulada de ciclismo.

Os achados do presente estudo corroboram os de Hawley e Noakes (1992), que encontraram significativa correlação entre a W_{PICO} e o tempo num TT20km em laboratório ($r=-0,91$). Estes resultados podem ter relação com o fato de que a W_{PICO} é uma variável dependente com diferentes fatores, como aspectos neuromusculares e metabólicos.

Noakes (1998) argumentou que a W_{PICO} estaria mais relacionada a fatores musculares ligados à ativação do ciclo das pontes cruzadas do que às adaptações respiratórias ou de suprimento do oxigênio. Contudo, o alcance de elevados valores de W_{PICO} num teste incremental máximo dependem, também, de fatores hematológicos e metabólicos. Por exemplo, ciclistas de elite apresentam maior massa total de hemoglobina comparativamente aos recreacionais, parâmetro esse com elevada capacidade preditiva do desempenho (SITKOWSKI et. al., 2024). Ademais, a capacidade de tolerar altos níveis de acidose metabólica durante o esforço é fundamental para o alcance de elevada W_{PICO} . Dessa forma, o desempenho no ciclismo pode depender da habilidade de sustentar uma alta W_{PICO} (WESTGARTH-TAYLOR, 1997) e, por isso, parece razoável aceitar que essa variável seja um forte indicador do desempenho global de ciclistas.

Especificamente quanto a ciclistas amadores em competições regionais, Coetzee et. al., (2018) identificaram que a W_{PICO} se enquadrava como uma variável significativa, adequada, precisa e útil para prever os níveis de desempenho de ciclistas de rua do sexo masculino. Além disso, foi demonstrado que ciclistas sub-23 de nível elite e atletas profissionais atingiram valores significativamente ($p < 0,05$) mais altos que os amadores na maioria dos indicadores de desempenho, em especial, no W_{PICO} (ALEJO et. al., 2022). Nessa perspectiva, parece existir um grau de relação entre a capacidade preditora do W_{PICO} e a população de ciclistas testada.

Apesar do TT20km não ter sido incluído no modelo múltiplo final, essa variável apresentou boa estimativa do desempenho no simulado de 63,5 km, explicando cerca de 51% da variância do desempenho simulado. Aceita-se que testes do tipo fechados se aproximam mais das características encontradas em situações reais do ciclismo de rua. Estudos longitudinais com atletas de nível internacional demonstram que testes fechados em campo são mais sensíveis em monitorar as alterações desempenho atlético (VALENZUELA et. al., 2023; REVUELTA et. al., 2024). No caso do presente estudo o TT5km, foi excluído nos modelos preditivos por conta das condições climáticas e da pista no dia de testagem.

A WLA_n apresentou correlações significantes com o simulado de prova, corroborando a sugestão de que essa variável seja importante para o sucesso em provas longas de ciclismo

(SWENSEN et. al., 1999; LUCIA et. al., 2002; COETZEE et. al., 2018). Contudo, quando o modelo preditivo múltiplo foi calculado, a W_{LAn} não entrou no modelo final.

A variável mais tradicional, o VO_{2MAX} , não apresentou correlação significativa com o desempenho no simulado de ciclismo, questionando se o VO_{2MAX} determina o desempenho real no ciclismo (NOAKES, 1998; HAWLEY & NOAKES, 1992). Uma das explicações para o baixo poder preditivo do VO_{2MAX} em condições de desempenho no ciclismo poderia ser a economia/eficiência no trabalho mecânico cíclico da pedalada, que em ciclistas bem treinados pode compensar um menor valor do VO_{2MAX} (LUCIA et. al., 2002). Nesse caso, este argumento poderia justificar as baixas correlações entre VO_{2MAX} , T_{Lim}, e o desempenho real no ciclismo (LUCIA et. al., 2000).

Outra variável laboratorial investigada foi o T_{Lim} na W_{PICO} , e assim como o observado para o VO_{2MAX} , essa variável não apresentou correlação com o desempenho no ciclismo de rua. Uma possível razão da ausência de associação entre T_{Lim} e o desempenho poderia ser o fato de que o simulado de prova de 63,5 km foi realizado numa velocidade média de 42,1 km.h⁻¹, sugerindo uma provável menor potência mecânica do que a W_{PICO} (304 ± 32,5 W). Porém, isto sugeriria uma ausência de correspondência entre o tempo sustentado na W_{PICO} e a capacidade de desempenho de longa duração, um argumento contrário ao principal achado desse estudo.

CONCLUSÃO

A potência pico obtida em teste laboratorial do tipo aberto apresentou melhor poder preditivo do desempenho de ciclistas recreacionais em competição simulada de rua apesar da pretensa maior validade ecológica de testes do tipo fechado.

REFERÊNCIAS

- ALEJO, L.B; MONTALVO-PÉREZ A, VALENZUELA PL, REVUELTA C, OZCOIDI LM, DE LA CALLE V, MATEO-MARCH M, LUCIA A, SANTALLA A, BARRANCO-Gil D. Comparative analysis of endurance, strength and body composition indicators in professional, under-23 and junior cyclists. *Frontiers in Physiology*, 2022, 5;13:945552.
- BALMER, J.; DAVISON, R.C.; BIRD, S.R. Peak power predicts performance power during an outdoor 16.1-km cycling time trial. *Medicine & Science in Sport & Exercise*. 2000; 32(8):1485-1490.
- COETZEE, B.; MALAN, D. Laboratory-based physical and physiological test results that serve as predictors of male, amateur road cyclists' performance levels. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2018. 32(10): 2897-2906.
- FARIA, E.W.; PARKER, D. L.; FARIA, I.E. The science of cycling: Physiology and Training Part I. *Sports Medicine*. 2005.35(4):285-312.
- HAWLEY, J.A.; NOAKES, T.D. Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists. *European Journal Apply Physiology*. 1992; 65:79-83.

- WESTGARTH-TAYLOR, C. Metabolic and performance adaptation to interval training in endurance-trained cyclists. *European Journal Applied Physiology*. 1997; 75(4): 298-304.
- LAMBERTS, R.P.; LAMBERT M.I.; SWART J.; NOAKES T.D. Allometric scaling of peak power output accurately predicts time trial performance and maximal oxygen consumption in trained cyclists. *British Journal Sports Medicine*. 2012; 46:36–41.
- LAURSEN, P.B. Reliability of time-to-exhaustion versus time-trial running tests in runners. *Medicine & Science in Sport & Exercise*. 2007; 39(8):1374-1379.
- LINDSAY, F.H.; HAWLEY, J.A.; MYBURGH, K.H.; SCHOMER, H.H.; NOAKES, T.D.; DENNIS S.C. Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training. *Medicine & Science in Sport & Exercise*. 1996. 28:1427-1434.
- LUCIA, A. Heart rate and performance parameters in elite cyclists: a longitudinal study. *Medicine & Science in Sport & Exercise*. 2000; 32(10):1777-1782.
- LUCIA, A. Physiological differences between professional and elite road cyclists. *International Journal Sports Medicine*. 1998; 19(5): 342-348.
- LUCIA, A.; HOYOS, J.; PEREZ M. Inverse relationship between VO₂max and economy/efficiency in world-class cyclists. *Science Sports Exercise*. 2002; 34: 2079-2084.
- MUJIK, I.; PADILLA S.; Physiological and performance characteristics of male professional road cyclists. *Sports Medicine*. 2001; 31: 479-87.
- NOAKES, T.D. Fatigue is a brain-derived emotion that regulates the exercise behavior to ensure the protection of whole-body homeostasis. *Frontier in Physiology*. 2012; V.3:82.
- NOAKES, T.D. Maximal oxygen uptake: “classical” versus “contemporary” Viewpoints: a rebuttal. *Medicine & Science in Sport & Exercise*. 1998; 30(9):1381-1398.
- REVUELTA, C.; ALEJO L.B.; VALENZUELA, P.L.; MONTALVO-PEREZ, A.; de La CALLE, V.; AGUNDEZ, A.; LUCIA, A.; BARRANCO-GIL, D. Time-course changes of field- and laboratory-based performance indicators in junior cyclists through a season. *International Journal Sports Medicine*. 2024; 45(6):443-449.
- SHARMA, A. P.; ELLIOTT, A. D.; BENTLEY, D. J. (2015). Reliability and validity of a new variable-power performance test in road cyclists. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2015; 10(3):278-284.
- SMITH, M.F. Reliability of mean power recorded during indoor and outdoor self-paced 40 km cycling time-trials. *International Journal Sports Medicine*. 2001; 22(4): 270-274.
- SWENSEN, T.C.; HARNISH, C.R.; BEITMAN, L.; KELLER, B. Noninvasive estimations of the maximal lactate steady state in trained cyclists. *Medicine & Science in Sport & Exercise*. 1999; 31:742-746.
- SITKOWSKI, D.; MALCZEWSKA-LENCZOWSKA, J.; ZDANOWICZ, R.; STARCZEWSKI, M.; POKRYWKA, A.; ŻMIJEWSKI, P.; FAISS, R. Predicting future athletic performance in young female road cyclists based on aerobic fitness and hematological variables. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2024, 19(9): 890-896.
- VALENZUELA, P.L.; ALEJO, L.B.; LUCIA, A.; BARRANCO-GIL, D. What does it take to become a professional cyclist? A laboratory-based longitudinal analysis in competitive young riders. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2023;18(11):1275-1282.
- ZAVORSKY, G.S. Laboratory 20-km cycle time trial reproducibility. *International Journal Sports Medicine*. 2007; 28(9):743-748.