

RAFAEL PENTEADO DOS SANTOS

**INFLUÊNCIA DA HIPÓXIA NA DETERMINAÇÃO DA
POTÊNCIA CRÍTICA PELO TESTE DE 3 MINUTOS
MÁXIMO.**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Ciências do Movimento Humano do Centro de Ciências da Saúde e do Esporte – CEFID, da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências do Movimento Humano.

Orientador: Prof. Dr. Fabrizio Caputo.

Florianópolis – 2014

**RAFAEL PENTEADAO DOS SANTOS INFLUÊNCIA
DA HIPÓXIA NA DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA
CRÍTICA PELO TESTE DE 3 MINUTOS MÁXIMO.**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação / Mestrado em Ciências do Movimento Humano do Centro de Ciências da Saúde e do Esporte – CEFID, da Universidade do Estado de Santa Catarina–UDESC como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências do Movimento Humano.

Banca Examinadora:

Orientador: _____

Prof. Dr. Fabrizio Caputo

Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Membro: _____

Prof. Dr. Ricardo Dantas de Lucas

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Membro: _____

Prof. Dr. Helio Roesler

Universidade Estadual de Santa Catarina – UDESC

Florianópolis, / / 2014

RESUMO

PENTEADO R.S, **INFLUÊNCIA DA HIPÓXIA NA DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA CRÍTICA PELO TESTE DE 3 MINUTOS MÁXIMO**.2014 Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano CEFID, UDESC, Florianópolis.

Introdução: Potência crítica (PC) representa a máxima taxa de trabalho muscular possível de ser mantida em um estado estável metabólico. Na busca por um teste com menor erro associado e maior aplicação prática, uma série de trabalhos vem investigando a validade de um único teste máximo “*all-out*” para determinar a PC. Este teste foi concebido com o pressuposto de que, induzindo o esgotamento das reservas anaeróbias o quanto antes possível, o sistema aeróbio assumiria predominantemente a reposição de ATP e conseqüentemente a carga de trabalho realizada nessa situação será próxima a PC. Assim este estudo, tem como objetivo explorar o impacto da hipóxia (i.e. FiO_2 0.13), na determinação da PC pelo teste máximo de três minutos (3-MT). **Métodos:** Oito universitários saudáveis foram avaliados (7 homens e 1 mulher). Teste incremental de rampa foi utilizado para determinação dos parâmetros máximos e submáximo bem como do fator de frenagem ($potencia+50\% \Delta / cadencia^2$). Teste de 3-MT para determinação do EP e W' nas condições normoxia e hipóxia ($Fi O_2=0,13$). Testes de carga constante a 100% dos EP foram utilizados para

verificação das respostas fisiológicas. O teste t de student foi utilizado para as aferições entre os testes. **Resultados:** A hipótese principal do estudo não foi aceita, uma vez que a adição de hipóxia não gerou estresse suficiente ao ponto de alterar a contribuição anaeróbia e interferir na determinação do EP ($3\text{-MT}_{\text{HYP}} = 213 \pm 43\text{W}$, $3\text{-MT}_{\text{NOR}} = 217 \pm 49\text{W}$ $p=0,35$) . Também não houve diferença significativa durante os testes de carga constante a 100% dos EP determinados ($\text{EP } 3\text{-MT}_{\text{HYP}} = 23,95 \pm 8 \text{ min.}$, $\text{EP } 3\text{-MT}_{\text{nor}} = 19,41 \pm 10 \text{ min.}$ $p=0,36$). **Conclusão:** A adição de hipóxia ($F_i \text{O}_2=0,13$) não foi capaz de alterar a contribuição energética a ponto de alterar o parâmetro aeróbio EP, e anaeróbio W' , destacando a robustez do modelo frente a essa intervenção. Ainda, as respostas associadas ao EP durante o teste de carga constante estão próximas aquelas encontradas durante testes de carga constante na PC. Futuras investigações com diferentes níveis de hipóxia são necessárias para obter respostas mais conclusivas.

Palavras-chave: ciclismo, teste *all-out*, fadiga, VO_2max .

ABSTRACT

PENTEADO R.S, IMPACT OF HYPOXIA ON DETERMINATION OF CRITICAL POWER BY THREE MINUTES ALL-OUT TEST.

Introduction: Critical Power (CP) is the maximum rate can be maintained in a stable metabolic state muscle work. In the search for a test associated with less error and greater practical application, a series of studies investigating the validity of a single maximal test "all-out" to determine the PC. This test was designed with the assumption that, by inducing the depletion of anaerobic reservations as early as possible, the aerobic system predominantly assume the replenishment of ATP and consequently the amount of work done in this situation will be the next PC. Thus this study aims to explore the impact of hypoxia ($F_{iO_2} = 0,13$), in determining the PC by 3-MT test. **Methods:** 8 healthy university students were evaluated (7 men and 1 woman). Incremental ramp test for determination of the maximal and submaximal parameters as well as the braking factor (power +50% Δ / pacing^2) test three minutes to determine the maximum EP and W' in normoxia and hypoxia ($F_{iO_2} = 0.13$) conditions, constant load tests at 100% of EP determined in three minutes maximum. Student t test for the measurements between tests. **Results:** The main hypothesis of the study was not accepted since the addition of hypoxia did not cause enough stress to the point of changing the anaerobic contribution and interfere with the determination of EP ($3\text{-MT}_{\text{HYP}} = 213 \pm 43\text{W}$, $3\text{-MT}_{\text{NOR}} = 217 \pm 49$ Wp = 0.35).

There was no significant difference during the constant load tests at 100% of EP (EP 3-MT_{HYP} = 23.95±8 min, EP-3 MT_{NOR} = 19.41±10 min p = 0.36). **Conclusion:** Adding hypoxia (Fi O₂ = 0.13) was not able to change the energy contribution to the point of changing the parameter EP aerobic and anaerobic W^ˆ, highlighting the robustness of the model against this intervention. Still, the responses associated with RPE during constant-load test are close to those encountered during constant load tests on PC. Further investigations with different levels of hypoxia are necessary for more conclusive answers.

Keywords: cycling, all-out test, fatigue, VO₂max.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curva média de potência derivada do teste 3-M.....	26
Figura 2. Gráfico cinética do consumo de O ₂ durante teste 3 minutos máximo nas condições 3-MT _{HYP} e 3-MT _{NOR}	27
Figura3. Contribuição energética ao longo dos 45 segundos iniciais.....	28
Figura4. Perfil de potência durante 45s iniciais.....	29
Figura 5 Consumo de oxigênio durante testes de carga constante.....	30
Figura 6- Concentrações de lactato sanguíneo durante testes de carga constante	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores médios e desvio padrão (DP) das variáveis máximas e submáximas derivadas do teste incremental máximo.....	25
Tabela 2. Valores médios e desvio padrão (DP) das variáveis fisiológicas dos testes de carga constante.....	32

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ATP	Trifosfato de adenosina
EP	Potência final
FC	Frequência cardíaca
FCmax	Frequência cardíaca máxima
GET	<i>Gas exchange threshold</i> (Limiar de trocas gasosas)
H+	Prótons de hidrogênio
iVO ₂ max	Intensidade correspondente ao consumo máximo de oxigênio
kJ	Quilojoule
[LAC]	Concentração de lactato
MLSS	Máxima fase estável de lactato
min	Minutos
mL.min ⁻¹	Mililitros de oxigênio consumido por minuto
mmol.L ⁻¹	Concentração de lactato em milimolares por litro de sangue
n	Tamanho amostral
O ₂	Oxigênio
PC	Potência crítica
P _i	Fosfato inorgânico
PP	Potência pico
s	Segundos
W'	Reserva de trabalho anaeróbio
t _{lim}	Tempo de exaustão
VO ₂	Consumo de oxigênio
VO ₂ max	Consumo máximo de oxigênio
W	Watts

Sumário

1. Introdução	7
1.1 Problematização.....	7
1.2 Objetivo geral.....	13
1.3 Objetivos específicos	13
1.4 Hipótese.....	14
1.5 Justificativa.....	14
1.6 Delimitação do estudo.....	17
2. Revisão preliminar de literatura	18
2.1 Conceito da Potência Crítica.....	18
2.2 Respostas fisiológicas na Potência Crítica ...	21
2.3 Teste de 3 min para determinação da PC	24
2.4 Condição hipóxia no ciclismo.....	31
3. Métodos	34
3.1 Sujeitos	34
3.1.1 Critérios de inclusão.....	35
3.1.2 Critérios de exclusão.....	35
3.2 Delineamento.....	35
3.3 Instrumentos de medida.....	37
3.3.1 Ciclo-ergômetro.....	37
3.3.2 Analisador de Gases Pulmonares.....	37
3.3.3 Analisador de Lactato Sanguíneo	38

3.3.4 Descarte do material.....	39
3.4 Protocolo de avaliações	40
3.4.1 Teste de incremental de rampa	40
3.4.2 Testes <i>all-out</i> de 3 minutos (3MT).....	42
3.4.3 Testes de carga constante.	44
3.4.4 Contribuição energética anaeróbia.....	44
3.4.5 Variáveis extraídas dos testes	45
3.4.6 Análise dos dados de potência mecânica	45
3.4.7 Respostas do consumo de oxigênio	46
4. ANÁLISE ESTATÍSTICA	47
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.1. Valores máximos do teste incremental	48
5.2. Valores dos testes 3-MT.	49
5.3. Valores dos testes de carga constante.....	58
6. Conclusão.....	63
7. Referências	64

1. Introdução

1.1 Problematização

A potência crítica representa a máxima taxa de trabalho possível de ser mantida em um estado estável metabólico (POOLE *et al.* 1988; JONES *et al.* 2010). De acordo com o modelo proposto por MONOD &SCHERRER (1965), um indivíduo poderia sustentar intensidades de exercício abaixo da PC (i.e. domínios moderado e pesado) por um período indefinido de tempo, desde que aja reserva suficiente de substratos para ressíntese ATP pelo sistema aeróbio (MONOD &SCHERRER 1965; MORITANI *et al.* 1981; ROSSITER 2011).

Contudo, em intensidades acima da PC (i.e. domínio severo) o tempo de exercício é determinado pela taxa de depleção da reserva de energia finita (W') (MONOD &SCHERRER 1965; MORITANI *et al.* 1981). Acredita-se que essa energia represente fontes anaeróbias como fosfatos de alta energia (ATP), glicólise e as reservas de oxigênio (O_2) intramuscular, sendo que sua depleção é dependente da cinética do consumo de O_2 e da taxa de acúmulo

de subprodutos metabólicos como ions de hidrogenio (MORITANI *et al.* 1981; MIURA *et al.* 2000; JONES *et al.* 2008; BURNLEY *et al.* 2011).

Estudos mostram que o exercício no domínio severo pode ser sustentado até o ponto onde o W' é completamente esgotado (COATS *et al.* 2003; CHIDNOK *et al.* 2012). A partir deste ponto, o exercício pode ser mantido apenas a intensidades inferiores à PC, onde a taxa de trabalho é atendida pela energia fornecida predominantemente pela via aeróbia (MORITANI *et al.* 1981). Frente a isso, a literatura aponta a PC como um forte determinante do desempenho em provas de longa duração (SMITH *et al.* 1999; JONES *et al.* 2010), e uma importante ferramenta para o controle do treinamento aeróbio em modalidades como ciclismo e corrida (VANHATALO *et al.* 2011; PENTEADO *et al.* 2014).

Potencia Critica é tradicionalmente determinada pela relação de natureza hiperbólica entre potência (P) e tempo de duração do exercício (T_{lim}), onde, a PC é extraída da assíntota da hipérbole tendendo ao infinito. A área acima da assíntota

representa o W' (MONOD & SCHERRER 1965; MORITANI *et al.* 1981; HILL 1993). Atualmente considera-se a utilização de cinco modelos matemáticos diferentes para calcular a PC, que requerem uma série de repetições de exercícios até a exaustão (cargas preditivas), com durações entre 2 e 15 minutos ou performances, dependendo do modelo utilizado (BULL *et al.* 2008).

Na busca por um teste com menor erro associado e maior aplicação prática, uma série de trabalhos vem investigando a validade de um único teste máximo “*all-out*” (nomenclatura em inglês utilizada para testes onde não há emprego de estratégia (*pacing*)) para determinar a PC, que no presente estudo será denominado 3-MT (VANHATALO *et al.* 2007; POOLE 2009).

Este teste foi concebido com o pressuposto de que, induzindo o esgotamento das reservas anaeróbias o quanto antes possível, o sistema aeróbio assumiria predominantemente a reposição de ATP e conseqüentemente a carga de trabalho realizada nessa situação será próxima a PC. Neste

modelo, a média de potência dos 30 segundos finais do teste (*end power*) está associada a PC, a área da curva de potência acima do *end power* representa o W' (VANHATALO *et al.* 2007).

Apesar do pressuposto associado ao teste parecer ter uma razoável sustentação fisiológica, o esgotamento das reservas anaeróbias ao início de um exercício máximo pode ser influenciado por uma série de fatores mecânicos como cadência de pedalada, fatores de frenagem (resistência) aplicados (BARKER *et al.* 2006; JOHNSON *et al.* 2011). No entanto as características fisiológicas que possam influenciar este esgotamento ainda foram pouco exploradas.

Importante destacar que mesmo em um exercício máximo de curta duração (30-45s), existe participação da via aeróbia na produção de ATP de cerca de 20% do total de demanda energética (MCLELLAN *et al.* 1990; KRUSTRUP *et al.* 2003), ou ainda, como demonstrado por OGURA *et al.* (2006) a contribuição anaeróbia durante um exercício de 40s máximo é alterada de 69% em normóxia para 75% em hipóxia.

Nesta linha, CALBET *et al.* (2003) conduziram um protocolo de teste máximo de 30 segundos (*Wingate anaerobic test*) em condições distintas quanto ao aporte de oxigênio para ciclistas em dois grupos, *endurance* e velocistas. Os velocistas demonstraram uma queda acentuada na potência média do teste na condição de hipóxia (i.e. 10.4% O₂). Destaca-se ainda que o mesmo fenômeno não foi identificado no grupo *endurance*.

Os autores atribuem esse resultado a uma antecipação da via aeróbia no atendimento da demanda energética durante o teste para o grupo *sprinters*, economizando uma parcela das reservas anaeróbia, as quais puderam ser novamente solicitadas no momento que a ausência do O₂ começou a prejudicar a produção de ATP.

Adicionalmente, (CLARK *et al.* 2007) demonstraram uma queda de 7% na potência média em um teste máximo de 5min conduzido sob vários níveis de hipóxia, bem como, aumento significativo nas [LAC] indicando uma maior participação da via glicolítica. Os autores apontam ainda, uma forte

correlação ($r^2=0.85$) entre a queda na potência média do teste e queda no consumo de O₂ devido a adição gradual de hipóxia.

De fato os resultados do estudo acima, apontam para uma possível antecipação no atendimento da demanda energética pela via aeróbia. Isso implica diretamente no propósito do 3-MT, pois, o esgotamento das reservas anaeróbias seria prejudicado.

Com isso, a potência dos 30 segundos finais poderia ser sustentada com contribuição da via anaeróbia, tendendo a representar uma intensidade de exercício superestimada para a real interpretação de PC como sendo um índice submáximo do metabolismo aeróbio. Interferindo assim em suas funções práticas como o controle do treinamento, predição de performances em provas. (FRANCIS *et al.* 2010)

Assim este estudo, tem como objetivo explorar o impacto da hipóxia (i.e. FiO₂ 0.13), na determinação da PC pelo 3-MT, ao passo que a hipóxia parece ser um potencial instrumento para interferir na resposta

da via aeróbia quanto ao atendimento da demanda de energia no início do teste. Possivelmente aumentando a participação da via anaeróbia, acentuando a queda na potência aos 30 segundos finais do teste.

1.2 Objetivo geral

Analisar o impacto da hipóxia na determinação dos parâmetros, aeróbio EP e anaeróbio W, derivados do 3-MT.

1.3.1 Objetivos específicos

a) Determinar e comparar os índices PC e W' determinados pelo teste 3-MT, nas condições controle 3-MT e hipóxia (3-MT_{hip});

b) Estimar o percentual de contribuição energética durante as duas condições através do cálculo do déficit de O₂;

c) Determinar e comparar as respostas fisiológicas em testes de carga constante em intensidades relativas às PC extraídas das duas condições.

1.4 Hipótese

Frente aos apontamentos de CALBET *et al.* (2003) e CLARK *et al.* (2007) ao observar que a hipóxia pode causar impacto negativo na potências média de um teste máximo de 30s e 5min respectivamente. Destaca-se a possibilidade de associar a hipóxia na tentativa de alterar entrega de oxigênio para o tecido exercitado durante o teste 3-MT, assim, a hipótese geral do presente estudo é que a hipóxia nos primeiros 45s do teste 3-MT, irá interferir na interação dos sistemas energéticos especificamente no que diz respeito ao esgotamento das reservas anaeróbias no início do teste. Assim a PC será menor quando comparada a de um teste na modelagem tradicional 3-MT.

1.5 Justificativa

A PC é importante índice tanto para o treinamento, representando a divisão entre os domínios moderado e severo quanto para a análise do desempenho humano, pois, é um índice que ajuda a compreender o processo de fadiga e a tolerância ao

exercício (MORITANI, T. *et al.* 1981; FRANCIS *et al.* 2010)

Há na literatura evidências de que a PC seja a maior intensidade de esforço possível no domínio pesado, sendo que acima dela o esforço ocorreria no domínio severo, com aparecimento de fadiga, (GAESSER & POOLE 1996). Dessa forma muitos estudos buscaram comparar o conceito de PC com MFEL (PRINGLE & JONES 2002; DEKERLE *et al.* 2003), Limiar de lactato (MCLELLAN & CHEUNG 1992), Limiar ventilatório (POOLE *et al.* 1988; DEKERLE *et al.* 2003).

Sua aplicação prática envolve atividades contínuas com duração entre 2 e 30 minutos, as quais os indivíduos passam grande parte deste tempo exercitando-se no domínio severo de exercício, onde o componente anaeróbio é altamente presente como ciclismo, corridas de fundo, remo. Além disso, o modelo de CP pode ser modificado para o exercício intermitente, portanto, também apresenta aplicação potencial para o treinamento intervalo e esportes de

coletivos, como futebol, rúgbi, basquetebol.(VANHATALO *et al.* 2011)

Com a padronização do 3-MT para derivação da PC, novas perspectivas vêm sendo debatidas (JONES *et al.* 2010). Uma vez que em um único teste, é possível se obter dois importantes índices PC e CTA, por meio de uma dinâmica única de exercício (POOLE 2009). A partir desta padronização, alguns trabalhos e comprovaram a sensibilidade do método em detectar mudanças nos parâmetros. (VANHATALO *et al.* 2007; CLARK *et al.* 2013b).

Nas últimas décadas, uma série de estudos trouxe à tona a questão mecânica envolvida no teste como fatores de frenagem cadência de pedalada e mesmo a modalidade, estado de treinamento e características da amostra, já foram investigados na tentativa de definir o método (BISHOP *et al.* 1998; DI PRAMPERO 1999; DE LUCAS *et al.* 2002).

Ainda existem algumas lacunas quanto às questões fisiológicas e principalmente se o teste é capaz de exaurir as reservas anaeróbias como propõem o modelo. Neste sentido, o presente estudo

justifica-se pela busca em elucidar os processos fisiológicos e principalmente no que tange a interação entre os sistemas energéticos no processo de síntese de ATP no início do teste. Podendo trazer informações importantes para a compreensão do conceito e aplicação do teste e dos índices dele derivados.

1.6 Delimitação do estudo

Este estudo avaliou 9 sujeitos do sexo masculino, com idade superior a 18 anos, fisicamente ativos, mas não treinados na modalidade de ciclismo. A realização dos testes foi realizada de forma aleatória, por meio de sorteio, totalizando 7 testes sendo, um teste de carga variável (incremental), uma familiarização com o teste máximo de 3 minutos. Dois testes máximo de 3 minutos e por fim 3 testes de carga constante referentes às potências críticas obtidas nos testes de 3 minutos. Os sujeitos não receberão informações sobre os resultados das variáveis até completarem todos os procedimentos experimentais.

2. Revisão preliminar de literatura

2.1 Conceito da Potência Crítica

A relação entre a carga de trabalho e o tempo de exaustão para exercícios de alta intensidade foi inicialmente documentada por HILL (1927) e posteriormente caracterizada por (MONOD & SCHERRER 1965), como uma função linear entre o trabalho realizado e o tempo de exaustão em uma variedade de cargas, utilizando pequenos grupos musculares. Nesta relação, o coeficiente angular da função matemática foi denominado de potência crítica (PC), e se especulou representar uma intensidade de exercício que poderia ser mantida sem exaustão por um tempo prolongado.

Um conceito fundamental envolvido na modelagem da capacidade de trabalho pelo tempo de exaustão é a presunção de que o sistema orgânico é composto por dois compartimentos de suprimento da demanda energética, o aeróbio e o anaeróbio (MORTON 2006). Segundo este autor, o índice do fornecimento aeróbio de energia é ilimitado em capacidade, mas limitado quanto à taxa de

fornecimento, tendo a potência crítica como parâmetro limite, e sendo o tempo de exaustão em intensidades de exercício até a potência crítica relativamente prolongado.

Em intensidades acima da PC, a participação aeróbia se estabilizaria demandando cada vez mais a participação anaeróbia, que por sua vez, é considerada limitada em sua capacidade e ilimitada em sua taxa temporal de fornecimento, sendo delimitada pela W' (HILL 1993; MORTON 2006). No campo da aplicação prática, alguns estudos têm sugerido que a PC possa ser uma forma indireta de identificação da máxima fase estável de lactato (MFEL) (WAKAYOSHI *et al.* 1993; BURNLEY *et al.* 2006), dado que teoricamente se assumiu que a PC seria uma intensidade onde existia equilíbrio fisiológico, com estabilidade dos principais parâmetros metabólicos e respiratórios, tais como [Lac], pH, O_2 , como demonstrado por (JENKINS & QUIGLEY 1990) e também (POOLE *et al.* 1988). Tradicionalmente a MFEL é determinada de forma direta por meio de uma série de exercícios de intensidade constante, com duração de pelo menos

30 minutos, e é definida como a maior intensidade em que não ocorra aumento $> 1\text{mM}$ do lactato sanguíneo entre o 10º e o 30º minuto (BENEKE & VON DUVILLARD 1996). Atualmente, existe um corpo robusto de publicações demonstrando que a potencia critica e a MFEL, embora sejam altamente correlacionadas, representem intensidades relativas diferentes, sendo a PC ligeiramente superior à MLSS (BRICKLEY *et al.* 2002; DE LUCAS *et al.* 2002; DEKERLE *et al.* 2009). PRINGLE & JONES (2002) estudaram indivíduos ativos e encontraram valores de PC ($242 \pm 25\text{W}$) significativamente superiores a carga correspondente à MLSS ($222 \pm 23\text{W}$). Da mesma forma, Dekerle *et al.* (2003) encontraram valores significativamente menores (-8,5%) para MLSS ($239 \pm 21\text{W}$) quando comparado à PC ($278 \pm 22\text{W}$), mas em indivíduos treinados. Mais recentemente, CARITÁ *et al.* (2009) demonstraram também em um grupo de ciclista bem treinados, que a PC ($313 \pm 32\text{W}$) foi significativamente maior que a MLSS ($287 \pm 37\text{W}$), representando uma diferença percentual de 9,5%. DEKERLE *et al.* (2009) analisaram na natação a mesma tendência de superestimação da velocidade

crítica (VC) em relação à MLSS. É interessante ressaltar por meio dos resultados destes estudos, que embora os dois índices não representem a mesma intensidade fisiológica, foi encontrada uma alta correlação entre a PC e a MLSS ($r > 0,89$). Assim, atualmente, a PC têm sido bastante criticada como um método indireto para estimar a MLSS, uma vez que estas realmente não representam a mesma intensidade metabólica.

2.2 Respostas fisiológicas na Potência Crítica

As respostas fisiológicas decorrentes de um exercício conduzido na PC, vêm sendo investigado deste o final da década de 80 (POOLE *et al.* 1988; POOLE *et al.* 1990), e atualmente sabe-se que a exaustão nesta intensidade ocorre em torno de 20 a 40 min (BRICKLEY *et al.* 2002; DE LUCAS *et al.* 2002; CARITÁ *et al.* 2009). HOUSH *et al.* (1991) verificaram algumas respostas fisiológicas quando se exercita na PC até a exaustão. Os autores encontraram valores de VO_2 , FC e lactato, no momento da exaustão que foram próximos aos valores máximos observados durante o teste de rampa para determinar o VO_{2max} .

Desta forma, este e outros estudos subsequentes verificaram que a PC não representa uma intensidade de estabilidade da maioria das variáveis fisiológicas, como já sustentado por estudos citados anteriormente. POOLE *et al.* (1988); POOLE *et al.* (1990), em que se observou que na intensidade associada à PC, o $\dot{V}O_2$ tende a uma estabilidade em aproximadamente 75% do $\dot{V}O_{2max}$. Somente quando a intensidade foi aumentada em 8 a 11% da PC (16 a 23W), o $\dot{V}O_{2max}$ foi atingido (Poole *et al.*, 1988).

Brickley *et al.* (2002), utilizando indivíduos treinados, observaram que na intensidade de exercício associada a PC (~80% $\dot{V}O_{2max}$), o $\dot{V}O_2$ se eleva até aproximadamente 91% do seu valor máximo, levando a exaustão em 29 min (valor médio).

Com base principalmente nestes dois últimos estudos pode ser sugerido que a intensidade mínima na qual o $\dot{V}O_{2max}$ pode ser atingido, está situada acima da PC, podendo ser dependente entre outros fatores, do estado de treinamento aeróbio. Caputo (2006) demonstrou que em indivíduos não-treinados, a PC está situada em um percentual menor da

potência do VO₂max, do que indivíduos treinados (não treinados = $63 \pm 9\%$; ciclistas = $86 \pm 2\%$). Desta forma, estes resultados sugerem que as adaptações do treinamento modificam a relação entre a PC e a VO₂max, podendo desta forma interferir na menor intensidade de esforço em que é possível atingir o VO₂max. De qualquer forma, hoje existe um corpo de conhecimento relativamente grande que concorda em afirmar que durante exercícios submáximos, é necessário se exercitar logo acima (5-10%) da PC, para realmente conduzir o O₂ aos seus valores máximos (JONES et al., 2010; DE LUCAS et al., 2012b).

Assim, de acordo com o modelo teórico (MORTON, 2006), a PC tem sido considerada como uma intensidade a qual nosso sistema energético aeróbio apresenta uma contribuição exclusiva, porém os estoques anaeróbios são continuamente utilizados para ressintetizar parte do ATP necessário, em intensidades acima da PC. Nesta última década, uma nova forma de determinação da PC vem se tornando cada vez mais popular, uma vez que em apenas um único teste, se consegue a determinação deste índice

aeróbio (JONES et al., 2010). Por meio do teste de um esforço máximo (all-out) que foi inicialmente proposto com duração de 90 s (CARTER et al. 2005; BRICKLEY et al. 2007) e posteriormente padronizado com a duração de 180 s (BURNLEY et al. 2006; VANTAHALO et al. 2007a), têm se conseguido obter a PC por meio da média de potência gerada nos últimos 30 s do teste. Os conceitos gerais e as perspectivas deste teste estão apresentadas nos capítulos subsequentes.

2.3 Teste de 3 min para determinação da PC

BURNLEY *et al.* (2006) publicaram o primeiro estudo propondo o teste *all-out* de 3-min de duração (180s) em ciclo-ergômetro, como uma forma alternativa de determinação de parâmetros aeróbios de desempenho. Para tal, os autores assumiram a potência média gerada nos últimos 30 s como representativa da máxima fase estável de lactato (chamada originalmente de *end-power* – EP). É importante destacar que neste estudo inicial, os autores assumiam uma igualdade entre a PC e a MLSS, fato este que foi discutido anteriormente nesta

revisão de literatura. Posteriormente, os mesmos autores validaram a EP obtida neste mesmo teste para determinar a PC, e não mais a MLSS (VANHATALO et al., 2007a; FRANCIS et al., 2000).

Assim, este teste passou a ser pesquisado especificamente pelo mesmo grupo de pesquisadores, com uma série de publicações demonstrando a robustez da EP, frente a diferentes manipulações (VANHATALO et al., 2007b; VANHATALO et al., 2008; VANHATALO e JONES, 2008; VANHATALO e JONES, 2009). Outro aspecto importante de se destacar neste teste, é a obtenção da W' , que neste caso se calcula a partir do trabalho realizado nas cargas acima da EP. Desta forma, este índice que representa a reserva anaeróbio total, têm apresentado particular interesse nos estudos acima citados, dado que parece ser influenciável por manipulações como a realização prévia de *sprints* (VANHATALO e JONES, 2008), a cadência e a potência pico obtidos no início do teste (VANHATALO et al., 2007b).

Para que um teste seja considerado adequado e aplicável, o mesmo tem que passar inicialmente por um processo de análise de reprodutibilidade e posteriormente, confirmada sua boa repetibilidade, um processo de validação das medidas obtidas. Assim, no estudo inicial publicado por Burnley et al. (2006), foi verificada uma boa reprodutibilidade e também evidências de validade deste teste de 3 min, para identificar uma potência que representasse o sistema aeróbio. Estes autores mensuraram a EP em dois testes e verificaram não existir diferença entre as médias obtidas (256 ± 48 vs. 257 ± 55 W), assim como encontraram um alto coeficiente de correlação entre elas ($r=0,99$). Complementando os resultados de reprodutibilidade, os autores encontraram um erro típico de medida de 3% (~ 7 W) entre o teste e reteste. Estas mesmas análises foram realizadas em relação ao O_2 pico obtido um teste incremental de rampa até exaustão e nos testes de 3 min. Da mesma forma, que observado para EP, não foram observadas diferenças significativas entre o O_2 pico obtido no teste incremental (3,84 L/min) e nos dois testes de 3min (3,77 e 3,78 L/min respectivamente). Ainda neste

estudo, os autores submeteram os sujeitos a dois testes de carga constante para verificar as respostas fisiológicas durante 30 min (ou até a exaustão) em duas intensidades: 15W abaixo da EP e 15W acima da EP. Quando os indivíduos pedalarão abaixo da EP, ocorreu estabilidade da [Lac], do O₂ e os 30min de exercício foram completados. Entretanto quando se exercitaram 15W acima foi encontrada uma exaustão anterior aos 30min (~ 12,75 min) e aumento contínuo da [Lac] e o O₂pico foi atingido no momento da exaustão.

Assim os autores concluíram que a EP obtida no teste de 3 min, é reprodutível e parece representar bem um demarcador dos domínios pesado e severo. Posteriormente, Vanhatalo et al. (2007) compararam o EP com a PC derivada a partir de testes de exaustão (modelo linear potência versus 1/tempo) e não encontraram diferenças entre estes dois índices ($287 \pm 55W$ e $285 \pm 55W$, respectivamente). Neste estudo também foi analisado a W' obtida no teste de 3 min e na determinação tradicional da PC, mais uma vez não encontrando diferença entre os dois índices ($15,0 \pm 4,7$ kJ versus $16,0 \pm 3,8$ kJ). Assim, com estes

resultados ficou demonstrado que no teste *all-out* de 3 min, a capacidade anaeróbia de trabalho é completamente esgotada, tornando o EP igual a PC. Um fato importante de se destacar é o modo no qual este teste tem sido conduzido na maioria dos estudos publicados (ver tabela 9). Dentre os modos de funcionamento do ciclo-ergômetro Holandês da marca Lode (modelo Excalibur), o modo chamado de linear deixa a cadência livre, e a partir de uma resistência pré-selecionada, calcula a potência gerada pelo sujeito. Este modo é similar ao realizado no ciclo-ergômetro mecânico como a Monark (PATON; HOPKINS, 2001). Assim, a resistência no ergômetro Lode é chamado de fator linear (*linear factor*) e é calculado a partir de uma potência e de uma cadência por meio da seguinte equação: Fator Linear = potência/ cadência².

Praticamente em todos os estudos conduzidos pelo grupo que difundiu este tipo de teste com o ergômetro Lode (BURNLEY et al., 2006; VANHATALO et al. 2007; VANHATALO et al. 2008), este fator linear foi calculado a partir da potência correspondente ao delta 50% (50% da diferença entre

o $\dot{V}O_{2\max}$ e o $\dot{V}O_2$ do limiar de lactato ou ventilatório) e a cadência preferida, sendo ambos derivados de um teste incremental em rampa. O motivo pelo qual estas variáveis são utilizadas, é justificado pelos autores (BURNLEY et al., 2006) para que conduza os sujeitos a terminarem o teste em uma potência próxima a do delta 50% e da cadência preferida. Para verificar o efeito da cadência nos parâmetros deste teste, Vanhatalo et al. (2007) manipularam a cadência utilizada para definir a resistência do teste, utilizando 3 condições: cadência preferida, cadência preferida – 10rpm e cadência preferida + 10rpm. Assim, a cadência máxima atingida no início do teste (136 ± 10 rpm; 155 ± 12 rpm) e conseqüentemente a potência pico (793 ± 141 W; 645 ± 122 W) foram significativamente diferentes entre resistência calculada com a cadência inferior e superior, respectivamente. Ainda assim, não foram observadas diferença estatística na potência final do teste de 3 min entre as duas condições (251 ± 38 W versus 244 ± 41 W). Embora este modo de funcionamento do teste tem sido demonstrado ser robusto a uma série de manipulações no início do teste (VANHATALO et

al. 2007; VANHATALO e JONES, 2009) e também sensível ao treinamento aeróbio (VANHATALO et al. 2008), Dekerle et al. (2008) destacam a possibilidade deste teste ser conduzido em cadências fixas (modo isocinético) dado que, normalmente existe uma grande diferença na cadência entre o início e final do teste, fato este que implica em diferentes eficiências na contração e recrutamento muscular. Assim, o conhecimento sobre as possíveis implicações e aplicações da utilização deste teste no modo isocinético ainda é escasso na literatura. Carter et al. (2005), Dekerle et al. (2006), Brickley et al. (2007) e Dekerle et al. (2009), aplicaram o conceito do teste *all-out* no modo isocinético, porém com durações de 90s, uma vez que diversos estudos haviam demonstrado que em aproximadamente 60-75s. os estoques anaeróbios são depletados, implicando em geração de potência compatível com o fornecimento de energia aeróbia. Assim, os autores supracitados acreditaram que com o esgotamento da W' , a PC poderia ser encontrada nos últimos 10 s do teste.

2.4 Condição hipóxia no ciclismo.

No ciclismo, as provas com maior expressão como Tour de France, Giro d'Itália e Volta da Espanha, geralmente apresentam etapas percorridas em altitudes entre 1.000 e 3.000 metros em relação ao nível do mar (CLARK *et al.* 2007). Mesmo aqueles atletas que não competem no mais alto nível das provas de rua do ciclismo, utilizam em seu treinamento períodos de exposição a hipóxia (MILLET *et al.* 2010; FUDGE *et al.* 2012).

O impacto da hipóxia aguda ($FIO_2 \sim 0,13$) sobre a produção de energia moderada não tem nenhum efeito sobre a absorção de O_2 ou o desempenho durante o exercício supra máximo com uma duração de até 30 s (WEYAND *et al.* 1999), resultados contraditórios têm sido relatados sobre a influência que os níveis elevados de hipóxia ($FIO_2 \sim 0,11-0,10$) pode ter sobre o desempenho e metabolismo (MCLELLAN *et al.* 1990; MCLELLAN *et al.* 1993).

Nestes trabalhos foram observadas diferenças significativas nas respostas de [LA] muscular, apontando um aumento nas concentrações pós teste

30s (27.1 para 67.5 mmol.kg⁻¹) e 45s (34.6 para 66.6 mmol.kg⁻¹) apontando uma glicólise acentuada, devido à queda no consumo de oxigênio proveniente da mistura de gases.

Com base nestes trabalhos, CALBET *et al.* (2003) mostraram um impacto significativo desta vez em um índice mecânico, potência média, durante um teste máximo de 30s em ciclistas com adaptações ao treinamento distintas, *endurance* e *sprinters*. Este traz indícios que mesmo em um teste de curta duração a participação do metabolismo aeróbico desempenha importante contribuição energética, já nos momentos iniciais do teste.

Uma queda acentuada na potência média quando os sujeitos executaram o teste sob hipoxia aguda ($F_i O_2 \sim 0.11$), foi observada apenas no grupo *sprinter*, ($P_{mean} = 1,030 \pm 52W$ normoxia, $962 \pm 51W$ hipoxia) os autores atribuem essa queda a uma alta taxa de produção de ATP proveniente do metabolismo anaeróbico neste grupo. Assim, nos últimos instantes do teste, onde a via aeróbica representa alta contribuição, a ausência de oxigênio não permitiu

sustentar a alta taxa de producao de ATP para sustentar a potencia.

O contrário ocorreu no grupo *endurance* ($P_{mean}= 813\pm 22W$ normoxia, $805\pm 20W$ hipoxia) pois devido a um ajuste na produção de ATP pela via aerobia possibilitou que parte das reservas anaerobias fossem economizadas ao inicio do exercicio. Com isso no momento em que a ausencia de oxigenio gerou impacto na producao de ATP, a via anaerobia pode ser solicitada novamente, suportando assim uma alta taxa de produção de ATP.

O efeito da hipoxia tambem altera a contribuicao energetica como descrito por OGURA *et al.* (2006) apontam uma diferenca significativa no percentual de contribuição da via anaerobia durante um teste maximo de 40s, na casa de 69% para condicao normoxia, aumentando para 75% na condicao hipoxia aguda (i.e $FiO_2=12.7\%$)

Em testes prolongados (i.e ~ 5min t) o impacto da hipoxia também foi observado por CLARK *et al.* (2007) demonstraram uma queda de 7% na potência media em um teste máximo de 5min conduzido sob vários níveis de hipoxia, bem como, aumento

significativo nas [LAC] indicando uma maior participação da via glicolítica. Os autores apontam ainda, uma forte correlação ($r^2 = 0.85$) entre a queda na potência média do teste e queda no consumo de O₂ devido a adição gradual de hipóxia. Com relação a potencia crítrica, DEKERLE *et al.* (2012) relatam que a potencia critica determinada pelo modelo linear (potencia/tempo limite) é suscetível a hipoxia (FiO₂ 12%)

3. Métodos

3.1 Sujeitos

Foram analisados 9 indivíduos (8 homes e uma mulher) com idade entre 18 e 35, fisicamente ativos, não fumantes e que não façam uso regular de qualquer tipo de medicamento. Para constatar a ausência de risco, os participantes responderam ao questionário Par-Q, se apenas uma das questões fosse respondida com um sim, seria recomendado uma avaliação de um médico e o sujeito estaria automaticamente desligado do projeto. A seleção dos sujeitos foi realizada de forma intencional.

Em um encontro prévio, os sujeitos foram informados textual e verbalmente sobre os objetivos, procedimentos e riscos envolvidos no estudo. Foram considerados ativos os indivíduos que relataram participar de alguma forma de atividade física nos últimos seis meses por um período maior do que 20 minutos por dia e com frequência de pelo menos três vezes por semana (CASPERSEN *et al.* 2000). Os procedimentos do estudo foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CEPSH) da Universidade Estadual de Santa Catarina com numero de protocolo 010893/2014

3.1.1 Critérios de inclusão

Não apresentar nenhuma resposta “sim” no preenchimento do questionário Par-Q

3.1.2 Critérios de exclusão

Apresentar uma resposta “sim” no preenchimento do questionário Par-Q

3.2 Delineamento

Todos os testes foram conduzidos em um ciclo-ergômetro da marca Lode (modelo Excalibur Sport,

Lode® BV, Groningen, Holanda). Cada sujeito visitou o laboratório em sete ocasiões diferentes, separadas por no mínimo 48 horas, uma vez que em cada visita fora exigido um teste de esforço até a exaustão voluntária e/ou de característica máxima.

Os sujeitos foram instruídos a não realizar atividade física extenuante nas 48 horas que precederem cada visita ao laboratório e também a não alterar sua dieta antes de cada teste, bem como evitar ingestão de bebidas alcoólicas, cafeína nas 2 horas que precedem o teste. Os testes foram realizados no mesmo horário do dia em todas as visitas ($\pm 2h$).

Na primeira visita ao laboratório foi conduzido o procedimento antropometria com a aferição da massa e estatura e um teste incremental de rampa. Na segunda visita, foram realizados: determinação do consumo submáximo para posterior determinação do déficit de O₂ e uma familiarização e os testes 3-MT. Nas Visitas 3 e /ou 4 os testes 3-MT foram aplicados sendo normóxia ou hipóxia, em cada uma das visitas. Nas três últimas visitas foram realizados os testes de carga constante nas intensidades referentes à PC

derivada das duas condições de 3-MT. Exceto a familiarização, a ordem dos testes foi determinada de forma randômica, sem interferência da escolha do sujeito. Abaixo um esquema gráfico para melhor compreensão do design experimental.

3.3 Instrumentos de medida

3.3.1 Ciclo-ergômetro

Um ciclo-ergômetro eletromagnético da marca Lode® (modelo Excalibur Sport, Groningen, Holanda), foi utilizado em todos os testes. Os ajustes de altura do selim, altura do guidom, e a distância entre o selim e o guidom foram realizados na primeira visita, de acordo com a ergonomia e conforto de cada sujeito e prontamente registrados. Estas mesmas medidas foram reproduzidas em todos os testes subsequentes.

3.3.2 Analisador de Gases Pulmonares

Durante todos os testes, os sujeitos respiraram com uma máscara buco nasal de silicone, conectada a um analisador de gases, com medidas respiração a respiração (Quark CPET, Cosmed®, Roma, Itália). A calibração do equipamento foi realizada de acordo

com as recomendações do fabricante antes de cada teste e consistiu em:

- 1) calibração do ar ambiente;
- 2) calibração dos gases (O₂ e CO₂) a partir de uma concentração conhecida de gases (16% de O₂ e 5% de CO₂);
- 3) calibração da turbina por meio de uma seringa com volume de ar de 3L (Cosmed[®], Roma, Itália).

Após a realização das calibrações e de inserir os dados do sujeito no *software* Cosmed[®], as variáveis cardiorrespiratórias foram adquiridas continuamente, registradas e gravadas a cada respiração. Cada teste foi exportado a partir do *software* Cosmed[®], e foram tratados no pacote Microsoft Excel, Oringi Lab.

3.3.3 Analisador de Lactato Sanguíneo

Amostras de sangue capilar (25µl) obtidos no lóbulo da orelha foram coletadas durante o repouso após aquecimento e ao final do teste, sendo neste período coletadas amostras no primeiro e a cada dois

minutos até o sétimo minuto pós teste, utilizando tubos capilares heparinizados e estocados em micro tubos do tipo *Eppendorf* contendo 50µl fluoreto de sódio para evitar a coagulação da amostra. O lactato sanguíneo será analisado por meio de um analisador eletro enzimático da marca Yellow Spring® (YSI 1500 SPORT, Yelow Springs, Ohio, E.U.A.)

O equipamento foi previamente calibrado com uma solução padrão com concentração de lactato de 5 mM e a cada 5 amostras a calibração foi conferida, caso houvesse perda na calibração (*valores abaixo de 4.9 e acima de 5.1mM/LAC*), a mesma seria reestabelecida repetindo o processo.

3.3.4 Descarte do material

Todos os materiais, limpos ou contaminados por resíduo infectante foram acondicionados em recipientes com tampa, rígidos e resistentes à punctura, ruptura e vazamento. Em geral, foram utilizadas caixas tipo Descartex, Descarpack®. Ao atingir a marca tracejada no recipiente, o mesmo foi fechado e acondicionado em sacos brancos, devidamente lacrados e identificados.

Foi expressamente proibido o esvaziamento desses recipientes para o seu reaproveitamento.

3.4 Protocolo de avaliações

3.4.1 Teste de incremental de rampa

O teste de rampa foi conduzido no cicloergômetro, utilizando o modo hiperbólico, no qual a potência se torna independente da cadência de pedalada. O teste iniciou com uma carga de 20W, a qual permaneceu constante por 4 min. Após este período, foi iniciado o teste incremental de rampa, com incremento de 1W a cada 2s (representando 30W por min), até a exaustão voluntária. Os sujeitos foram instruídos a pedalar em suas cadências preferidas. O teste foi interrompido quando houvesse uma queda maior do que 10 rotações por minuto (RPM) em relação a cadência preferida e mesmo com encorajamento verbal, não conseguisse retomar a cadência.

No teste incremental de rampa foram obtidos os seguintes índices:

- a) Potência máxima (Pmax);
- b) Consumo de oxigênio máximo (VO_{2max});
- e) Lactato sanguíneo pico (LACpico)

O VO_{2max} , VCO_{2max} , VE_{max} foram obtidos a partir dos valores médio de 10s. A potência correspondente ao VO_{2max} , foi identificada como a menor potência em que o VO_{2max} foi atingido. O LACpico foi considerado como o maior valor obtido entre o momento do final do teste e nos minutos 1, 3, 5 e 7 de recuperação.

A partir das medidas respiratórias do teste de rampa, também foi identificado para cada sujeito, o limiar de trocas gasosas (GET), que foi utilizado para controlar a intensidade do aquecimento dos testes subsequentes e também no cálculo da resistência de frenagem do teste 3-MT. O GET foi identificado por dois avaliadores independentes por meio da quebra de linearidade entre os aumentos do VCO_2 e VO_2 , método este conhecido como *V-slope* (BEAVER *et al.* 1986). Caso não houvesse concordância entre os avaliadores, foi solicitada a inspeção visual de um

terceiro avaliador ou utilizado um segundo método que consiste em verificar um aumento do VE/VO_2 sem aumento concomitante do VE/VCO_2 .

3.4.2 Testes *all-out* de 3 minutos (3MT)

Foram conduzidos em duas condições: 1) forma tradicional (3-MT) (VANHATALO *et al.* 2007) e 2) em condição de hipóxia (3-MT_{hip}). A ordem dos testes 3-MT_{NOR} OU 3-MT_{HYP} (45s iniciais do teste), foi randomizada pelo pesquisador, por meio de sorteio realizado na segunda visita. As duas condições iniciaram com um aquecimento como descrito abaixo.

Inicialmente foi aplicada uma carga de 20W (*linha de base*) durante 3 minutos. Em seguida o aquecimento foi individualizado, correspondendo a 5 minutos de exercício na carga referente ao GET de cada sujeito. Após esse período o sujeito permaneceu por 5 minutos sentado no ergômetro sem pedalar (*fase de recuperação*).

Na sequência os sujeitos iniciaram a movimentação das pernas durante 3 minutos a uma carga de 0 Watts no intuito de reduzir a inercia da roda do ergômetro, com 10s o pesquisador abriu uma

contagem regressiva e no comando “vai”, a carga de frenagem foi plicada e o sujeito iniciou o teste.

Para a condição de hipóxia, durante os 3 minutos de movimentação das pernas, o indivíduo respirou um gás manipulado a uma concentração de 13% de O₂, proveniente de uma bolsa acoplada a máscara do analisador de gases. O aporte desta mistura empobrecida de O₂ permaneceu pelos 45 segundos iniciais do teste, então a bolsa foi desacoplada da máscara e o sujeito concluiu o teste respirando ar atmosférico.

Os sujeitos foram instruídos a realizarem o máximo esforço desde o início, a fim de evitar qualquer estratégia de ritmo. A partir do início dos testes, todas as informações (tempo remanescente, potência, VO₂ e FC) foram ocultadas ao sujeito. Um forte encorajamento verbal foi proporcionado aos sujeitos durante o teste, a fim de estimular a manutenção do esforço máximo e evitar desistências durante o período do teste.

3.4.3 Testes de carga constante.

Os indivíduos realizaram teste nos EP derivados das duas condições conforme a ordem definida no sorteio, por 30min ou até a exaustão voluntária, definida como a incapacidade de manter a intensidade ou cadencia estipulada. Amostras de sangue foram coletadas a cada 5min e no momento final do teste.

3.4.4 Contribuição energética anaeróbia

O déficit acumulado de oxigênio (AOD) foi calculado através da subtração do O₂ consumido pela demanda de O₂ conforme proposto por GREEN & DAWSON (1996) . A demanda de oxigênio foi calculada através da extrapolação da regressão linear entre a relação (VO₂–Intensidade) referente as 3 cargas submáximas constantes 40, 50, 60% da iVO₂max do teste incremental. O VO₂ de cada carga foi obtido pela média de valores de VO₂ respiração a respiração do quarto minuto de cada carga.

3.4.5 Variáveis extraídas dos testes

A partir dos testes, serão obtidos os seguintes índices derivados da potência gerada no ergômetro:

- a) Potência pico (PP);
- b) Potência média (MP);
- c) Potência final (end power - EP);
- d) Trabalho total (W_{total});
- e) Trabalho realizado acima do EP (W');
- f) Trabalho realizado no intervalo de 45s iniciais.

Complementando serão obtidos os seguintes índices derivados das respostas fisiológicas:

- a) Consumo de oxigênio (VO_2);
- b) Lactato sanguíneo ([LAC])

3.4.6 Análise dos dados de potência mecânica

Todos os dados obtidos no software Lode® LEM serão exportados para o programa Microsoft Excel®, onde serão inicialmente tratados. A frequência de aquisição e registro de potência do sistema Lode LEM é de 5Hz. Desta forma, os dados brutos de potência foram filtrados a fim de produzir

médias a cada 5s, por meio do software Matlab® 7.1 (MathWorks Inc., Natick, MA, USA). Com dados filtrados serão determinados os índices mecânicos de cada teste.

A Ppícos será definida como a maior potência gerada dentro de 1s, enquanto a EP será obtida por meio da média dos últimos 30s do teste. Por sua vez, o W' será calculado como a área da curva de potência e acima da EP. Por fim, o trabalho realizado a cada 30s, será calculado obtendo os seguintes intervalos de tempo: 0-30, 30- 60, 60-90, 90-120 e 120-150s.

3.4.7 Respostas do consumo de oxigênio

Os dados respiração a respiração do VO_2 serão linearmente interpolados para obter valores com intervalos de 1s. Posteriormente serão plotados e a curva será analisada seguindo a equação abaixo proposta por Ozyener et al. (2001)

Equação 1: Cinética do consumo de oxigênio durante o exercício

$$VO_2(t) = VO_2base + A1 x \left(1 - e^{-\left(\frac{t-D}{\tau_{1on}}\right)} \right)$$

Onde: $VO_2(t)$ é o consumo de oxigênio no tempo t; VO_2base é o consumo de oxigênio

imediatamente antes do início do teste; A_1 é a amplitude do VO_2 do componente exponencial, TD é o tempo de atraso para o início do componente exponencial; t_{10n} (tau_{10n}) é a constante de tempo do componente exponencial da cinética durante o exercício para atingir 63% da amplitude do VO_2 .

Cinética do consumo de oxigênio durante o exercício: O VO_2 de linha de base (VO_{2base}) será definido como o valor médio do último minuto obtido antes do início de cada teste. Os primeiros 20s de exercício serão excluídos do ajuste do modelo (cardiodinâmica

4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todos os dados estão apresentados como média \pm desvio padrão (DP). A normalidade dos dados foi verificada por meio do teste de Shapiro-Wilk.

Adicionalmente, o grau de associação entre variáveis foi realizado por meio do coeficiente de correlação de Pearson.

As respostas fisiológicas máximas (VO_2 , FC, E e lactato) obtidas durante os teste de 3-MT também

foram comparadas com as variáveis obtidas no teste incremental de rampa. Para tais comparações foi utilizada a ANOVA One-Way com teste post hoc de Tuckey. Todas as análises estatísticas foram realizadas considerando um nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Valores máximos do teste incremental

Os parâmetros fisiológicos e mecânicos máximos e submáximos obtidos no teste incremental foram utilizados para caracterizar a aptidão aeróbia da amostra. Na Tabela 1, estão apresentados os principais índices obtidos no teste de rampa.

Tabela 1. Valores médios e desvio padrão (DP) das variáveis máximas e submáximas derivadas do teste incremental n=9.

Variáveis	Media ± DP	Mínimo	Máximo
Pmax (W)	321 ± 44	251	377
iVO ₂ max (W)	314 ± 41	247	350
VO ₂ max (mL.min. ⁻¹)	3580±453	4092	2879
GET (W)	136 ± 38	100	197
[LAC]pico (mM)	11,2±3,4	6,29	13

Tabela 1- Pmax (W), potências máxima atingida no teste; iVo₂max, intensidade associada ao consumo máximo de O₂; Vo₂max, consumo máximo de O₂; GET, limiar ventilatório; [LAC], concentração máxima de lactato sanguíneo após o teste.

5.2. Valores dos testes 3-MT.

Destaca-se que a seção de discussão dos dados do presente estudo, está conjugada aos resultados.

Até o momento, este foi o primeiro trabalho a investigar o impacto da hipóxia sistêmica (i.e. FiO₂=0.13) nos parâmetros mecânicos e fisiológicos, derivados do teste de três minutos máximo, modelo proposto por VANHATALO *et al.* (2007). Importante destacar que há na literatura um vasto corpo de trabalhos que investigam o modelo de teste acima citado e sua validade para determinar a PC sempre

associada ao EP, toda via, nestes trabalhos as verificações estão focadas em manipulações nos parâmetros mecânicos do teste, tais como, cadencia ou resistência de frenagem.

Quanto aos parâmetros mecânicos não foram encontradas diferenças significativas entre as duas condições (*end power*: 3-MT_{hyp}=213 W, 3-MT_{nor}= 217, $p = 0,359$) (W' : 3-MT_{hyp}= 18Kj, 3-MT_{nor}=16Kj, $p=0,142$). A variabilidade entre as condições nos parâmetros mecânicos foi de (1,89% ~4W para o *end power*) estes valores vão ao encontro de outros encontrados na literatura, BURNLEY *et al.* (2006) (TE = 7 W, CV = 3%).

Figura 1 – Curva média de potência derivada do teste 3-MT nas condições hipóxia e normóxia.

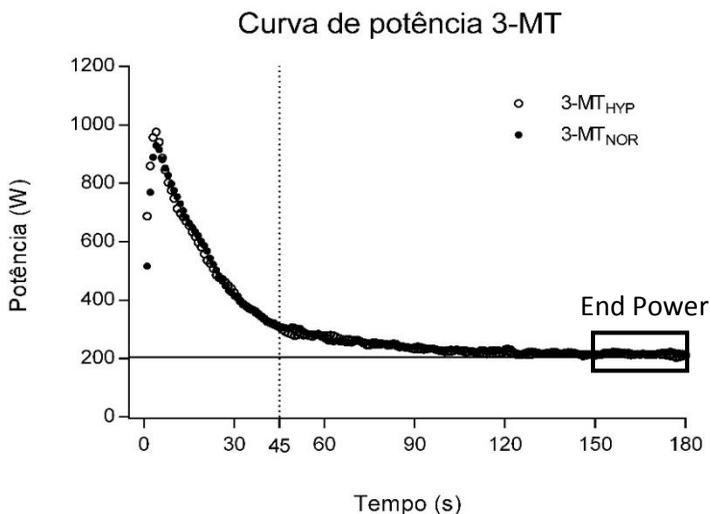


Figura 1 – Curva média de potência derivada do teste 3-MT nas condições hipóxia e normóxia (n=9). A linha tracejada vertical demarca os 45 segundos iniciais onde o indivíduo ainda recebia O₂ à 13%. A linha contínua horizontal, demarca a média de variação no *end power* entre as condições (205 W).

Os resultados demonstram que a adição de hipóxia (i.e. FiO₂=0.13) no início do teste não afetou significativamente a potência durante os últimos 30 segundos finais do teste. Controversamente aos resultados encontrados no presente estudo, DEKERLE *et al.* (2012) apontam um impacto da hipóxia durante as cargas preditivas (i.e. 0.15 O₂) de -

14% na determinação da potência crítica, que por sua vez estaria relacionada ao *end power*, utilizando o modelo linear Potência–tempo limite.

No presente estudo, apenas durante os 45s iniciais os sujeitos foram expostos a hipóxia (FI O₂= 0,13). A cinética do consumo de O₂ mais lenta e a ausência de diferença no VO₂max mostra que nossa intervenção resultou no efeito fisiológico previsto, que era de interferir na interação entre os sistemas energéticos ao início do teste (tempo de exposição a hipóxia)

Os valores de VO₂max obtidos nos testes de 3-min não foram significativamente diferentes do teste incremental ($3628 \pm 446 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$), para ambas as condições (3-MT_{hyp}: $3602 \pm 421 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ e 3-MT_{nor}: $3635 \pm 467 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$; $F(2, 14) = 0,074$, $p = 0,9288$). Os valores de [LAC]pico também não apresentaram diferença significativa comparados aos valores do teste incremental ([LAC]pico incremental = $11,2 \pm 3,4 \text{ m Mol/L}$, [LAC]pico 3-MT_{hyp}: $= 14,82 \pm 3,6 \text{ m Mol/L}$, [LAC]pico 3-MT_{nor}: $= 15,36 \pm 4,3 \text{ m Mol/L}$ $F(2, 14) = 3,280$ $p = 0,0679$).

No presente estudo, a adição da hipóxia gerou um retardamento na velocidade de resposta do metabolismo aeróbio (τ : 3-MT_{nor}=19s ; 3-MT_{hyp}=31s) este resultado associado ao trabalho de CALBET et al. (2003), permite questionar a fundamentação fisiológica a qual o modelo proposto por Vanhatalo, uma vez que, o esgotamento das reservas anaeróbias, está altamente associado à cinética do consumo de O₂ (JONES *et al.* 2008), frente a uma variação de 12 segundos entre as condições, um atraso na resposta do consumo deveria proporcionar um aumento da participação anaeróbia, fato que não foi observado no presente estudo

Ao analisarmos os 45 segundos iniciais (período de exposição a hipóxia), calculamos a contribuição energética anaeróbia através do déficit de O₂. Neste sentido foi observado que a hipóxia alterou significativamente a potência em determinados momentos sendo (figura 2) A contribuição do metabolismo anaeróbio também mostrou diferença durante o período de 45-s iniciais ($45s_{hyp}$ =65% e $45s_{nor}$ =69% $p=0,01$). Esses dados

estão de acordo com resultados de (OGURA *et al.* 2006) que demonstraram uma variação de 69% em normóxia para 75% em hipóxia (i.e. $F_i O_2 = 0.12$) em um teste máximo de 30s.

Figura 2- Consumo de O_2 durante 3-MT e 45s iniciais

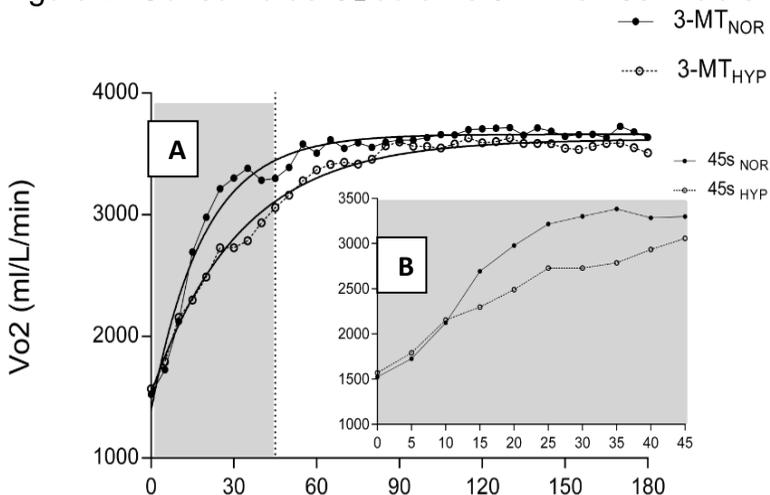


Figura 2 – A) Gráfico cinética do consumo de O_2 durante teste 3 minutos máximo nas condições 3-MT_{HYP} e 3-MT_{NOR}, valores médios de 5s. B) Consumo de oxigênio durante os 45 segundos iniciais, média de 5 segundos.

A energia total produzida pelo metabolismo aeróbio pode ser medida pela quantidade de O_2 consumido durante o exercício, 3-MT_{hyp} = 8,58L, $K_j = 180$ e 3-MT_{nor} = 8,93L, $K_j = 187$, esse resultado mostra, o impacto sobre os sistemas energéticos

pode ser manipulado sem gerar reflexo na potência produzida durante o teste.

Ao analisarmos os 45 segundos iniciais (período de exposição a hipóxia), calculamos a contribuição energética anaeróbia, através do déficit de O_2 , neste sentido foi observado que a hipóxia alterou significativamente a potência em determinados momento (gráficos 3 e 4) a contribuição do metabolismo anaeróbio também mostrou diferença durante o período inicial ($45s_{hyp}=65\%$ e $45s_{nor}=69\%$ $p=0,01$) esses dados contrariam resultados de que demonstraram uma variação de 69% em normóxia para 75% em hipóxia (i.e. $Fi O_2= 0.12$) em um teste máximo de 30s.

Figura 3- Contribuição energética durante 45s iniciais

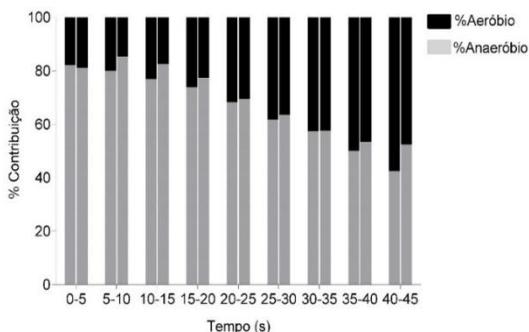
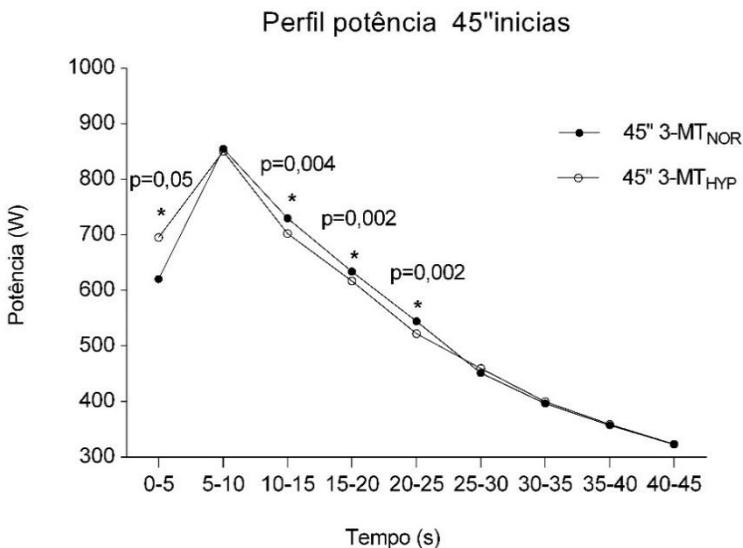


Figura 03 - contribuição energética ao longo dos 45 segundos iniciais, as barras a esquerda representam os 45s em hipóxia, as barras a direita

Figura 4- Perfil de potência durante 45s iniciais.



Assim sendo, a principal hipótese do presente estudo foi parcialmente negada, uma vez que em exposição a hipóxia além de não gerarem impacto negativo no *end power*, foi observado o fenômeno inverso ao esperado, em consequência de uma menor potência gerada aos 45 segundos iniciais, essa menor demanda gerou menor estresse fisiológico durante o período de hipóxia ($45s_{hyp} = 1,66L/O_2$, $K_j=35$ e $45s_{nor} = 1,87L/O_2$, $K_j=39$)

Dois trabalhos mostram a diferença de resistência de frenagem referente a massa corporal entre os testes clássicos para avaliação anaeróbia e o teste de 3 minutos máximo. BERGSTROM *et al.* (2012), CLARK *et al.* (2013) ao conduzirem o teste com o fator de frenagem determinado relativamente a massa corporal citam 4% e 4,5-5% respectivamente, nestes trabalhos o EP apresentou forte associação ($r^2=0.90$) com o determinado pelo fator linear baseado no ($\Delta 50\%/cadencia^{-2}$). Comparando com os testes clássicos anaeróbios, onde o fator de frenagem relativo a massa corporal é de 7.5%, a resistência aplicada pelo modelo ($\Delta 50\%/cadencia^{-2}$) parece não gerar suficiente estresse para exaurir as reservas anaeróbias

De fato a robustez do teste de 3 minutos máximo parece ter sustentação, porém como observado por KARSTEN *et al.* (2014) a resistência imposta pelo $50\%\Delta$ é tendenciosa em conduzir o perfil de potência do *end power* a valores muito próximos aos de PC determinados pelos modelos lineares, uma vez que o modelo considera a potência associada ao GET. Nesta linha, é importante observar que a taxa de

depleção anaeróbia fica altamente associada ao fator de frenagem, sendo assim, o nível de hipóxia imposto no presente trabalho, não foi suficientemente potente em gerar maior depleção do W' .

Neste sentido, futuras observações em diferentes níveis de hipóxia podem ajudar a compreender melhor se o teste de 3 minutos máximos baseado no $(potencia+50\%\Delta/cadencia^2)$ tem real sustentação teórica em seu pressuposto fisiológico.

Na próxima sessão veremos as respostas fisiológicas do exercício constante nas cargas dos EP determinados nas duas condições.

5.3. Valores dos testes de carga constante.

Após determinado o EP em cada condição, os sujeitos foram submetidos a testes de carga constante para verificação das respostas fisiológicas associadas a intensidade, onde o tempo de exaustão (TE), consumo de oxigênio (VO_2), concentrações de lactato sanguíneo ([Lac]), não apresentaram diferença significativas entre os testes nos EP derivados das

duas condições, os resultados médios e desvio padrão estão dispostos na tabela 2 e nos gráficos a seguir.

Tabela 2 – Respostas fisiológicas dos testes de carga constante.

Variável	EP 3-MT _{HYP}	EP 3-MT _{NOR}	
Teste Carga constante (min)			
	23,95±8,6	19,22±9,5	
VO₂(ml.min⁻¹)			
5ºminuto	2577,75±547	2569,54±519	
10ºminuto	3259,10±126	3250,31±122	Critério VO₂max
Final	3189,72±128	3396,04±133	3622±445
[Lac](mMol.L)			
5ºminuto	6,40±0,8	6,10±1,4	
10ºminuto	8,66±1,9	7,75±2,7	Critério [Lac]pico
Final	8,14±3,7	9,45±4,5	13,94±2,5

EP 3-MT_{HYP}, end power determinado durante condição de hipóxia; EP 3-MT_{NOR}, end power determinado durante condição normoxia; [LAC], concentração de lactato sanguíneo, Critério VO₂max, media VO₂max (incremental, 3-MT_{HYP},3-MT_{NOR}), Critério [Lac]pico, media [Lac]pico (incremental, 3-MT_{HYP},3-MT_{NOR})

Figura 5- Consumo de oxigênio durante testes de carga constante

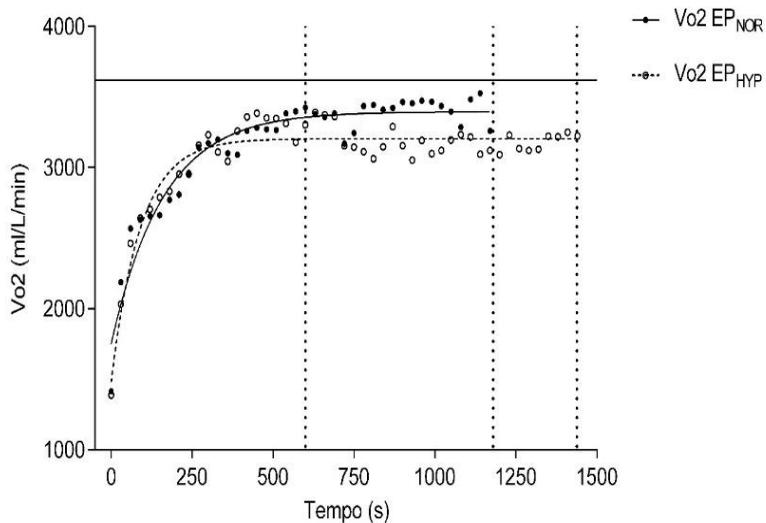


Figura 5 - consumo de oxigênio durante o teste de carga constante. Linha horizontal sólida = média entre VO_2max teste incremental, VO_2max 3-MT_{NOR} e 3-MT_{HYP}. Linhas tracejadas verticais= VO_2 10º minuto e ao final dos testes de carga constante

Figura 6- Concentrações de lactato sanguíneo durante testes de carga constante

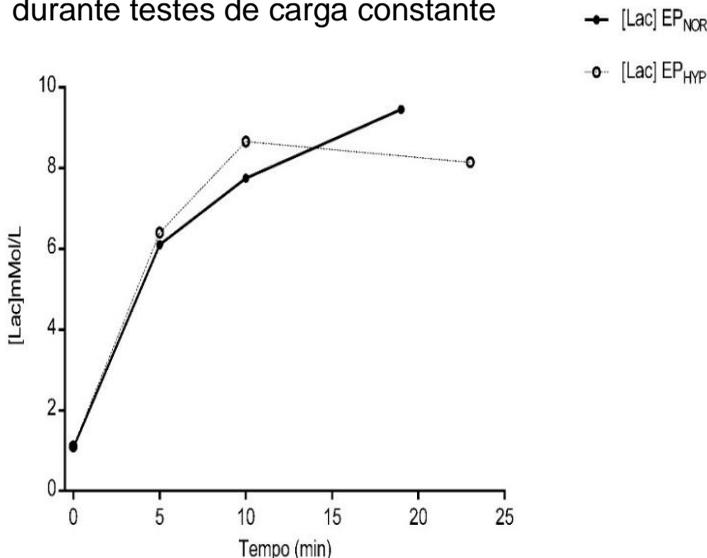


Figura 6 - concentrações de lactato sanguíneo durante o teste de carga constante.

Com relação as respostas da [Lac], ao proceder uma análise da diferença de concentração ao final do teste em comparação ao 10º minuto ($\Delta[Lac]=[Lac]_{\text{final}}-[Lac]_{10^{\circ}\text{min}}$), temos uma pequena diferença nos valores médios entre as duas condições ($\Delta[Lac]_{EP\ 3-MT_{HYP}}=-0,52\text{mMol.L}$; $\Delta[Lac]_{EP3-MT_{NOR}}=1,71\text{mMol.L}$).

BURNLEY *et.al* (2006) ao analisar as respostas fisiológicas durante um teste de carga constante 15W abaixo e acima do EP observaram que na menor

intensidade os valores de Vo_2 e $\Delta[\text{Lac}]$ sanguíneo mantiveram-se estáveis e os indivíduos completaram 30 minutos de exercício, enquanto que, na maior intensidade (ie. 15W acima do EP) não foi encontrada estabilidade o VO_2max foi atingido e valores de $\Delta[\text{Lac}]$ superiores a 1, indicando instabilidade fisiológica cessando o exercício em aproximadamente 12 minutos.

Os resultados no presente estudo além de corroborarem com este importante trabalho, adicionam as respostas na intensidade absoluta (100% da EP), uma vez que EP associado a PC demarca a transição entre os limites pesado e severo de exercício, esta resposta é extremamente importante para o treinamento e ciência do esporte.

Podemos afirmar então, que em média e dentro das características da amostra o estresse fisiológico do EP está de acordo com o encontrado em exercícios na PC determinada linearmente a qual possui um grande corpo de publicações referenciando o tempo de exaustão em diferentes modalidades em torno de

20 minutos (JONES *et al.* 2010; PENTEADO *et al.* 2014).

6. Conclusão

A adição de hipóxia ($F_i O_2=0,13$) não foi capaz de alterar a contribuição energética a ponto de alterar o parâmetro aeróbio EP, e anaeróbio W' , destacando a robustez do modelo frente a essa intervenção. Ainda, as respostas associadas ao EP durante teste de carga constante estão próximas aquelas encontradas durante testes de carga constante na PC. Futuras investigações com diferentes níveis de hipóxia são necessárias para obter respostas mais conclusivas.

7. Referências

BARKER, T. *et al.* . Human critical power-oxygen uptake relationship at different pedalling frequencies.

Exp Physiol, v. 91, n. 3, p. 621-32, 2006.

BEAVER, W. L.; WASSERMAN, K.; WHIPP, B. J. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. **J Appl Physiol**, v. 60, n. 6, p. 2020-7, 1986.

BENEKE, R.; VON DUVILLARD, S. P. Determination of maximal lactate steady state response in selected sports events. **Med Sci Sports Exerc**, v. 28, n. 2, p. 241-6, 1996.

BERGSTROM, H. C. *et al.* . A new single work bout test to estimate critical power and anaerobic work capacity. **J Strength Cond Res**, v. 26, n. 3, p. 656-63, 2012.

BISHOP, D.; JENKINS, D. G.; HOWARD, A. The critical power function is dependent on the duration of the predictive exercise tests chosen. **Int J Sports Med**, v. 19, n. 2, p. 125-9, 1998.

BRICKLEY, G.; DOUST, J.; WILLIAMS, C. A. Physiological responses during exercise to exhaustion at critical power. **Eur J Appl Physiol**, v. 88, n. 1-2, p. 146-51, 2002.

BULL, A. J. *et al.* . Physiological responses at five estimates of critical velocity. **European Journal of Applied Physiology**, v. 102, n. 6, p. 711-720, 2008.

BURNLEY, M.; DAVISON, G.; BAKER, J. R. Effects of priming exercise on VO₂ kinetics and the power-duration relationship. **Med Sci Sports Exerc**, v. 43, n. 11, p. 2171-9, 2011.

BURNLEY, M.; DOUST, J. H.; VANHATALO, A. A 3-min all-out test to determine peak oxygen uptake and

the maximal steady state. **Med Sci Sports Exerc**, v. 38, n. 11, p. 1995-2003, 2006.

CALBET, J. A. *et al.* . Anaerobic energy provision does not limit Wingate exercise performance in endurance-trained cyclists. **J Appl Physiol**, v. 94, n. 2, p. 668-76, 2003.

CARITÁ, R. A. C.; GRECO, C. C.; DENADAI, B. S. Máxima fase estável de lactato e potência crítica em ciclistas bem treinados. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte** v. 15, p. 370-373, 2009.

CASPERSEN, C. J.; PEREIRA, M. A.; CURRAN, K. M. Changes in physical activity patterns in the United States, by sex and cross-sectional age. **Med Sci Sports Exerc**, v. 32, n. 9, p. 1601-9, 2000.

CHIDNOK, W. *et al.* . Exercise tolerance in intermittent cycling: application of the critical power concept. **Med Sci Sports Exerc**, v. 44, n. 5, p. 966-76, 2012.

CLARK, I. E.; MURRAY, S. R.; PETTITT, R. W. Alternative procedures for the three-minute all-out exercise test. **J Strength Cond Res**, v. 27, n. 8, p. 2104-12, 2013a.

CLARK, I. E. *et al.* . Applying the Critical Velocity Model for an Off-Season Interval Training Program. **J Strength Cond Res**, 2013b.

CLARK, S. A. *et al.* . The effect of acute simulated moderate altitude on power, performance and pacing strategies in well-trained cyclists. **Eur J Appl Physiol**, v. 102, n. 1, p. 45-55, 2007.

COATS, E. M. *et al.* . Intensity-dependent tolerance to exercise after attaining V(O₂) max in humans. **J Appl Physiol (1985)**, v. 95, n. 2, p. 483-90, 2003.

DE LUCAS, R. *et al.* . The validity of critical speed determined from track cycling for identification of the

maximal lactate steady state. **Biology of Sports**, v. 19, p. 239-249, 2002.

DEKERLE, J. *et al.* . Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. **Eur J Appl Physiol**, v. 89, n. 3-4, p. 281-8, 2003.

DEKERLE, J.; MUCCI, P.; CARTER, H. Influence of moderate hypoxia on tolerance to high-intensity exercise. **Eur J Appl Physiol**, v. 112, n. 1, p. 327-35, 2012.

DEKERLE, J. *et al.* . Critical power is not attained at the end of an isokinetic 90-second all-out test in children. **J Sports Sci**, v. 27, n. 4, p. 379-85, 2009.

DI PRAMPERO, P. E. The concept of critical velocity: a brief analysis. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 80, n. 2, p. 162-4, 1999.

FRANCIS, J. T., JR. *et al.* . Defining intensity domains from the end power of a 3-min all-out cycling test. **Med Sci Sports Exerc**, v. 42, n. 9, p. 1769-75, 2010.

FUDGE, B. W. *et al.* . Altitude training for elite endurance performance: a 2012 update. **Curr Sports Med Rep**, v. 11, n. 3, p. 148-54, 2012.

GAESSER, G. A.; POOLE, D. C. The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. **Exerc Sport Sci Rev**, v. 24, p. 35-71, 1996.

GREEN, S.; DAWSON, B. T. Methodological effects on the VO₂-power regression and the accumulated O₂ deficit. **Med Sci Sports Exerc**, v. 28, n. 3, p. 392-7, 1996.

HILL , A. V. Muscular Movement in Man **New York: McGraw**, v. Hill;, p. 104, 1927.

HILL, D. W. The critical power concept. A review. **Sports Med**, v. 16, n. 4, p. 237-54, 1993.

HOUSH, T. J. *et al.* . Physiological responses at the fatigue threshold. **Int J Sports Med**, v. 12, n. 3, p. 305-8, 1991.

JENKINS, D. G.; QUIGLEY, B. M. Blood lactate in trained cyclists during cycle ergometry at critical power. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 61, n. 3-4, p. 278-83, 1990.

JOHNSON, T. M. *et al.* . Reliability analysis of the 3-min all-out exercise test for cycle ergometry. **Med Sci Sports Exerc**, v. 43, n. 12, p. 2375-80, 2011.

JONES, A. M. *et al.* . Critical power: implications for determination of $\dot{V} O_{2\max}$ and exercise tolerance. **Med Sci Sports Exerc**, v. 42, n. 10, p. 1876-90, 2010.

JONES, A. M. *et al.* . Muscle metabolic responses to exercise above and below the "critical power" assessed using ^{31}P -MRS. **Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol**, v. 294, n. 2, p. R585-93, 2008.

KRUSTRUP, P. *et al.* . ATP and heat production in human skeletal muscle during dynamic exercise: higher efficiency of anaerobic than aerobic ATP resynthesis. **J Physiol**, v. 549, n. Pt 1, p. 255-69, 2003.

MCLELLAN, T. M.; CHEUNG, K. S. A comparative evaluation of the individual anaerobic threshold and the critical power. **Med Sci Sports Exerc**, v. 24, n. 5, p. 543-50, 1992.

MCLELLAN, T. M.; CHEUNG, S. S.; MEUNIER, M. R. The effect of normocapnic hypoxia and the duration of exposure to hypoxia on supramaximal exercise performance. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 66, n. 5, p. 409-14, 1993.

MCLELLAN, T. M.; KAVANAGH, M. F.; JACOBS, I. The effect of hypoxia on performance during 30 s or 45 s of supramaximal exercise. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 60, n. 2, p. 155-61, 1990.

MILLET, G. P. *et al.* . Combining hypoxic methods for peak performance. **Sports Med**, v. 40, n. 1, p. 1-25, 2010.

MIURA, A. *et al.* . The effect of glycogen depletion on the curvature constant parameter of the power-duration curve for cycle ergometry. **Ergonomics**, v. 43, n. 1, p. 133-41, 2000.

MONOD, H.; SCHERRER, J. The work capacity of a synergic muscular group. **Ergonomics** v. 8, n. 1-4, p. 329-338, 1965.

MORITANI *et al.* . Critical Power as a Measure of Physical Work Capacity and Anaerobic Threshold. **Ergonomics**, v. 24, n. 5, p. 339-350, 1981.

MORITANI, T. *et al.* . Critical power as a measure of critical work capacity and anaerobic threshold. **Ergonomics**, v. 24, p. 339- 350, 1981.

MORTON, R. H. The critical power and related whole-body bioenergetic models. **Eur J Appl Physiol**, v. 96, n. 4, p. 339-54, 2006.

OGURA, Y. *et al.* . Effects of low and high levels of moderate hypoxia on anaerobic energy release during supramaximal cycle exercise. **Eur J Appl Physiol**, v. 98, n. 1, p. 41-7, 2006.

OZYENER, F. *et al.* . Influence of exercise intensity on the on- and off-transient kinetics of pulmonary oxygen uptake in humans. **J Physiol**, v. 533, n. Pt 3, p. 891-902, 2001.

PENTEADO, R. *et al.* . Physiological responses at critical running speed during continuous and

intermittent exhaustion tests. **Science & Sports**, 2014.

POOLE, D. C. Resolving the determinants of high-intensity exercise performance. **Exp Physiol**, v. 94, n. 2, p. 197-8, 2009.

POOLE, D. C. *et al.* . Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. **Ergonomics**, v. 31, n. 9, p. 1265-79, 1988.

POOLE, D. C.; WARD, S. A.; WHIPP, B. J. The effects of training on the metabolic and respiratory profile of high-intensity cycle ergometer exercise. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 59, n. 6, p. 421-9, 1990.

PRINGLE, J. S.; JONES, A. M. Maximal lactate steady state, critical power and EMG during cycling. **Eur J Appl Physiol**, v. 88, n. 3, p. 214-26, 2002.

ROSSITER, H. B. Exercise: Kinetic considerations for gas exchange. **Compr Physiol**, v. 1, n. 1, p. 203-44, 2011.

SMITH, J. C.; DANGELMAIER, B. S.; HILL, D. W. Critical power is related to cycling time trial performance. **Int J Sports Med**, v. 20, n. 6, p. 374-8, 1999.

VANHATALO, A.; DOUST, J. H.; BURNLEY, M. Determination of critical power using a 3-min all-out cycling test. **Med Sci Sports Exerc**, v. 39, n. 3, p. 548-55, 2007.

VANHATALO, A.; JONES, A. M.; BURNLEY, M. Application of critical power in sport. **Int J Sports Physiol Perform**, v. 6, n. 1, p. 128-36, 2011.

WAKAYOSHI, K. *et al.* . Does critical swimming velocity represent exercise intensity at maximal lactate steady state? **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 66, n. 1, p. 90-5, 1993.

WEYAND, P. G. *et al.* . High-speed running performance is largely unaffected by hypoxic reductions in aerobic power. **J Appl Physiol**, v. 86, n. 6, p. 2059-64, 1999.