

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE DESPORTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO FÍSICA**

KRISTOPHER MENDES DE SOUZA

**EFEITOS DA CADÊNCIA DE PEDALADA NAS RESPOSTAS
FISIOLÓGICAS E NO TEMPO DE EXAUSTÃO DO EXERCÍCIO
REALIZADO A 100 e 105% DA POTÊNCIA CRÍTICA EM
CICLISTAS TREINADOS**

Dissertação de Mestrado

FLORIANÓPOLIS (SC), 2011.

KRISTOPHER MENDES DE SOUZA

**EFEITOS DA CADÊNCIA DE PEDALADA NAS RESPOSTAS
FISIOLÓGICAS E NO TEMPO DE EXAUSTÃO DO EXERCÍCIO
REALIZADO A 100 e 105% DA POTÊNCIA CRÍTICA EM
CICLISTAS TREINADOS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação Física da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Educação Física.

FLORIANÓPOLIS (SC), 2011.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE DESPORTOS**

A dissertação: Efeitos da cadência de pedalada nas respostas fisiológicas e no tempo de exaustão do exercício realizado a 100 e 105% da potência crítica em ciclistas treinados

Elaborada por: Kristopher Mendes de Souza

foi apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação Física da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito final para a obtenção do título de **Mestre em Educação Física**.

Florianópolis, 25 de fevereiro de 2011.



Prof. Dr. Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Educação Física

Banca Examinadora:



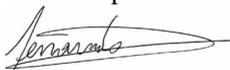
Prof. Dr. Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo – UFSC
(presidente/orientador)



Prof. Dr. Benedito Sérgio Denadai – UFSC (titular)



Prof. Dr. Fabrizio Caputo – UDESC (titular)



Prof. Dr. Fernando Diefenthaler – UFSC (suplente)



Prof. Dr. Camila Coelho Greco – UNESP (suplente)

Ao Senhor Jesus por tudo que Ele é e representa na minha vida. Sem o Senhor, minha vida seria apenas uma ilusão. “Porque dele, e por meio dele, e para ele são todas as coisas. A ele, pois, a glória eternamente. Amém!” (Romanos 11, 36)

AGRADECIMENTOS

Durante todo o caminho percorrido até o momento, Deus colocou pessoas à minha volta que foram como que “peças” que fechavam um “quebra cabeças”. No entanto, apesar de estar cercado de pessoas maravilhosas, muitas etapas desse caminho foram passadas apenas em companhia da solidão. Porém, por misericórdia de Deus, um dia Ele me fez entender que eu nunca tinha estado só, Deus me revelou o porquê que Jesus havia dito antes da sua ascensão aos Céus que estaria com os seus discípulos todos os dias até a consumação dos séculos, além de outras tantas passagens bíblicas que Deus fala “Não temas, EU sou contigo”. Na seqüência, destaco abaixo os meus agradecimentos.

Primeiramente ao Senhor Jesus Cristo por tudo que Ele fez e está fazendo na minha vida, por todo o seu amor e misericórdia, por toda sabedoria e entendimento que Ele tem me dado para viver e pela constante presença no meu cotidiano.

Aos amigos que conquistei ao longo da vida, sendo estes os amigos de Tubarão e de Gravatal, os amigos da faculdade e os amigos da Igreja.

Aos meus pais, pelo amor, apoio, carinho e toda preocupação durante esses 25 anos de vida.

Ao meu grande amor, a minha namorada Ana Carla, pelas vezes que ela esteve ao meu lado e também pelas vezes que ela entendeu o fato de eu não estar do lado dela em virtude da concepção desta dissertação.

Aos professores, pela atenção e pelos ensinamentos durante o curso.

Em especial, ao professor Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo, meu orientador, por toda a sua dedicação para comigo e pelos muitos ensinamentos e auxílios prestados para concretização desse projeto de pesquisa.

Ao professor Fabrizio Caputo, pelo empréstimo do analisador de gases para que fosse possível a realização deste trabalho.

Ao professor Benedito Sérgio Denadai, pelas discussões científicas e pela idéia inicial desta dissertação.

Ao grande amigo Ricardo Dantas de Lucas, pelos auxílios e ensinamentos durante essa etapa.

Ao amigo Vitor Costa, também pelas vezes que me ajudou ao longo deste processo.

Aos atletas, pela disponibilidade de tempo e pela participação no presente estudo.

Ao grande amigo Gustavo Freitas, primeiramente pelo amor e pela dedicação que ele tem com o ciclismo, e também por ter me apresentado aos ciclistas que fizeram parte deste estudo.

A minha amiga e colega de mestrado Talita Grossl, pelas vezes que me prestou “socorro”.

Aos amigos do LAEF que ainda não foram citados anteriormente, pelo auxílio nesse trabalho e pelas discussões científicas que tivemos ao longo desses anos de laboratório.

A CAPES, pela concessão de bolsa de estudo durante os dois anos de curso.

A todos, os meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

SOUZA, K.M. **Efeitos da cadência de pedalada nas respostas fisiológicas e no tempo de exaustão do exercício realizado a 100 e 105% da potência crítica em ciclistas treinados.** 2011. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Educação Física, UFSC, Florianópolis.

Introdução: A potência crítica (PC) é estabelecida como sendo o limite superior do domínio pesado. Além disso, tem sido demonstrado que a cadência de pedalada influencia nas respostas fisiológicas e no tempo de exaustão (tlim) do exercício realizado nos domínios pesado e severo. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi analisar os efeitos de diferentes cadências de pedalada nas respostas fisiológicas e no tlim do exercício realizado na PC e em 105%PC de ciclistas treinados. **Metodologia:** Participaram deste estudo 13 ciclistas treinados ($20 \pm 5,1$ anos; $70,8 \pm 12,2$ kg e $179,1 \pm 7,2$ cm) que realizaram os seguintes testes: um teste incremental para determinação do consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}), intensidade correspondente ao VO_{2max} (IVO_{2max}) e limiar anaeróbio (LAN); três testes para determinar o tlim a 95, 100 e 110% IVO_{2max} ; seis testes (duas intensidades vs. três cadências) até a exaustão voluntária na PC e 105%PC em diferentes cadências de pedalada ($Cad_{pref-25\%}$, Cad_{pref} e $Cad_{pref+25\%}$) para determinar as respostas fisiológicas consumo de oxigênio (VO_2), frequência cardíaca (FC), ventilação pulmonar (VE), lactato sanguíneo ([Lac]), *delta* de lactato ($\Delta[Lac]$), componente lento da cinética do VO_2 (CL) e tlim. A PC foi determinada pelo modelo linear potência vs. $1/tlim$ ($P \times 1/tlim$). Na análise dos dados utilizou-se a estatística descritiva (média \pm DP), o teste de *Shapiro-Wilk* para verificar a normalidade, a análise de variância *one-way* de medidas repetidas, a análise de variância *two-way* de medidas repetidas, teste *post hoc* de *Bonferroni*, o teste *t* de *Student* para amostras pareadas e o teste de correlação de *Pearson*. Foi adotado um nível de significância de 5%. **Resultados:** Os valores de VO_{2max} , IVO_{2max} , LAN, PC e 105%PC foram $66,7 \pm 8,0$ ml.kg⁻¹.min⁻¹, 345 ± 41 W, 254 ± 35 W, 294 ± 37 W e 308 ± 40 W, respectivamente. A PC e 105%PC corresponderam em média a aproximadamente 85 e 89% IVO_{2max} , respectivamente. Os valores de $Cad_{pref-25\%}$, Cad_{pref} e $Cad_{pref+25\%}$ foram 73 ± 3 rpm, 98 ± 4 rpm e 122 ± 4 rpm na PC, e 74 ± 2 rpm, 99 ± 3 rpm e 123 ± 3 rpm em 105%PC, respectivamente. Os valores de VO_2 , FC, VE e [Lac] aumentaram significativamente com o aumento da cadência nas duas intensidades analisadas (PC e 105%PC).

O Δ [Lac] e o CL diferiram significativamente ($p < 0,05$) na PC entre a $Cad_{pref-25\%}$ e a Cad_{pref} . O tlim no exercício realizado na $Cad_{pref+25\%}$ foi significativamente ($p < 0,05$) menor que na Cad_{pref} e na $Cad_{pref-25\%}$ em ambas as intensidades. Ao analisar o efeito da intensidade (PC vs. 105%PC) no tlim, foram encontradas diferenças significativas ($p < 0,05$) para todas as cadências. O VO_2max foi atingido na PC utilizando a $Cad_{pref+25\%}$ e em 105%PC utilizando a Cad_{pref} e a $Cad_{pref+25\%}$. **Conclusão:** Com base nos resultados encontrados, pode-se concluir que o exercício realizado na PC e em 105%PC por ciclistas treinados utilizando a $Cad_{pref+25\%}$, quando comparado com as $Cad_{pref-25\%}$ e Cad_{pref} , demanda um maior gasto energético e apresenta um menor tempo de sustentação nessas intensidades. Além disso, o VO_2 determinado durante a PC atinge seus valores máximos ao final do exercício realizado na $Cad_{pref+25\%}$ e o atingimento do VO_2max é dependente da cadência no exercício a 105%PC.

Palavras-chave: ciclismo, cadência, potência crítica, domínios fisiológicos, VO_2max .

ABSTRACT

SOUZA, K.M. Effect of cycling cadence on the physiological responses and in the time to exhaustion in exercise performed at 100 and 105% of the critical power in trained cyclists.

Introduction: The critical power (CP) is established as the upper limit of the heavy domain. Moreover, it has been shown that the cycling cadence influences significantly the physiological responses and the time to exhaustion (tlim) of exercise performed in the heavy and severe domain. Thus, based on these assumptions, the aim of the present study was to analyze the effects of different cycling cadences on the physiological responses and in tlim of exercise performed in the CP and 105%CP of trained cyclists. **Methodology:** Thirteen trained cyclists (20 ± 5.1 years; 70.8 ± 12.2 kg and 179.1 ± 7.2 cm) took part of the study and they were initially submitted to an incremental test to determine the maximal oxygen uptake (VO_{2max}), intensity corresponding to the VO_{2max} (IVO_{2max}) and anaerobic threshold (AT). Later, they performed in random order, three test sessions to determine the tlim at 95, 100 and 110% IVO_{2max} . From the relationship between power and the inverse of tlim of these three intensities was determined the CP by the linear model power vs. $1/tlim$ ($P \times 1/tlim$). Finally, six tests were performed (two intensities vs. three cadences) until the volitional exhaustion in the CP and 105%CP in different cycling cadences ($Cad_{pref-25\%}$, Cad_{pref} and $Cad_{pref+25\%}$) to determine the physiological responses oxygen uptake (VO_2), heart rate (HR), pulmonary ventilation (VE), blood lactate ([Lac]), lactate delta ($\Delta[Lac]$), slow component of VO_2 kinetics (VO_{2SC}) and tlim. For data analysis was used descriptive statistics (mean \pm SD), Shapiro-wilk test to verify normality, analysis of variance *one-way* to repeated measures, analysis of variance two-way to repeated measures, Bonferroni post hoc test, Student *t* test for paired samples and Pearson correlation test. Significance level of 5% was adopted. **Results:** The values of VO_{2max} , IVO_{2max} , AT, CP and 105%CP were 66.7 ± 8.0 ml.kg⁻¹.min⁻¹, 345 ± 41 W, 254 ± 35 W, 294 ± 37 W and 308 ± 40 W, respectively. The CP corresponded on average to $\sim 85\%IVO_{2max}$. The intensity at 105%CP corresponded to $\sim 89\%IVO_{2max}$. The values of $Cad_{pref-25\%}$, Cad_{pref} and $Cad_{pref+25\%}$ were 73 ± 3 rpm, 98 ± 4 rpm and 122 ± 4 rpm in CP, and 74 ± 2 rpm, 99 ± 3 rpm and 123 ± 3 rpm at 105%CP, respectively. The values of VO_2 , HR, VE and [Lac] were significantly influenced by the cadence for both analyzed intensities (CP and 105%CP). The $\Delta[Lac]$ and VO_{2SC} were

significantly different ($p < 0.05$) at CP between the $\text{Cad}_{\text{pref}-25\%}$ and Cad_{pref} . The t_{lim} performed in $\text{Cad}_{\text{pref}+25\%}$ was significantly ($p < 0.05$) lower than in Cad_{pref} and $\text{Cad}_{\text{pref}-25\%}$ at both intensities. Analyzing the intensity effect (CP vs 105%CP) in t_{lim} , were found significant differences ($p < 0.05$) for all cadences. VO_2max was reached at CP using the $\text{Cad}_{\text{pref}+25\%}$ and at 105%CP using the Cad_{pref} and the $\text{Cad}_{\text{pref}+25\%}$. **Conclusion:** Based on the findings of the present study it can be concluded that the exercise performed in the CP and 105%CP by trained cyclists using the $\text{Cad}_{\text{pref}+25\%}$ when compared with the $\text{Cad}_{\text{pref}-25\%}$ and Cad_{pref} demand a higher energy expenditure and present less time to exhaustion in these intensities. Moreover, the VO_2 determined during the CP reaches maximal values at the end of exercise performed at $\text{Cad}_{\text{pref}+25\%}$ and the VO_2max is dependent of cadence on the exercise at 105%CP.

Key-words: Cycling, cadence, critical power, physiological domains, VO_2max .

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Cinética do [Lac] e VO_2 nos domínios moderado, pesado e severo (abaixo da IVO_{2max}).....	23
Figura 2 – Cinética do [Lac] (A) e VO_2 (B) no domínio severo para exercícios realizados a 100 e 120% IVO_{2max}	25
Figura 3 – Determinação da potência crítica (PC) e da capacidade de trabalho anaeróbio (CTAn) de acordo com o modelo hiperbólico potência vs. tempo.....	27
Figura 4 – Efeito da cadência na resposta do VO_2 em diferentes intensidades de exercício.....	32
Figura 5 – Efeito da cadência na resposta do [Lac] em uma intensidade de exercício de 300 W.....	34
Figura 6 – Determinação da potência crítica (PC) de acordo com o modelo linear potência vs. 1/tempo ($P \times 1/tlim$).....	41
Figura 7 – Comparação do VO_{2max} ($mL.kg^{-1}.min^{-1}$) obtido no teste incremental (TI) com o VO_2 no exercício realizado até a exaustão na PC nas cadências $Cad_{pref-25\%}$, Cad_{pref} e $Cad_{pref+25\%}$	45
Figura 8 – Comparação do VO_{2max} ($mL.kg^{-1}.min^{-1}$) obtido no teste incremental (TI) com o VO_2 no exercício realizado até a exaustão a 105%PC nas cadências $Cad_{pref-25\%}$, Cad_{pref} e $Cad_{pref+25\%}$	46
Figura 9 – Comparação da FCmax (bpm) obtida no teste incremental (TI) com a FC no exercício realizado até a exaustão na PC nas cadências $Cad_{pref-25\%}$, Cad_{pref} e $Cad_{pref+25\%}$	47
Figura 10 – Comparação da FCmax (bpm) obtida no teste incremental (TI) com a FC no exercício realizado até a exaustão a 105%PC nas cadências $Cad_{pref-25\%}$, Cad_{pref} e $Cad_{pref+25\%}$	47
Figura 11 – Comparação da VEmax ($L.min^{-1}$) obtida no teste incremental (TI) com a VE no exercício realizado até a exaustão na PC nas cadências $Cad_{pref-25\%}$, Cad_{pref} e $Cad_{pref+25\%}$	48
Figura 12 – Comparação da VEmax ($L.min^{-1}$) obtida no teste incremental (TI) com a VE no exercício realizado até a exaustão a 105%PC nas cadências $Cad_{pref-25\%}$, Cad_{pref} e $Cad_{pref+25\%}$	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores médios \pm DP da idade dos sujeitos, das características antropométricas e das variáveis fisiológicas determinadas no teste incremental.	43
Tabela 2 – Valores médios \pm DP das variáveis determinadas durante o exercício realizado a 95, 100 e 110%IVO ₂ max.	43
Tabela 3 – Valores médios \pm DP das cadências selecionadas durante o teste incremental e durante os testes realizados a 95, 100 e 110% IVO ₂ max.	44
Tabela 4 – Valores médios \pm DP das cadências (Cad _{pref-25%} , Cad _{pref} e Cad _{pref+25%}) utilizadas durante o exercício realizado na PC e a 105%PC	44
Tabela 5 – Valores médios \pm DP do VO ₂ (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹) no exercício realizado até a exaustão na PC e a 105%PC nas diferentes cadências (Cad _{pref-25%} , Cad _{pref} e Cad _{pref+25%}).	45
Tabela 6 – Valores médios \pm DP da FC (bpm) no exercício realizado até a exaustão na PC e a 105%PC nas diferentes cadências (Cad _{pref-25%} , Cad _{pref} e Cad _{pref+25%}).	46
Tabela 7 – Valores médios \pm DP da VE (L.min ⁻¹) no exercício realizado até a exaustão na PC e a 105% da PC nas diferentes cadências (Cad _{pref-25%} , Cad _{pref} e Cad _{pref+25%}).	48
Tabela 8 – Valores médios \pm DP do [Lac] (mmol.L ⁻¹) no exercício realizado até a exaustão na PC e a 105%PC nas diferentes cadências (Cad _{pref-25%} , Cad _{pref} e Cad _{pref+25%}).	49
Tabela 9 – Valores médios \pm DP do Δ [Lac] (mmol.L ⁻¹) no exercício realizado até a exaustão na PC e a 105%PC nas diferentes cadências (Cad _{pref-25%} , Cad _{pref} e Cad _{pref+25%}).	50
Tabela 10 – Valores médios \pm DP do CL (mL.min ⁻¹) no exercício realizado até a exaustão na PC e a 105%PC nas diferentes cadências (Cad _{pref-25%} , Cad _{pref} e Cad _{pref+25%}).	50
Tabela 11 – Valores médios \pm DP do tlim (min) no exercício realizado até a exaustão na PC e a 105%PC nas diferentes cadências (Cad _{pref-25%} , Cad _{pref} e Cad _{pref+25%}).	51

Tabela 12 – Coeficientes de correlação (r) entre as variáveis fisiológicas e o tlim (min) no exercício realizado até a exaustão na PC nas diferentes cadências ($Cad_{pref-25\%}$, Cad_{pref} e $Cad_{pref+25\%}$). 51

Tabela 13 – Coeficientes de correlação (r) entre as variáveis fisiológicas e o tlim (min) no exercício realizado até a exaustão a 105%PC nas diferentes cadências ($Cad_{pref-25\%}$, Cad_{pref} e $Cad_{pref+25\%}$). 52

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ATP	Trifosfato de adenosina
bpm	Batimentos cardíacos por minuto
Ca ²⁺	Prótons de cálcio
Cad _{pref}	Cadência de pedalada preferida
CL	Componente lento
cm	Centímetros
CO ₂	Dióxido de carbono
CTA	Capacidade de trabalho anaeróbio
<i>dif.a-vO₂</i>	Diferença arterio-venosa de oxigênio
EB	Eficiência bruta
ED	Eficiência delta
FC	Frequência cardíaca
FCmax	Frequência cardíaca máxima
H ⁺	Prótons de hidrogênio
IVO ₂ max	Intensidade correspondente ao consumo máximo de oxigênio
kg	Quilograma
[Lac]	Concentração de lactato
LAn	Limiar anaeróbio
LL	Limiar de lactato
L.min ⁻¹	Litros por minuto
LV2	Limiar ventilatório 2
MFEL	Máxima fase estável de lactato
min	Minutos
mmol.L ⁻¹	Concentração de lactato em milimolares por litro de sangue
O ₂	Oxigênio
P	Potência
PC	Potência crítica
PCr	Creatina fosfato
<i>Q</i>	Débito cardíaco
rpm	Rotações por minuto
T	Trabalho
TI	Teste incremental
tlim	Tempo de exaustão
VE	Ventilação pulmonar
VEmax	Ventilação pulmonar máxima
VO ₂	Consumo de oxigênio

VO_2max	Consumo máximo de oxigênio
W	Watts
$\Delta[\text{Lac}]$	Delta de lactato
%G	Percentual de gordura corporal

SUMÁRIO

1. Introdução	18
1.1 Situação problema	18
1.2 Objetivos	20
1.2.1 Objetivo geral	20
1.2.2 Objetivos específicos	20
1.3 Justificativa.....	21
1.4 Hipóteses do estudo.....	22
2. Revisão de Literatura	23
2.1 Caracterização fisiológica dos domínios de intensidade de exercício	23
2.2 O Modelo de Potência Crítica e as respostas fisiológicas.....	26
2.3 Efeito da cadência de pedalada na performance e nas respostas fisiológicas durante o exercício de <i>endurance</i> realizado em diferentes intensidades.....	31
3. Materiais e Métodos.....	37
3.1 Caracterização do estudo	37
3.2 Sujeitos do estudo.....	37
3.3 Instrumentos de medidas.....	37
3.3.1 Obtenção das variáveis antropométricas	37
3.3.2 Obtenção das variáveis fisiológicas.....	37
3.4 Coleta de dados	38
3.5 Procedimentos para coleta de dados	39
3.5.1 Avaliação antropométrica	39
3.5.2 Protocolo de determinação do $VO_2\max$, $IVO_2\max$ e LAn	39
3.5.3 Determinação do $tlim$ a 95, 100 e 110% $IVO_2\max$	40
3.5.4 Determinação da Potência Crítica.....	40
3.5.5 Determinação do tempo de exaustão a 100 e 105%PC em diferentes cadências	41
3.6 Tratamento estatístico	41
4. Resultados.....	43
4.1 Teste incremental	43

4.2 Testes a 95, 100 e 110%IVO₂max	43
4.3 Testes na PC e 105%PC em diferentes cadências de pedalada.	44
5. Discussão	53
5.1 Efeitos da cadência de pedalada nas respostas fisiológicas na PC e 105%PC.....	53
5.2 Efeitos da cadência de pedalada no tlim na PC e 105%PC	64
6. Conclusão	68
Referências Bibliográficas	69
Apêndice.....	92

1. INTRODUÇÃO

1.1 Situação problema

O exercício aeróbio pode ser realizado em diferentes domínios de intensidade, os quais têm sido propostos baseados em características fisiológicas distintas (GAESSER; POOLE, 1996; XU; RHODES, 1999; HILL et al., 2002). O domínio moderado consiste de intensidades de exercício até o limiar de lactato (LL) (GAESSER; POOLE, 1996; CAPUTO; DENADAI, 2008). Neste domínio, o consumo de oxigênio (VO_2) aumenta mono-exponencialmente, alcançando um novo estado estável dentro de 2-3 min depois de uma fase cardiodinâmica inicial de 15-20 s (GAESSER; POOLE, 1996; XU; RHODES, 1999; CARTER et al., 2000; CAPUTO; DENADAI, 2004; CAPUTO; DENADAI, 2008).

O segundo domínio fisiológico, denominado pesado, compreende todas as intensidades de exercício entre o LL e a potência crítica (PC) (GAESSER; POOLE, 1996; HILL et al., 2002; HILL et al., 2003; CAPUTO; DENADAI, 2008; GRECO et al., 2008). No entanto, o VO_2 eleva-se bi-exponencialmente, existindo o aparecimento de um componente lento (CL), atrasando o alcance do novo estado estável (15-20 min), apresentando um valor maior que o predito pela relação VO_2 vs. intensidade (GAESSER; POOLE, 1996; XU; RHODES, 1999; CAPUTO; DENADAI, 2004).

No domínio severo, acima da PC, o VO_2 aumenta progressivamente de maneira bi-exponencial em intensidades abaixo da intensidade correspondente ao consumo máximo de oxigênio (IVO_2max) ou é projetado exponencialmente na IVO_2max ou acima desta, atingindo seus valores máximos ao final do exercício (VO_2max) (GAESSER; POOLE, 1996; HILL et al., 2002; CAPUTO; DENADAI, 2004; CAPUTO; DENADAI, 2008; GRECO et al., 2008).

Alguns supostos mecanismos têm sido propostos para contribuir com o CL observado durante o exercício realizado nos domínios pesado e severo (GAESSER; POOLE, 1996). Dentre esses, incluem o aumento do lactato sanguíneo e muscular ([Lac]) (ROSTON et al., 1987; WHIPP, 1994), o aumento da concentração de epinefrina circulante (GAESSER et al., 1994), o aumento do débito cardíaco (Q) e da ventilação pulmonar (VE) (WOMACK et al., 1995), a elevação da temperatura periférica e central (POOLE et al., 1991; KOGA et al., 1997; KOPPO et al., 2002) e, o recrutamento adicional de fibras musculares tipo II (POOLE et al., 1991). Entretanto, a infusão de lactato e epinefrina (GAESSER et al.,

1994; POOLE et al., 1994), e o aumento da temperatura muscular (KOGA et al., 1997; KOPPO et al., 2002) não alteraram a amplitude do CL. Além disso, Poole et al. (1991) demonstraram que a fonte primária deste fenômeno é localizada na musculatura ativa durante o exercício, sendo que o VO_2 adicional relativo ao aumento progressivo do trabalho respiratório e cardíaco contribui não mais que 15% para o CL.

Adicionalmente, Barstow et al. (1996) demonstraram que o percentual de fibras tipo II no músculo vasto lateral foi significativamente correlacionado com a amplitude relativa do CL durante o exercício realizado no domínio pesado. Outros estudos têm apresentado também evidências que os mecanismos responsáveis pelo aparecimento do CL estão relacionados com o recrutamento progressivo de fibras musculares tipo II (SAUNDERS et al., 2000; ROSSITER et al., 2002; PRINGLE et al., 2003a; CARTER et al., 2004; KRUSTRUP et al., 2004a; KRUSTRUP et al., 2004b; SABAPATHY et al., 2005; ENDO et al., 2007; KRUSTRUP et al., 2008; GREEN et al., 2010).

Conforme tem sido estabelecido por alguns autores, a PC é a variável fisiológica que demarca os domínios pesado e severo (POOLE et al., 1988; POOLE et al., 1990; HILL et al., 2002; HILL et al., 2003; VANHATALO et al., 2007; FRANCIS et al., 2010; JONES et al., 2010). Alguns estudos confirmam essa hipótese, uma vez que durante exercícios realizados na PC, o VO_2 não atingiu seus valores máximos (POOLE et al., 1988; POOLE et al., 1990; BRICKLEY et al., 2002; HILL et al., 2002; CARTER et al., 2005; BULL et al., 2008; DEKERLE et al., 2008; CARITÁ et al., 2009). Entretanto, durante exercícios realizados em intensidades 5-10% acima da PC, o VO_{2max} foi alcançado em função do CL (POOLE et al., 1988; POOLE et al., 1990; HILL et al., 2002; BURNLEY et al., 2006; DEKERLE et al., 2010).

Contudo, é amplamente aceito que o recrutamento de fibras musculares tipo II e a potência interna são aumentados com a elevação da cadência de pedalada para uma mesma intensidade de exercício (MACINTOSH et al., 2000; FERGUSON et al., 2001; McDANIEL et al., 2002; PRINGLE et al., 2003b; NESI et al., 2004; MIGITA; HIRAKOBA, 2006; HANSEN; SJØGAARD, 2007; VERCRUYSSSEN et al., 2009; HIRAI et al., 2010). Além disso, tem sido demonstrado que o exercício realizado em diferentes cadências de pedalada apresenta efeitos significativos no CL, sendo as maiores amplitudes observadas nas cadências mais altas (PRINGLE et al., 2003b; NESI et al., 2004; MIGITA; HIRAKOBA, 2006; VERCRUYSSSEN et al., 2009; HIRAI et al., 2010). Estes estudos, assumindo que as fibras tipo II possuem uma cinética de VO_2 mais lenta e são menos eficientes que as fibras tipo I,

destacam que o CL é relacionado com uma maior contribuição das fibras musculares tipo II (relativa às fibras tipo I) durante o exercício realizado nos domínios pesado e severo em maiores cadências (PRINGLE et al., 2003b; NESI et al., 2004; MIGITA; HIRAKOBA, 2006; VERCRUYSSSEN et al., 2009; HIRAI et al., 2010). Entretanto, outros estudos não têm encontrado efeitos significativos da cadência de pedalada no CL (BARSTOW et al., 1996; BILLAT et al., 1999b; DiMENNA, et al., 2009a; DiMENNA, et al., 2009b).

Assim, com base nos pressupostos supracitados, formulou-se o seguinte problema de pesquisa: Quais os efeitos da cadência de pedalada nas respostas fisiológicas e no tlim do exercício realizado na PC e em 105%PC em ciclistas treinados?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Analisar os efeitos de diferentes cadências de pedalada nas respostas fisiológicas e no tlim do exercício realizado na PC e em 105%PC de ciclistas treinados.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar os índices fisiológicos aeróbios máximos ($VO_2\text{max}$ e $IVO_2\text{max}$) e submáximos (LAN e PC) de ciclistas treinados;
- Determinar as respostas fisiológicas VO_2 , FC, VE e tlim nas intensidades de 95, 100 e 110% $IVO_2\text{max}$;
- Determinar e comparar as respostas fisiológicas (VO_2 , FC, VE, [Lac], Δ [Lac] e o CL) e o tlim no exercício realizado na PC e a 105%PC em diferentes cadências de pedalada [cadência preferida - 25% ($Cad_{\text{pref}-25\%}$); cadência preferida (Cad_{pref}); e cadência preferida + 25% ($Cad_{\text{pref}+25\%}$)];
- Comparar as respostas fisiológicas (VO_2 , FC, VE, [Lac], Δ [Lac] e o CL) e o tlim entre as mesmas cadências nas diferentes intensidades de exercício (PC vs. 105%PC);
- Correlacionar o tlim do exercício realizado na PC e a 105%PC em diferentes cadências de pedalada ($Cad_{\text{pref}-25\%}$, Cad_{pref} e $Cad_{\text{pref}+25\%}$) com as seguintes variáveis e respostas fisiológicas: $VO_2\text{max}$, $IVO_2\text{max}$, LAN, PC, VO_2 , [Lac], Δ [Lac] e CL;

1.3 Justificativa

Além de ser uma variável importante na avaliação da capacidade aeróbia, prescrição do treinamento e predição de performance, a PC tem sido considerada como a variável fisiológica que demarca os domínios pesado e severo (POOLE et al., 1988; POOLE et al., 1990; HILL et al., 2002; HILL et al., 2003; VANHATALO et al., 2007; FRANCIS et al., 2010; JONES et al., 2010). Esta afirmação tem sido confirmada por estudos que verificaram que o $VO_2\text{max}$ é alcançado durante exercícios realizados em intensidades ligeiramente acima da PC (POOLE et al., 1988; POOLE et al., 1990; HILL et al., 2002; BURNLEY et al., 2006; DEKERLE et al., 2010).

Contudo, é amplamente aceito que o recrutamento de fibras musculares tipo II e a potência interna são aumentados com a elevação da cadência de pedalada para uma mesma intensidade de exercício (MACINTOSH et al., 2000; FERGUSON et al., 2001; McDANIEL et al., 2002; PRINGLE et al., 2003b; NESI et al., 2004; MIGITA; HIRAKOBA, 2006; HANSEN; SJØGAARD, 2007; VERCRUYSEN et al., 2009; HIRAI et al., 2010). Além disso, tem sido demonstrado que o exercício realizado em diferentes cadências apresenta efeitos significativos no CL, sendo as maiores amplitudes observadas nas cadências mais altas (PRINGLE et al., 2003b; NESI et al., 2004; MIGITA; HIRAKOBA, 2006; VERCRUYSEN et al., 2009; HIRAI et al., 2010).

Dessa forma, com base nestes pressupostos, conforme já especulado na introdução, ainda não se sabe os efeitos da cadência de pedalada nas respostas fisiológicas e no tempo de exaustão do exercício realizado na PC e em 105%PC em ciclistas treinados. Uma série de trabalhos tem mostrado que durante o exercício realizado na PC, o $VO_2\text{max}$ não é alcançado (POOLE et al., 1988; POOLE et al., 1990; BRICKLEY et al., 2002; HILL et al., 2002; CARTER et al., 2005; BULL et al., 2008; DEKERLE et al., 2008; CARITÁ et al., 2009). Entretanto, seria importante verificar em ciclistas treinados, os quais possuem os indicadores fisiológicos de capacidade aeróbia (ex: PC) em frações muito próximas dos indicadores de potência aeróbia (ex: $IVO_2\text{max}$ e $VO_2\text{max}$), se durante o exercício realizado na PC em uma alta cadência o VO_2 atingiria seus valores máximos em virtude do maior efeito do CL (maior recrutamento de fibras musculares tipo II) e da maior demanda energética. Não obstante, seria interessante verificar também se o $VO_2\text{max}$ é atingido independente da cadência de pedalada no exercício realizado até a exaustão em 105%PC.

Na prática, o conhecimento das respostas fisiológicas no exercício realizado até a exaustão na PC e 105%PC em diferentes cadências de pedalada pode ser de extrema importância para o entendimento dos fatores que interferem na demanda energética e na tolerância ao exercício realizado em intensidades submáximas. Além disso, estas informações são importantes também para ciclistas na elaboração de treinamentos que objetivam obter melhoras na capacidade e na potência aeróbia, maximizando assim a performance.

1.4 Hipóteses do estudo

H1: A cadência de pedalada influencia significativamente nas respostas fisiológicas e no tlim do exercício realizado na PC e em 105%PC;

H2: Independente da intensidade, a cadência de pedalada apresenta efeitos significativos no CL, sendo a amplitude aumentada com a elevação da cadência;

H3: Independente da cadência, a intensidade do exercício apresenta efeitos significativos no CL, sendo a maior amplitude encontrada em 105% da PC;

H4: O $VO_2\text{max}$ não é atingido ao final do exercício realizado na PC utilizando as $Cad_{\text{pref}-25\%}$ e Cad_{pref} ;

H5: O $VO_2\text{max}$ é atingido ao final do exercício realizado na PC utilizando a $Cad_{\text{pref}+25\%}$;

H6: O $VO_2\text{max}$ é atingido ao final do exercício realizado a 105%PC independente da cadência de pedalada;

H7: O tlim é reduzido significativamente com o aumento da cadência e da intensidade;

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Caracterização fisiológica dos domínios de intensidade de exercício

Referente às respostas do [Lac] e VO_2 ao exercício realizado em diferentes intensidades, Whipp (1987), Gaesser e Poole (1996) e, mais recentemente Hill et al. (2002), têm proposto um modelo que divide as intensidades de exercício em três diferentes domínios fisiológicos que levam em conta o comportamento relacionado à cinética do [Lac] e do VO_2 (figura 1).

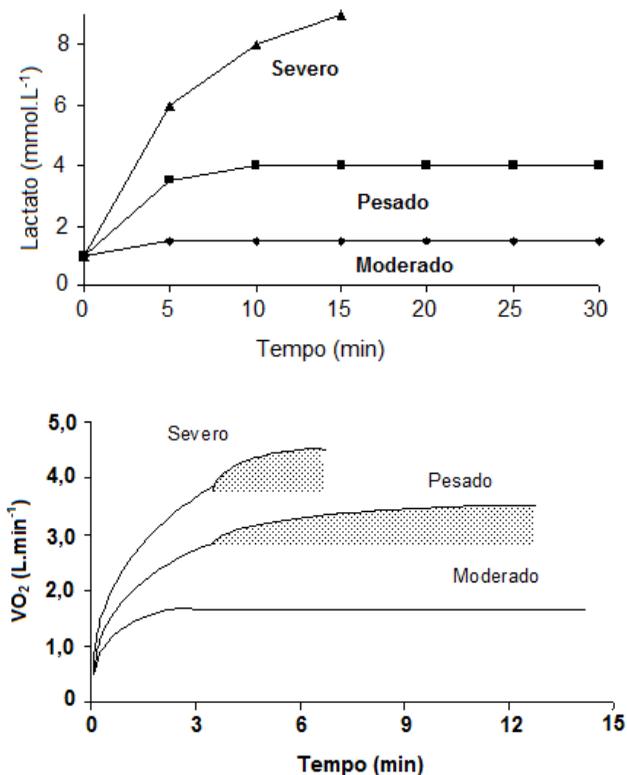


Figura 1 – Cinética do [Lac] e VO_2 nos domínios moderado, pesado e severo (abaixo da IVO_{2max}). A área sombreada corresponde ao CL (adaptado de Gaesser e Poole, 1996).

O primeiro domínio fisiológico, definido como moderado, constitui as intensidades de exercício abaixo do LL, visto que não há uma alteração do [Lac] em relação aos níveis de repouso (WHIPP, 1987; GAESSER; POOLE, 1996; HILL et al., 2002). Por outro lado, o VO_2 aumenta de maneira mono-exponencial e alcança um novo estado estável dentro de 2-3 min de exercício (WHIPP, 1987; GAESSER; POOLE, 1996; XU; RHODES, 1999; CARTER et al., 2000; HILL et al., 2002; CAPUTO; DENADAI 2004; CAPUTO, 2006). A literatura tem ressaltado diversos fatores que influenciam na duração do exercício realizado em intensidades compreendidas nesse domínio, incluindo depleção de substratos (glicogênio muscular e hepático), desequilíbrio hídrico e eletrolítico, diminuição progressiva dos estímulos neuromusculares, ou ainda, por desajustes nos mecanismos de termorregulação (GAESSER; POOLE, 1996; ABBISS; LAURSEN, 2005).

O segundo domínio fisiológico é chamado de pesado. O mesmo, que tem como limite inferior o LL, corresponde às intensidades de esforços que proporcionam um aumento do [Lac] tendo como limite superior à intensidade da máxima fase estável de lactato (MFEL) ou PC (GAESSER; POOLE, 1996; CAPUTO, 2006). No entanto, alguns estudos têm demonstrado que a PC superestima a MFEL (BRICKLEY et al., 2002; PRINGLE; JONES, 2002; DEKERLE et al. 2003; CARITÁ et al., 2009). Contudo, uma característica competente a esse domínio é a coerência no comportamento entre as variáveis [Lac] e VO_2 (GAESSER; POOLE, 1996).

Segundo Caputo (2006), o exercício realizado nas intensidades correspondentes ao domínio pesado induz a um aumento significativo do [Lac] em relação aos valores de repouso. Adicionalmente, o VO_2 eleva-se bi-exponencialmente, existindo o aparecimento do CL, atrasando o alcance do novo estado estável por cerca de 15-20 min, apresentando um valor que é maior que o predito por meio da relação VO_2 vs. intensidade (figura 1) (WHIPP, 1987; GAESSER; POOLE, 1996; XU; RHODES, 1999; CAPUTO; DENADAI, 2004; CAPUTO, 2006). Dessa forma, nessas intensidades de exercício, o tempo de sustentação tem sido fortemente ligado ao nível inicial de glicogênio muscular, com a fadiga, e consequentemente a exaustão, estritamente relacionada com a depleção de glicogênio armazenado no músculo (DEKERLE et al., 2003; ABBISS; LAURSEN, 2005; CAPUTO, 2006).

Para o terceiro domínio, denominado como severo, não há estabilidade das variáveis metabólicas. Devido mudanças ocorridas nos padrões de recrutamento de fibras musculares, os íons hidrogênio (H^+) e

o [Lac] se elevam com um concomitante aumento do VO_2 em direção aos valores máximos (Figura 2) (GAESSER; POOLE, 1996; XU; RHODES, 1999; CAPUTO; DENADAI, 2004; CAPUTO, 2006; GRECO et al., 2008). Nessas intensidades, a amplitude do CL é maior que a verificada para as intensidades pesadas (XU, RHODES, 1999). Contudo, a tolerância ao esforço é muito reduzida, visto que a duração do exercício está diretamente relacionada com o nível de desequilíbrio intracelular, provocado pela alta demanda muscular de trifosfato de adenosina (ATP) (ABBISS; LAURSEN, 2005; CAPUTO, 2006).

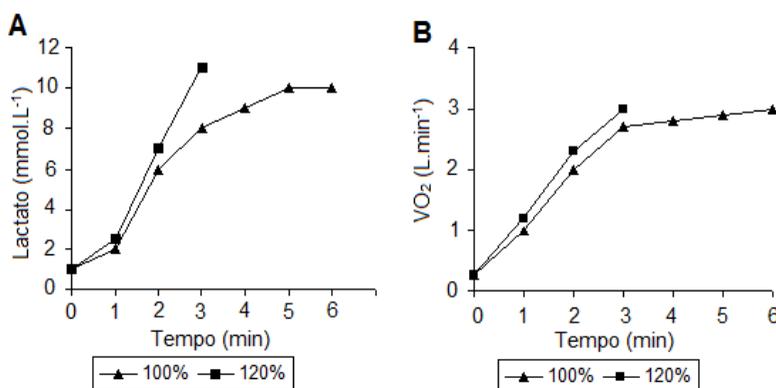


Figura 2 – Cinética do [Lac] (A) e VO_2 (B) no domínio severo para exercícios realizados a 100 e 120% IVO_2max (adaptado de Caputo, 2006).

Hill et al. (2002) propuseram que o limite superior do domínio severo seria a mais alta intensidade de exercício na qual o VO_2max ainda pode ser atingido. Os autores baseiam-se no fato de que este domínio é caracterizado por intensidades que permitem o VO_2max ser atingido, sendo desta forma, a intensidade onde o VO_2max é atingido no momento da exaustão o marcador do limite superior do domínio severo (HILL et al., 2002). Utilizando indivíduos ativos, esta intensidade foi determinada indiretamente usando um modelo teórico e correspondeu a 136% IVO_2max no cicloergômetro (HILL et al., 2002).

Caputo e Denadai (2008) utilizaram da mesma proposta de Hill et al. (2002) e, além de determinarem diretamente a mais alta intensidade de exercício na qual o VO_2max ainda pode ser atingido para verificar a validade da mesma, também analisaram os efeitos de diferentes níveis de treinamento aeróbio sobre a consistência desse

modelo proposto. Contudo, foi constatado que o modelo é influenciado pelo estado de treinamento aeróbio, visto que a relação existente entre potência e tempo de exaustão é modificada pelas diferentes respostas na cinética de VO_2 , principalmente pela mais lenta cinética de VO_2 observada nos indivíduos com menor aptidão aeróbia. Nesse estudo, considerando o nível de treinamento aeróbio, a mais alta intensidade na qual o $\text{VO}_{2\text{max}}$ ainda pode ser atingido e o tempo de exaustão correspondente foram 117-129% $\text{IVO}_{2\text{max}}$ e 2-3,5 min, respectivamente (CAPUTO; DENADAI, 2008).

2.2 O Modelo de Potência Crítica e as respostas fisiológicas

Muitos modelos desenvolvidos a partir da relação entre intensidade de exercício e tempo de tolerância ao mesmo têm sido investigados na literatura (BILLAT et al., 1999). Esses suscitam a questão em torno dos fatores fisiológicos que limitariam a continuidade do exercício, seja causando a fadiga ou exaustão, por fatores centrais (comandos eferentes) ou periféricos (bioenergética muscular) (NOAKES, 1988; BASSETT; HOWLEY, 2000). Nesse sentido, foi proposto na década de 60, por Monod e Scherrer (1965), o modelo de PC. Esses autores reportaram que a relação entre potência gerada por grupos musculares isolados em ações monoarticulares, e o tempo de exercício até a exaustão ajusta-se em uma função hiperbólica (MONOD; SCHERRER, 1965). Sendo assim, a PC é o valor assintótico desta relação (intensidade vs. t_{lim}), e a capacidade de trabalho anaeróbio (CTAn) é a quantidade constante de trabalho que pode ser realizada acima da PC (Figura 3).

Ainda, segundo Caputo (2006), a PC representa a intensidade na qual existe uma sustentável taxa de produção de ATP, podendo ser mantida segundo o modelo teórico, indefinidamente. Por outro lado, a CTAn compreende os estoques limitados de energia, que seriam as reservas de fosfatos (ATP e creatina fosfato - PCr), a quantidade de O_2 no sangue e no tecido muscular e a glicólise anaeróbia (CAPUTO, 2006). Assim, o modelo de PC apresenta-se como uma metodologia interessante no meio esportivo pela sua fácil aplicabilidade no que diz respeito à predição de intensidades que levam à exaustão dentro de 1-60 min (domínio severo-pesado) (CAPUTO, 2006).

Em intensidades que não se encontram nesta amplitude, a exaustão ocorre principalmente por aspectos limitantes da performance neuromuscular (limitação central) (NOAKES, 2000). Por outro lado, além dos 60 min, a duração do exercício pode ser limitada pela depleção

de substratos (glicogênio), desequilíbrio hídrico e eletrolítico, ou por aspectos termorregulatórios (GAESSER; POOLE, 1996, DEKERLE et al., 2003; ABBISS; LAURSEN, 2005). Com isso, em intensidades do domínio severo que o esforço é tolerado por somente alguns minutos, pode ser observado que os fatores que induzem a fadiga são diferentes aos encontrados durante exercícios de baixa intensidade, os quais podem ser sustentados por uma ou mais horas (domínios moderado e pesado) (NOAKES, 2000).

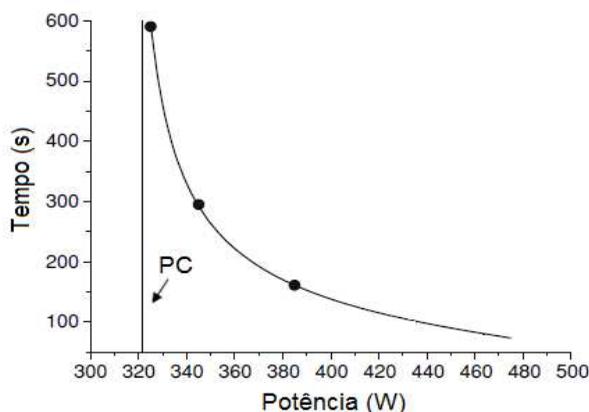


Figura 3 – Determinação da potência crítica (PC) e da capacidade de trabalho anaeróbio (CTAn) de acordo com o modelo hiperbólico potência vs. tempo (Adaptado de HILL, 1993).

A PC tem sido considerada como um índice para avaliar a capacidade aeróbia, visto que essa variável tem apresentado relação com a MFEL (POOLE et al., 1988). Em indivíduos não treinados, Poole et al. (1988), reportaram que no exercício realizado na PC, tanto o VO_2 , como o [Lac] apresentaram um estado estável, com o VO_2 atingindo aproximadamente uma fração de $80\% \text{VO}_2\text{max}$. No entanto, a $105\% \text{PC}$ o VO_2 atingiu seu valor máximo e o [Lac] aumentou durante todo o tempo sem esboçar sinais de estabilização.

Outros resultados que corroboram com estes de Poole et al. (1988), são apresentados por Poole et al. (1990). Os autores demonstraram que mesmo após sete semanas de treinamento intervalado intenso realizado por sujeitos não treinados, com efeitos significativos na PC (de 197 ± 12 W pré-, para 217 ± 11 W pós-treinamento), foram observados níveis de estabilidade do VO_2 e do [Lac] durante 24 min de exercício na PC nas duas condições (POOLE et al., 1990). Além disso,

quando o exercício foi realizado 5% acima da PC nas mesmas condições (pré- e pós-treinamento), o [Lac] aumentou progressivamente durante todo o tempo e o VO_2 de quase todos os sujeitos atingiu os valores máximos, visto que em alguns casos o VO_2 alcançou somente frações muito próximas do $\text{VO}_{2\text{max}}$ (POOLE et al., 1990).

Os estudos de Hill e Smith (1999) e Hill et al. (2002) fornecem evidências que corroboram com esses resultados. Em ambos, os autores calcularam a assíntota da relação hiperbólica entre potência e tempo necessário para atingir o $\text{VO}_{2\text{max}}$, sendo esta assíntota chamada de PC', a qual representa a intensidade de exercício limite do domínio pesado, visto que acima dessa o $\text{VO}_{2\text{max}}$ pode ser alcançado (HILL; SMITH, 1999; HILL et al., 2002). Em média, a PC' para o grupo avaliado no estudo de Hill e Smith (1999) foi de 167 ± 40 W, a qual não diferiu significativamente da PC determinada de forma convencional, que foi de 170 ± 44 W. Já no estudo de Hill et al. (2002), o grupo avaliado apresentou para a PC' uma média de 196 ± 42 W (78% $\text{IVO}_{2\text{max}}$), não sendo diferente estatisticamente da PC, a qual apresentou média de 198 ± 44 W (79% $\text{IVO}_{2\text{max}}$).

Nos dois estudos apresentados, quando os indivíduos se exercitaram na PC foi encontrado um estado estável de VO_2 em valores submáximos (HILL; SMITH, 1999; HILL et al., 2002). Contudo, no estudo de Hill et al. (2002), quando os indivíduos se exercitaram 10 W acima da PC (5%) o $\text{VO}_{2\text{max}}$ foi atingido. Assim, conforme os achados de Poole et al. (1988), Poole et al. (1990), Hill e Smith (1999) e Hill et al. (2002), a PC coincidiu com a MFEL e também com o máximo estado estável de VO_2 submáximo. Além disso, foi verificado também que um pouco acima da PC, o VO_2 projeta-se exponencialmente atingindo seus valores máximos ao final do exercício em função do CL (HILL et al., 2002).

No entanto, em contraste, tem sido demonstrado que a PC superestima a MFEL (PRINGLE; JONES, 2002; BRICKLEY et al., 2002; DEKERLE et al. 2003; CARITÁ et al., 2009). Pringle e Jones (2002) verificaram em indivíduos treinados que a PC e a MFEL foram significativamente diferentes, sendo que a PC ocorreu em uma mais alta intensidade e em um maior percentual da $\text{IVO}_{2\text{max}}$ comparada a MFEL, 242 ± 25 W (71%) e 222 ± 23 W (65%), respectivamente (PRINGLE; JONES, 2002).

Embora, em média, no estudo de Pringle e Jones (2002) a PC foi somente 20 W acima da MFEL, as respostas fisiológicas nessas duas intensidades foram significativamente diferentes. Na MFEL, o [Lac] e o VO_2 alcançaram valores estáveis entre 5 e 10 min do início do exercício,

com o VO_2 atingindo uma fração de $80\% \text{VO}_{2\text{max}}$ (PRINGLE; JONES, 2002). No entanto, quando os indivíduos se exercitaram em uma intensidade acima da MFEL, coincidindo praticamente com a PC ($241 \pm 24 \text{ W}$), o [Lac] e o VO_2 ($89\% \text{VO}_{2\text{max}}$) aumentaram significativamente com o tempo e alguns sujeitos entraram em exaustão antes de completarem 30 min de exercício (PRINGLE; JONES, 2002).

Semelhantemente, Brickley et al. (2002) verificaram em indivíduos bem treinados que durante o exercício na PC ($273 \pm 38 \text{ W}$), o [Lac] e o VO_2 aumentaram significativamente durante todo o tempo, com o VO_2 alcançando $91\% \text{VO}_{2\text{max}}$ no momento da exaustão (BRICKLEY et al., 2002). Embora o tlim médio foi de aproximadamente 30 min, esta variável apresentou uma amplitude entre 20 e 40 min, sendo que os autores sugeriram que uma definição mais apropriada para PC seria “a mais alta intensidade que não apresenta estado estável fisiológico e que pode ser mantida por um período de tempo um pouco acima de 20 min, porém não mais que 40 min” (BRICKLEY et al., 2002).

Dekerle et al. (2003) e Caritá et al. (2009) também sustentam a hipótese de que a PC e MFEL ocorrem em intensidades diferentes. Segundo Dekerle et al. (2003), embora a PC ($278 \pm 22 \text{ W}$) de sujeitos treinados não diferiu do segundo limiar ventilatório (LV2) ($286 \pm 28 \text{ W}$), ambos os parâmetros superestimaram a MFEL ($239 \pm 21 \text{ W}$). Além disso, mesmo sendo encontrada uma correlação significativa ($r=0,69$) entre o LV2 e a MFEL, a PC não se correlacionou significativamente com nenhum desses dois parâmetros de capacidade aeróbia (DEKERLE et al., 2003). Por sua vez, Caritá et al. (2009) também encontraram diferença entre PC e MFEL, porém com um percentual menor que o observado por Dekerle et al. (2003) (9 e 16%, respectivamente). Neste estudo, realizado em ciclistas treinados, além da PC ($314 \pm 32 \text{ W}$) e da MFEL ($287 \pm 38 \text{ W}$) terem sido diferentes, durante o exercício realizado na PC o [Lac] não apresentou estabilidade ao longo do tempo (CARITÁ et al., 2009).

Assim, de acordo com os resultados mais recentes encontrados na literatura, a PC e a MFEL não ocorrem em intensidades correspondentes, visto que a PC superestima a MFEL e apresenta respostas fisiológicas e metabólicas diferentes. Além disso, concordando com essa afirmação, observa-se que o tempo de sustentação nessas intensidades também é diferente, sendo o tlim na MFEL próximo de 60 min (BARON et al., 2008) e na PC entre 20 e 40 min (BRICKLEY et al., 2002; BULL et al., 2008; CARITÁ et al., 2009).

Com relação aos modelos matemáticos de determinação da PC, muitos têm sido apresentados (BULL et al., 2000; MORTON, 2006; BULL et al., 2008; JONES et al., 2010), no entanto três diferentes modelos definidos com dois parâmetros têm sido amplamente utilizados para a determinação destes índices (HILL, 1993).

1) modelo hiperbólico da relação potência vs. tempo:

$$t_{lim} = CTAn / (P - PC) \quad (1)$$

2) modelo linear potência vs. 1/tempo:

$$P = (CTAn / t_{lim}) + PC \quad (2)$$

3) modelo linear trabalho vs. tempo:

$$T = (PC \times t_{lim}) + CTAn \quad (3)$$

Onde t_{lim} = tempo de exaustão; $CTAn$ = capacidade de trabalho anaeróbio; P = potência; PC = potência crítica; T = Trabalho.

Contudo, embora a utilização da PC seja um método interessante pela sua determinação não invasiva e pelo seu baixo custo, é necessário que o indivíduo realize em princípio múltiplas sessões de exercícios até a exaustão para determinação dessa variável. Para verificar o número mínimo de intensidades de predição necessárias para identificar com precisão a PC, Housh et al. (1990) submeteram os avaliados a quatro intensidades até a exaustão e a PC foi determinada com dois, três e quatro pontos (relação potência vs. tempo, equação 1), utilizando todas as combinações possíveis.

Os autores verificaram que os valores de PC estimados com apenas dois pontos foram correlacionados ($r=0,96$) com os de quatro coordenadas, quando a diferença de tempo entre os dois pontos foi superior a 2,7 min (HOUSH et al., 1990). Com uma diferença maior que 5 min, as correlações foram mais altas ($r=0,98$) (HOUSH et al., 1990). Dessa forma, com base nesses resultados de Housh et al. (1990), parece ser possível a utilização de apenas dois pontos, com diferenças de pelo menos 3-5 min para a identificação da PC. No entanto, o que é mais comumente encontrado na literatura são trabalhos utilizando três intensidades preditivas.

Outro aspecto importante de ser ressaltado é a duração das intensidades preditivas, visto que, parece ser também um fator interveniente na determinação da PC. Di Prampero (1999) aponta que as intensidades selecionadas para predição da PC devem proporcionar um t_{lim} entre 2 e 15 min, as quais permitem que o VO_2max seja atingido

durante o exercício. Estudos têm mostrado que a utilização de intensidades que não permitam durações de pelo menos 2-3 min pode superestimar a PC (BISHOP et al., 1998; CALIS; DENADAI, 2000). Bishop et al. (1998) propõem que esta influência da seleção das intensidades na determinação da PC pode ser explicada pelo efeito da “inércia aeróbia”, particularmente em intensidades que geram um tlim abaixo de 3 min. Portanto, se a PC é um índice que deve representar a capacidade aeróbia, as intensidades preditivas devem permitir um tlim de pelo menos 3 min (BISHOP et al., 1998).

2.3 Efeito da cadência de pedalada na performance e nas respostas fisiológicas durante o exercício de *endurance* realizado em diferentes intensidades

A seleção da cadência de pedalada é um importante componente no ciclismo, uma vez que essa variável interfere diretamente na performance (LUCIA et al., 2001; NIELSEN et al., 2004; FOSS; HALLÉN, 2005; NESI et al., 2005; HANSEN et al., 2006; MORA-RODRIGUEZ; AGUADO-JIMENEZ, 2006), nas respostas fisiológicas (CROISSANT; BOILEAU, 1984; BRISSWALTER et al., 2000; MACINTOSH et al., 2000; LEPERS et al., 2000; LEPERS et al., 2001; FOSS; HALLÉN, 2005) e na cinética de VO₂ durante o exercício de *endurance* (PRINGLE et al., 2003b; NESI et al., 2004; MIGITA; HIRAKOBA, 2006; VERCRUYSSSEN et al., 2009; HIRAI et al., 2010).

Além disso, tem sido indicado que a cadência de pedalada pode influenciar no nível de fadiga neuromuscular dos músculos utilizados durante o exercício (TAKAISHI et al., 1994; TAKAISHI et al., 1996), alterar níveis de ativação e os padrões de recrutamento de fibras musculares (AHLQUIST et al., 1992; NEPTUNE; HULL, 1999; MACINTOSH et al., 2000; SARRE; LEPERS, 2005; ANSLEY; CANGLEY, 2009). Alguns estudos têm demonstrado que a Cad_{pref} por ciclistas treinados durante testes de laboratório varia entre 90 e 100 rpm (PADILLA et al., 1999; MARSH et al., 2000; LUCIA et al., 2001; LEPERS et al., 2001; NESI et al., 2005), e em provas tradicionais de três semanas (ex: Giro d'Itália, Vuelta a Espanha e Tour de France) é frequentemente entre 70 e 100 rpm dependendo do nível de altimetria do percurso (LUCIA et al., 2001). Entretanto, esta cadência é normalmente mais alta que as cadências de menor gasto energético (ex: 50-70 rpm) (MARSH et al., 2000; BRISSWALTER et al., 2000; LUCIA et al., 2001; SAMOZINO et al., 2006).

Dessa forma, baseado neste paradoxo, a seleção de uma cadência ótima para ciclistas treinados parece estar fundamentada no aperfeiçoamento da performance e não na demanda energética. Por exemplo, para desempenhar altas velocidades (ex: 50 km.h^{-1}), as quais são comuns no pelotão de provas de estrada e provas de contra-relógio, só é possível por meio de cadências acima de 85 rpm (ANSLEY; CANGLEY, 2009). Assim, uma possível explicação para essa observação, além de aumentar a capacidade de aceleração (ANSLEY; CANGLEY, 2009), é que ciclistas treinados podem selecionar cadências mais elevadas para minimizar o stress muscular local (McNAUGHTON; THOMAS, 1996; NEPTUNE; HULL, 1999). Esta característica é refletida por meio de uma diminuição da percepção subjetiva de esforço (LOLLGEN et al., 1980) e de uma maior hemodinâmica (GOTSHALL et al., 1996), embora o VO_2 seja maior em cadências mais altas (BRISWALTER et al., 2000; NESI et al., 2004; NIELSEN et al., 2004; HANSEN et al., 2006).

Com referência à resposta do VO_2 , tem sido observada uma curva característica em forma de “J” (figura 4) obtida em função do efeito da cadência de pedalada em diferentes intensidades de exercício (SEABURY et al., 1977; HAGBERG et al., 1981; BÖNING et al., 1984; BUCHANAN; WELTMAN, 1985; COAST; WELCH, 1985; COAST et al., 1986; MARSH; MARTIN, 1993; TAKAISHI et al., 1996; TAKAISHI et al., 1998; CHEN et al., 1999; HINTZY et al., 1999; BRISWALTER et al., 2000; HANSEN et al., 2002; FOSS; HALLÉN, 2004; FOSS; HALLÉN, 2005; ARGENTIN et al., 2006).

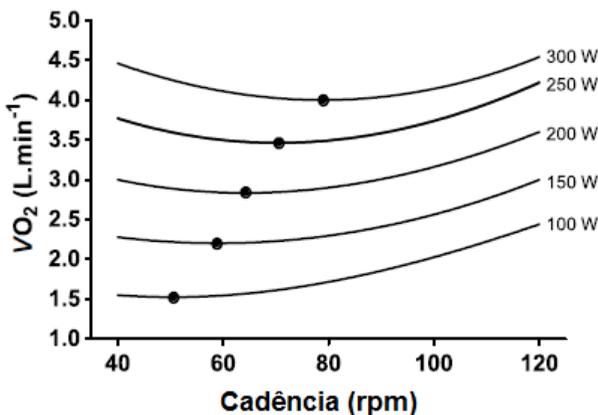


Figura 4 – Efeito da cadência na resposta do VO_2 em diferentes intensidades de exercício (adaptado de Coast e Welch, 1985).

Segundo Ansley e Cangley (2009), uma notável característica da resposta do VO_2 observada nesta curva em forma de “J” obtida em função de alterações na cadência é a sua “inclinação” para a esquerda quando a intensidade diminui, a qual resulta em uma cadência mais econômica ocorrendo em valores mais baixos. Por outro lado, com o aumento da intensidade, ocorre um deslocamento da cadência mais econômica para a direita da curva, demonstrando dessa forma que a cadência que demanda um menor gasto energético é dependente da intensidade de exercício (FOSS; HALLÉN, 2004).

Alguns estudos que observaram uma resposta curvilínea também reportaram um aumento do VO_2 com o aumento da cadência de pedalada (ex: o “braço” esquerdo da curva em forma de “J” é ausente) (GAESSER; BROOKS, 1975; SUSUKI, 1979; LOLLGEN et al., 1980; FARIA et al., 1982; SIDOSSIS et al., 1992; TAKAISHI et al., 1994; GOTSHALL et al., 1996; MARSH; MARTIN, 1997; CHAVARREN; CALBET, 1999; HANSEN et al., 2002; FOSS; HALLÉN, 2004). Uma possível explicação para esta diferença está baseada nas menores intensidades (125-200 W) empregadas nestes estudos quando comparados aos que encontraram uma curva em “J” (150-315 W), resultando no “braço” esquerdo da curva de VO_2 tendendo a uma característica horizontal com a diminuição da intensidade (COAST; WELCH, 1985; FOSS; HALLÉN, 2004; ZOLADZ et al., 1999).

Essa evidência, conforme destacada por Ansley e Cangley (2009), é suportada por estudos que examinaram uma ampla faixa de cadências (ex: 40-120 rpm) combinadas com altas intensidades de exercício (ex: 300 W), onde uma curva em “J” da resposta do [Lac] foi também observada em função das alterações na cadência (figura 5), semelhante à resposta do VO_2 . De fato, as cadências que apresentaram os menores níveis de [Lac] foram encontradas entre 60 e 80 rpm (HAGBERG et al., 1981; BÖNING et al., 1984; BUCHANAN; WELTMAN, 1985; COAST; WELCH, 1985; COAST et al., 1986; BRISSWALTER et al., 2000; FOSS; HALLÉN, 2004).

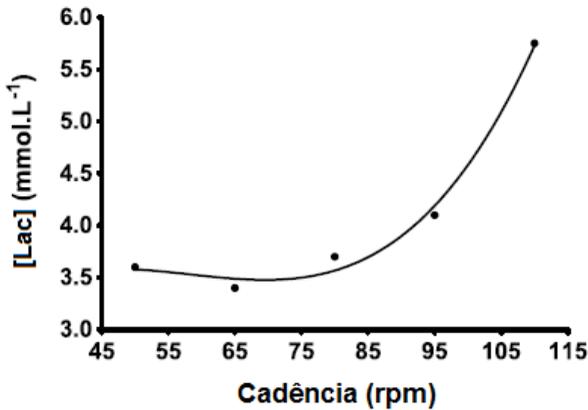


Figura 5 – Efeito da cadência na resposta do [Lac] em uma intensidade de exercício de 300 W. A curva apresenta uma forma de “J” em função da variação de cadência, com a menor [Lac] sendo observada em aproximadamente 67 rpm (adaptado de Brisswalter et al., 2000).

Em contraste ao aumento curvilíneo do VO_2 em resposta a elevação da cadência, Lucia et al. (2004) verificaram um progressivo declínio do VO_2 quando a cadência aumentou de 60 para 100 rpm. Entretanto, os ciclistas avaliados eram profissionais altamente treinados ($VO_{2max} = 75 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) e a intensidade de exercício média testada foi $\sim 370 \text{ W}$ (LUCIA et al., 2004). Dessa forma, conforme já destacado por Foss e Hallén (2004) e corroborado por Lucia et al. (2004), a cadência metabolicamente ótima seria deslocada para a direita da curva em altas intensidades de exercício, resultando na ocorrência do menor VO_2 em uma alta cadência e necessitando testar de fato maiores cadências para que seja possível desenvolver o “braço” direito da curva em forma de “J”. Além disso, segundo Lucia et al. (2004), as altas cadências habituais, a experiência e as cargas de treinamento destes atletas de alto nível podem induzir a adaptações que alteram a relação VO_2 vs. cadência normalmente observada.

A Cad_{pref} geralmente é próxima da cadência de maior eficiência neuromuscular (menor aplicação de força no pedal e menor fadiga eletromiográfica) (TAKAISHI et al., 1996) e maior eficiência delta (ED - determinada pelo quociente entre variação do gasto energético e variação da potência gerada) (HAGBERG et al., 1981). Porém, dependendo da intensidade do exercício (FOSS; HALLÉN, 2004), principalmente nos domínios moderado e pesado, a Cad_{pref} não é a

cadência de melhor eficiência bruta (EB - gasto energético total para uma determinada potência) (TAKAISHI et al., 1994; TAKAISHI et al., 1996; TAKAISHI et al., 1998; BRISSWALTER et al., 2000; NIELSEN et al., 2004; FOSS; HALLÉN, 2004; ARGENTIN et al., 2006; HANSEN et al., 2006).

Entretanto, tem-se comparado a Cad_{pref} com a cadência mais econômica energeticamente em exercícios de *endurance* de curta duração realizado por ciclistas e triatletas treinados (COAST et al., 1986; BRISSWALTER et al., 2000). Embora Coast et al. (1986) não tenham encontrado variações significativas da cadência mais econômica em um exercício realizado a 85% VO_2max durante 20 min, Brisswalter et al. (2000) mostraram que durante o exercício de maior duração (30 min) realizado a 80% VO_2max a cadência mais econômica é alterada significativamente ao longo do tempo para uma cadência próxima da Cad_{pref} . Esses resultados sugerem que um efeito mais acentuado da fadiga pode ser observado após os primeiros 20 min de exercício, visto que a cadência mais econômica se aproxima da Cad_{pref} (minimização da fadiga neuromuscular) a partir desse período durante um exercício mais prolongado de alta intensidade (BRISSWALTER et al., 2000).

Com relação à eficiência (custo energético para uma determinada potência submáxima), variável fisiológica amplamente analisada em função da cadência, tem sido verificado que para uma mesma variação na cadência pode-se encontrar melhora da ED e piora na EB (CHAVARREN; CALBET, 1999). No entanto, para uma dada cadência, a EB é melhorada quando a intensidade do exercício é aumentada (CHAVARREN; CALBET, 1999). Segundo Chavarren e Calbet (1999), uma vez que a relação entre EB e intensidade de exercício apresenta uma função parabólica e, que a curvatura dessa relação é atenuada quando a intensidade do exercício é aumentada, o efeito da cadência na EB é reduzido quando ocorre um incremento na intensidade.

Conforme já destacado, alguns estudos têm verificado que para uma mesma variação na cadência, normalmente entre 40 e 120 rpm, pode-se encontrar melhora da ED (BÖNING et al., 1984; SIDOSSIS et al., 1992; CHAVARREN; CALBET, 1999). Dessa forma, uma vez que a ED é mantida com o aumento da intensidade do exercício (KANG et al., 1997; CHAVARREN; CALBET, 1999), seria vantagem elevar a cadência quando a carga de trabalho é aumentada, visto que a ED apresenta uma relação linear com o aumento da cadência (CHAVARREN; CALBET, 1999). Estes resultados podem adicionalmente explicar porque ciclistas treinados utilizam cadências

normalmente entre 90 e 100 rpm mesmo em intensidades de exercício diferentes.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização do estudo

O presente estudo pode ser classificado quanto a sua natureza como sendo uma pesquisa aplicada, pois segundo Gil (2002) possui como objetivo gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigir soluções para problemas específicos. Quanto à abordagem do problema, o estudo é considerado uma pesquisa quantitativa, visto que considera que os dados serão quantificados para serem classificados e analisados (GIL, 2002). Quanto aos objetivos propostos, a pesquisa caracteriza-se como sendo descritiva do tipo correlacional, visto que tem como objetivo descrever as características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis (GIL, 2002).

3.2 Sujeitos do estudo

A seleção dos participantes foi do tipo intencional não probabilística, sendo composta por 13 ciclistas treinados. Todos os sujeitos foram do sexo masculino, considerados sadios após exame clínico, não fumantes e que não faziam uso regular de qualquer tipo de medicamento. Os mesmos foram informados textual e verbalmente sobre os objetivos e a metodologia deste estudo e assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido.

3.3 Instrumentos de medidas

3.3.1 Obtenção das variáveis antropométricas

A massa corporal foi mensurada em uma balança com precisão de 0,1 kg (Filizola, São Paulo, Brasil). A estatura foi medida em um estadiômetro com precisão de 0,1 cm (Sanny, São Paulo, Brasil). A obtenção das medidas de dobras cutâneas para determinação do percentual de gordura corporal (%G) foi realizada por meio de um adipômetro com precisão de 0,1 mm (Cescorf, Porto Alegre, Brasil).

3.3.2 Obtenção das variáveis fisiológicas

Todos os testes foram realizados no ambiente laboratorial utilizando a própria bicicleta do atleta acoplada a um ergômetro de frenagem eletromagnética (ComputrainerTM Pro 3D, RacerMate, Seattle,

Washington, USA). A roda traseira foi calibrada em 800 kPa e o sistema de carga do ergômetro foi calibrado para uma resistência de rolamento entre 0,88 e 0,93 kg. Este procedimento foi feito antes e imediatamente após o período de 15 min de aquecimento para garantir uma calibração precisa, tal como recomendado por Davidson et al. (2007). O VO_2 e a VE foram mensurados respiração a respiração durante todos os testes a partir do gás expirado (Quark PFTergo, Cosmed, Rome, Italy). A calibração do analisador de gás foi realizada, antes de cada teste, de acordo com as recomendações do fabricante obedecendo à seguinte seqüência: 1) calibração do ar ambiente: consiste em utilizar uma amostra do ar ambiente para comparação dos valores de CO_2 e O_2 atmosféricos (0,03% para CO_2 e 20,93% para O_2); 2) calibração do gás: consiste em enviar para o analisador de gás uma amostra conhecida de gás misto armazenada em um cilindro específico (16% de O_2 e 5% de CO_2); 3) calibração da turbina: consiste de uma seringa que envia um fluxo de ar de 3 L de volume para calibrar a turbina que capta as amostras de gás; 4) Calibração *delay*: consiste em mensurar o tempo necessário para a amostra de gás passar através da linha de ar antes de ser analisada.

A leitura das [Lac] foi realizada por meio do analisador eletroquímico YSI 2700 (modelo STAT SELECT). O aparelho foi calibrado antes da realização da leitura através do uso de uma solução de concentração conhecida (5 mmol.L^{-1}), como determina o fabricante (YSI Incorporate). A FC foi monitorada por meio de um cardiofrequencímetro incorporado ao analisador de gases, permitindo o registro e o armazenamento do comportamento da FC de maneira simultânea às variáveis respiratórias. Todos os dados de VO_2 , VE e FC foram analisados com *software* específico (Data Management Software, Cosmed, Rome, Italy). Os registros de temperatura e umidade relativa do ar foram realizados durante os testes por meio de um termômetro/higrômetro também incorporado ao analisador de gases.

3.4 Coleta de dados

Antes do início da coleta de dados, os atletas que participaram do estudo foram esclarecidos sobre os objetivos e a metodologia da pesquisa para então, assinarem o termo de consentimento livre e esclarecido. As avaliações do estudo foram realizadas nas dependências do Laboratório de Esforço Físico (LAEF) do Centro de Desportos (CDS) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Os sujeitos compareceram ao laboratório, em três diferentes etapas da pesquisa. Os indivíduos foram instruídos a não treinarem exaustivamente no dia anterior à avaliação e a comparecerem alimentados e hidratados no dia do teste. Além disso, antes da realização de cada teste, os atletas não podiam ingerir bebidas contendo álcool ou cafeína nem utilizar algum suplemento energético. Todos os testes foram separados por um intervalo de no mínimo 24 h.

Na primeira etapa, os atletas foram submetidos a um protocolo incremental máximo realizado na Cad_{pref} para a determinação do VO_{2max} , IVO_{2max} e LAN. Na segunda etapa, os mesmos foram submetidos (em ordem aleatória por meio de sorteio) a três sessões de testes de esforço máximo a 95, 100 e 110% IVO_{2max} realizados também com a Cad_{pref} . A partir da relação entre % IVO_{2max} e t_{lim} dessas três intensidades (95, 100 e 110% IVO_{2max}), foi determinada a PC. Na terceira etapa foram realizados testes máximos na PC e em 105%PC em diferentes cadências de pedalada ($Cad_{pref-25\%}$, Cad_{pref} e $Cad_{pref+25\%}$) para determinação do t_{lim} . Todos os testes foram realizados no mesmo horário do dia para minimizar qualquer efeito nos resultados. Nos protocolos que se utilizou a Cad_{pref} , esta foi determinada como sendo a cadência de pedalada escolhida pelos ciclistas nos primeiros 2 min de exercício, sendo que após esse período os atletas deveriam manter essa cadência até a exaustão com uma amplitude de variação de ± 5 rpm.

3.5 Procedimentos para coleta de dados

3.5.1 Avaliação antropométrica

Foram mensuradas as seguintes variáveis antropométricas: massa corporal, estatura e %G. O %G foi estimado a partir da equação de três dobras cutâneas (tricipital, abdominal, coxa média) proposta por Evans et al. (2005) para atletas.

3.5.2 Protocolo de determinação do VO_{2max} , IVO_{2max} e LAN

O VO_{2max} foi determinado utilizando-se um protocolo incremental máximo. A carga inicial foi de 100 W, com incrementos de 30 W a cada 3 min, até a exaustão voluntária. Ao final de cada estágio houve uma coleta de 25 μ L de sangue do lóbulo da orelha para dosagem da [Lac]. O VO_2 e a VE foram mensurados respiração a respiração durante todo o protocolo a partir do gás expirado, sendo os dados reduzidos às médias de 15 s. O VO_{2max} e a VE_{max} foram os maiores

valores obtidos durante o teste nestes intervalos de 15 s. Para considerar que, durante o teste, os indivíduos atingiram o VO_2max na exaustão, foram adotados os seguintes critérios: quociente respiratório (R) maior que 1,1; [Lac] maior que 8 mmol.L^{-1} ; e FC pico no mínimo igual a $90\% \text{FCmax}$ predita para a idade (TAYLOR et al., 1955; LACOUR et al., 1991). A IVO_2max foi considerada com sendo a menor intensidade de exercício na qual ocorreu o VO_2max (BILLAT; KORALSZTEIN, 1996). O LAn foi determinado, quando necessário, por meio de uma interpolação linear ([Lac] vs. intensidade), considerando uma [Lac] fixa de $3,5 \text{ mmol.L}^{-1}$ (HECK et al., 1985). A FC foi mensurada durante todo o teste, sendo os dados reduzidos às médias de 15 s. A FCmax foi o mais valor obtido durante o teste nestes intervalos de 15 s.

3.5.3 Determinação do tlim a 95, 100 e 110% IVO_2max

Inicialmente os sujeitos realizaram um aquecimento padronizado de 10 min a $50\% \text{IVO}_2\text{max}$. A seguir, repousaram por 5 min na bicicleta e a intensidade foi ajustada em 95, 100 ou $110\% \text{IVO}_2\text{max}$ e os atletas foram estimulados verbalmente a manter o esforço até a exaustão voluntária. As variáveis cardiorespiratórias foram mensuradas continuamente durante todo o protocolo. O tlim foi considerado como o tempo total de esforço mantido em cada uma das três intensidades (95, 100 ou 110%) e expresso em minutos. Para todos esses testes, a cadência utilizada foi a Cad_{pref} .

3.5.4 Determinação da Potência Crítica

Para determinação da PC, foram utilizados os valores individuais de potência e tlim obtidos durante os testes de intensidade constante, os quais foram ajustados a partir do modelo linear potência vs. $1/\text{tlim}$ de acordo com a seguinte equação: $P = (\text{CTAn} / \text{tlim}) + \text{PC}$, onde tlim = tempo de exaustão; CTAn = capacidade de trabalho anaeróbio; P = potência; PC = potência crítica (figura 6) (HILL, 1993).

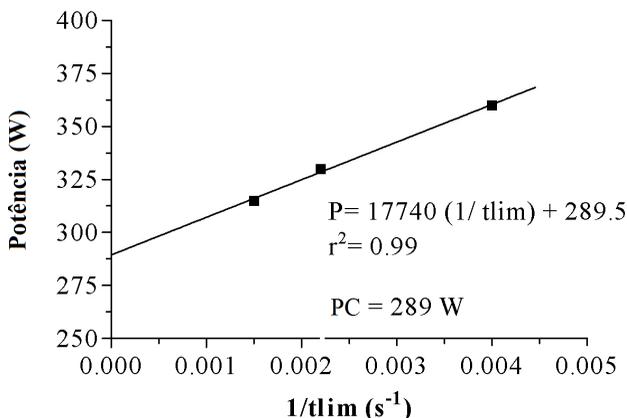


Figura 6 – Determinação da potência crítica (PC) de acordo com o modelo linear potência vs. 1/tempo ($P \times 1/tlim$).

3.5.5 Determinação do tempo de exaustão a 100 e 105%PC em diferentes cadências

Inicialmente os sujeitos realizaram um aquecimento padronizado de 10 min a 50%IVO₂max. A seguir, repousaram por 5 min na bicicleta e a intensidade foi ajustada para 100 ou 105%PC e os atletas foram estimulados verbalmente a manter o esforço na cadência pré-estabelecida até a exaustão voluntária. As variáveis cardiorespiratórias foram mensuradas continuamente durante todo o protocolo. Além disso, foram coletadas amostras de sangue no 5° min de exercício e no momento imediato da exaustão. Os valores de VO₂, FC, VE e [Lac] correspondente ao exercício realizado a 100 e 105%PC em cada cadência específica ($Cad_{pref-25\%}$, Cad_{pref} e $Cad_{pref+25\%}$) foram os valores determinados no momento da exaustão. O tlim foi considerado como o tempo total de esforço expresso em minutos mantido em cada protocolo. O CL da cinética do VO₂ foi determinado como a diferença entre os valores de VO₂ do 3° min e do momento da exaustão (Billat et al., 1998; Billat et al., 1999; Bull et al., 2008). Além disso, foi determinado também o $\Delta[Lac]$, calculado como a diferença entre os valores de [Lac] do 5° min e do momento da exaustão.

3.6 Tratamento estatístico

Os dados estão expressos como média \pm DP. A normalidade dos dados foi verificada por meio do teste de *Shapiro-Wilk*. A análise de

variância *one-way* para medidas repetidas foi utilizada para comparar o VO_2max determinado no teste incremental com os valores de VO_2 obtidos nos testes a 95, 100 e 110% IVO_2max e, verificar se houve diferenças entre as cadências selecionadas nestes testes. Os efeitos da intensidade (PC vs. 105%PC) e da cadência de pedalada ($\text{Cad}_{\text{pref}-25\%}$, Cad_{pref} e $\text{Cad}_{\text{pref}+25\%}$) no VO_2 , FC, VE, [Lac], $\Delta[\text{Lac}]$, CL e t_{lim} foram testados usando a análise de variância *two-way* para medidas repetidas. Todas essas análises foram complementadas pelo teste *post hoc* de *Bonferroni*. Para comparar as cadências ($\text{Cad}_{\text{pref}-25\%}$ vs. $\text{Cad}_{\text{pref}-25\%}$; Cad_{pref} vs. Cad_{pref} ; $\text{Cad}_{\text{pref}+25\%}$ vs. $\text{Cad}_{\text{pref}+25\%}$) entre a PC e 105%PC foi utilizado o teste *t* de *Student* para amostras pareadas. Para verificar as variáveis que apresentavam correlação com o t_{lim} nos testes submáximos, utilizou-se o teste de correlação de *Pearson*. Em todas as análises foi adotado um nível de significância de 5%.

4. RESULTADOS

4.1 Teste incremental

A tabela 1 apresenta a idade dos sujeitos, as características antropométricas e as variáveis fisiológicas determinadas no teste incremental.

Tabela 1 – Valores médios \pm DP da idade dos sujeitos, das características antropométricas e das variáveis fisiológicas determinadas no teste incremental.

Idade (anos)	20 \pm 5,1
Massa Corporal (kg)	70,8 \pm 12,2
Estatura (cm)	179,1 \pm 7,2
VO ₂ max (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	66,7 \pm 8,0
VO ₂ max (L.min ⁻¹)	4,7 \pm 0,6
VE _{max} (L.min ⁻¹)	164,5 \pm 24,9
FC _{max} (bpm)	196 \pm 8
IVO ₂ max (W)	345 \pm 41
LAn (W)	254 \pm 35
LAn (%IVO ₂ max)	73,7 \pm 4,5

VO₂max = consumo máximo de oxigênio; VE_{max} = ventilação máxima; FC_{max} = frequência cardíaca máxima; IVO₂max = intensidade correspondente ao consumo máximo de oxigênio; LAn = intensidade correspondente ao limiar anaeróbio; %IVO₂max = percentual da intensidade correspondente ao consumo máximo de oxigênio referente ao limiar anaeróbio.

4.2 Testes a 95, 100 e 110%IVO₂max

As variáveis determinadas durante o exercício realizado até exaustão a 95, 100 e 110%IVO₂max estão expressas na tabela 2. Não houve diferenças entre o VO₂ obtido nestes testes e o VO₂max determinado no protocolo incremental.

Tabela 2 – Valores médios \pm DP das variáveis determinadas durante o exercício realizado a 95, 100 e 110%IVO₂max.

Pot (%)	Pot (W)	VO ₂ (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	VE (L.min ⁻¹)	FC (bpm)	tlim (min)
95	327 \pm 38	66,5 \pm 8,3	162,1 \pm 20,1	192 \pm 10	10,0 \pm 3,6

100	345 ± 41	67,5 ± 8,3	167,1 ± 24,3	193 ± 8	6,9 ± 2,6
110	379 ± 44	66,6 ± 7,6	165,3 ± 22,4	191 ± 8	3,8 ± 1,9

Pot = Potência referente a uma intensidade de exercício; VO₂ = consumo de oxigênio; VE = ventilação; FC = frequência cardíaca; tlim = tempo de exaustão.

A tabela 3 destaca as cadências selecionadas durante o teste incremental e durante os testes realizados a 95, 100 e 110%IVO₂max. Não foram encontradas diferenças significantes entre as cadências utilizadas nos protocolos.

Tabela 3 – Valores médios ± DP das cadências selecionadas durante o teste incremental e durante os testes realizados a 95, 100 e 110% IVO₂max.

Incremental (rpm)	95%IVO ₂ max (rpm)	100%IVO ₂ max (rpm)	110%IVO ₂ max (rpm)
97 ± 4	99 ± 3	100 ± 3	99 ± 4

95%IVO₂max = 95% da intensidade correspondente ao consumo máximo de oxigênio; 100%IVO₂max = 100% da intensidade correspondente ao consumo máximo de oxigênio; 110%IVO₂max = 110% da intensidade correspondente ao consumo máximo de oxigênio.

4.3 Testes na PC e 105%PC em diferentes cadências de pedalada

A PC estimada a partir do modelo linear P x 1/tlim foi 294 ± 37 W (~85%IVO₂max) e a CTAn foi de 20,2 ± 14,8 kj. Já a intensidade a 105%PC foi de 308 ± 40 W (~89%IVO₂max). A tabela 4 destaca as cadências selecionadas (Cad_{pref-25%}, Cad_{pref} e Cad_{pref+25%}) nos testes na PC e a 105%PC. Quando analisadas entre as intensidades (PC vs. 105%PC), não houve diferenças significantes entre as cadências correspondentes.

Tabela 4 – Valores médios ± DP das cadências (Cad_{pref-25%}, Cad_{pref} e Cad_{pref+25%}) utilizadas durante o exercício realizado na PC e a 105%PC.

Intensidade	Cad _{pref-25%} (rpm)	Cad _{pref} (rpm)	Cad _{pref+25%} (rpm)
PC	73 ± 3	98 ± 4	122 ± 4
105%PC	74 ± 2	99 ± 3	123 ± 3

Cad_{pref-25%} = cadência 25% menor que a cadência preferida; Cad_{pref} = cadência preferida; Cad_{pref+25%} = cadência 25% maior que a cadência preferida; PC = potência crítica; 105%PC = 105% da potência crítica.

A resposta do VO_2 no exercício realizado até a exaustão na PC e a 105%PC nas diferentes cadências de pedalada está apresentada na tabela 5. O VO_2 foi significativamente ($p < 0,05$) diferente entre todas as cadências ($\text{Cad}_{\text{pref-25\%}}$, Cad_{pref} e $\text{Cad}_{\text{pref+25\%}}$) dentro da mesma intensidade de exercício (PC e 105%PC). Por outro lado, quando foi analisado o efeito da intensidade (PC *vs.* 105%PC) e considerado a mesma cadência, foram observadas diferenças significantes ($p < 0,05$) nos valores de VO_2 para a $\text{Cad}_{\text{pref-25\%}}$ e Cad_{pref} . Comparando o VO_2max obtido no teste incremental (tabela 1) com os valores de VO_2 apresentados na tabela 5, foi verificado que não houve diferença significativa entre estas variáveis na PC utilizando a $\text{Cad}_{\text{pref+25\%}}$ e em 105%PC utilizando a Cad_{pref} e $\text{Cad}_{\text{pref+25\%}}$, sendo que nos outros casos o VO_2max não foi atingido ($p < 0,05$) (figura 7 e 8).

Tabela 5 – Valores médios \pm DP do VO_2 ($\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) no exercício realizado até a exaustão na PC e a 105%PC nas diferentes cadências ($\text{Cad}_{\text{pref-25\%}}$, Cad_{pref} e $\text{Cad}_{\text{pref+25\%}}$).

Intensidade	$\text{Cad}_{\text{pref-25\%}}$	Cad_{pref}	$\text{Cad}_{\text{pref+25\%}}$
PC	$61,1 \pm 7,1^a$	$63,0 \pm 7,8^b$	$66,3 \pm 7,5$
105%PC	$64,5 \pm 7,6^{a*}$	$65,8 \pm 8,6^{b*}$	$67,2 \pm 7,7$

$\text{Cad}_{\text{pref-25\%}}$ = cadência 25% menor que a cadência preferida; Cad_{pref} = cadência preferida; $\text{Cad}_{\text{pref+25\%}}$ = cadência 25% maior que a cadência preferida; PC = potência crítica; 105%PC = 105% da potência crítica; ^a $p < 0,05$ comparado a Cad_{pref} e $\text{Cad}_{\text{pref+25\%}}$; ^b $p < 0,05$ comparado a $\text{Cad}_{\text{pref+25\%}}$; * $p < 0,05$ comparado a PC.

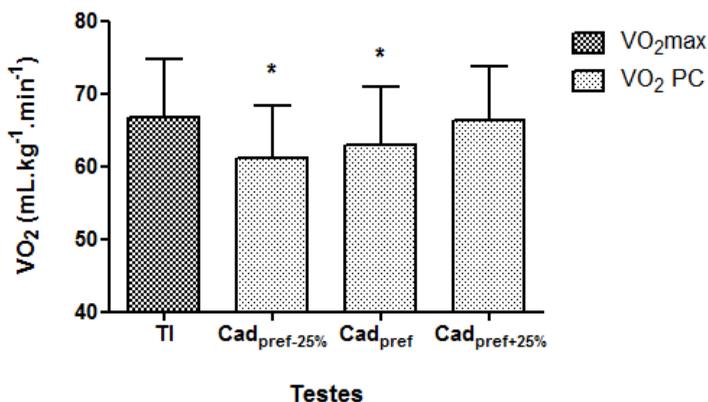


Figura 7 – Comparação do VO_2max ($\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) obtido no teste incremental (TI) com o VO_2 no exercício realizado até a exaustão na PC nas cadências $\text{Cad}_{\text{pref-25\%}}$, Cad_{pref} e $\text{Cad}_{\text{pref+25\%}}$; * $p < 0,05$ comparado ao VO_2max .

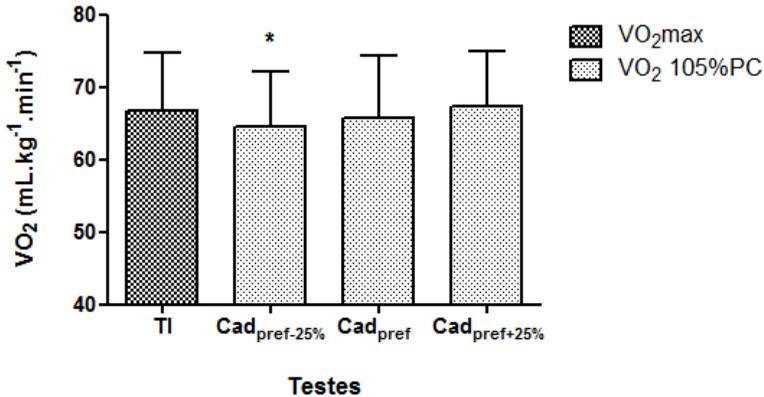


Figura 8 – Comparação do VO₂max (mL.kg⁻¹.min⁻¹) obtido no teste incremental (TI) com o VO₂ no exercício realizado até a exaustão a 105%PC nas cadências Cad_{pref-25%}, Cad_{pref} e Cad_{pref+25%}; * p<0,05 comparado ao VO₂max.

A tabela 6 apresenta a resposta da FC no exercício realizado até a exaustão na PC e a 105%PC nas diferentes cadências de pedalada. Ao analisar o efeito da cadência, dentro da mesma intensidade de exercício (PC e 105%PC), foi encontrado que a FC na Cad_{pref-25%} foi significativamente (p<0,05) menor que na Cad_{pref} e na Cad_{pref+25%}. Quando foi analisado o efeito da intensidade (PC vs. 105%PC) considerando a mesma cadência, não foram encontradas diferenças significativas na FC. Comparando a FCmax obtida no teste incremental (tabela 1) com os valores de FC apresentados na tabela 6, foi verificado que houve diferença significativa (p<0,05) entre estas variáveis independente da intensidade e da cadência analisada (figura 9 e 10).

Tabela 6 – Valores médios ± DP da FC (bpm) no exercício realizado até a exaustão na PC e a 105%PC nas diferentes cadências (Cad_{pref-25%}, Cad_{pref} e Cad_{pref+25%}).

Intensidade	Cad _{pref-25%}	Cad _{pref}	Cad _{pref+25%}
PC	186 ± 7 ^a	189 ± 8	190 ± 9
105%PC	187 ± 9 ^a	190 ± 9	191 ± 10

Cad_{pref-25%} = cadência 25% menor que a cadência preferida; Cad_{pref} = cadência preferida; Cad_{pref+25%} = cadência 25% maior que a cadência preferida; PC = potência crítica; 105%PC = 105% da potência crítica; ^a p<0,05 comparado a Cad_{pref} e Cad_{pref+25%};

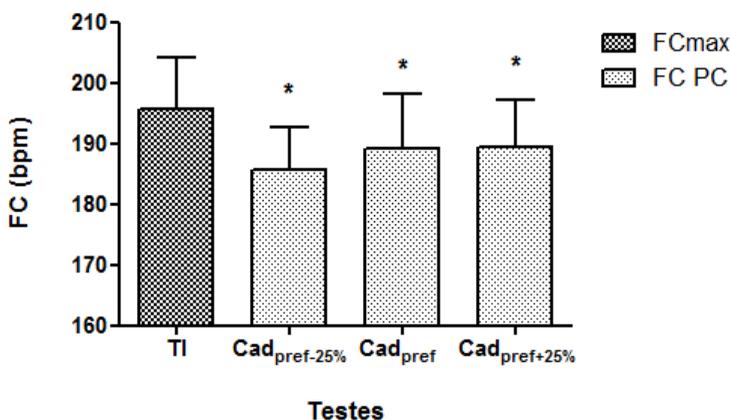


Figura 9 – Comparação da FCmax (bpm) obtida no teste incremental (TI) com a FC no exercício realizado até a exaustão na PC nas cadências Cad_{pref-25%}, Cad_{pref} e Cad_{pref+25%}; * p<0,05 comparado a FCmax.

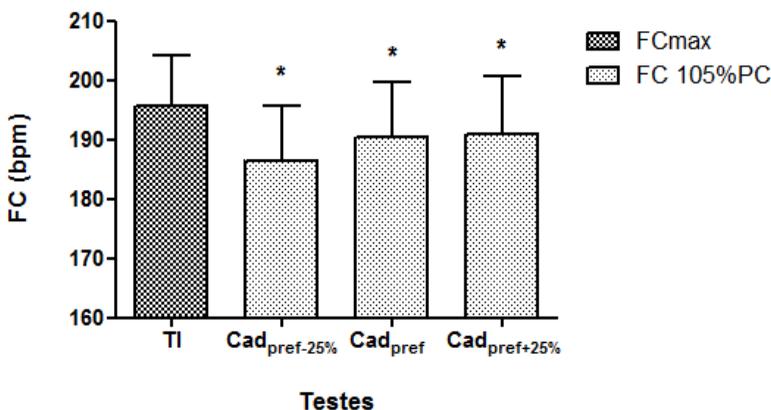


Figura 10 – Comparação da FCmax (bpm) obtida no teste incremental (TI) com a FC no exercício realizado até a exaustão a 105%PC nas cadências Cad_{pref-25%}, Cad_{pref} e Cad_{pref+25%}; * p<0,05 comparado a FCmax.

A resposta da VE no exercício realizado até a exaustão na PC e a 105%PC nas diferentes cadências de pedalada está apresentada na tabela 7. A VE diferiu significativamente ($p<0,05$) entre todas as cadências (Cad_{pref-25%}, Cad_{pref} e Cad_{pref+25%}) dentro da mesma intensidade de exercício (PC e 105%PC). Contudo, quando foi analisado o efeito da intensidade (PC vs. 105%PC) e considerado a mesma cadência, foram observadas diferenças significantes ($p<0,05$) nos valores de VE para a

$Cad_{pref-25\%}$ e Cad_{pref} . Ao comparar a VE_{max} determinada no teste incremental (tabela 1) com os valores de VE apresentados na tabela 7, foi verificado que não houve diferença significativa entre estas variáveis na PC e em 105%PC utilizando a $Cad_{pref+25\%}$, sendo que em relação às outras cadências, a VE_{max} foi maior ($p < 0,05$) que a VE encontrada (figuras 11 e 12).

Tabela 7 – Valores médios \pm DP da VE ($L \cdot min^{-1}$) no exercício realizado até a exaustão na PC e a 105% da PC nas diferentes cadências ($Cad_{pref-25\%}$, Cad_{pref} e $Cad_{pref+25\%}$).

Intensidade	$Cad_{pref-25\%}$	Cad_{pref}	$Cad_{pref+25\%}$
PC	$135,4 \pm 23,1^a$	$143,9 \pm 21,9^b$	$164,8 \pm 21,9$
105%PC	$144,8 \pm 20,3^{a*}$	$154,9 \pm 25,7^{b*}$	$167,6 \pm 22,7$

$Cad_{pref-25\%}$ = cadência 25% menor que a cadência preferida; Cad_{pref} = cadência preferida; $Cad_{pref+25\%}$ = cadência 25% maior que a cadência preferida; PC = potência crítica; 105%PC = 105% da potência crítica; ^a $p < 0,05$ comparado a Cad_{pref} e $Cad_{pref+25\%}$; ^b $p < 0,05$ comparado a $Cad_{pref+25\%}$; * $p < 0,05$ comparado a PC.

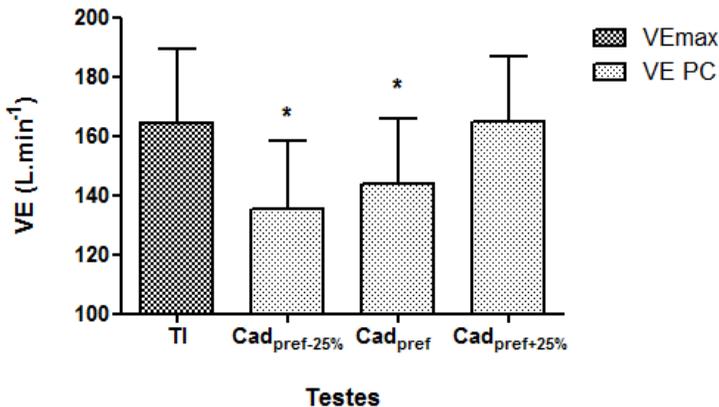


Figura 11 – Comparação da VE_{max} ($L \cdot min^{-1}$) obtida no teste incremental (TI) com a VE no exercício realizado até a exaustão na PC nas cadências $Cad_{pref-25\%}$, Cad_{pref} e $Cad_{pref+25\%}$; * $p < 0,05$ comparado a VE_{max} .

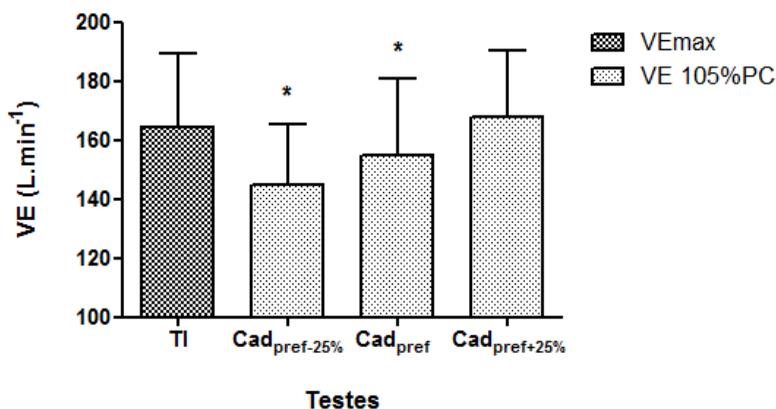


Figura 12 – Comparação da VEmax (L.min⁻¹) obtida no teste incremental (TI) com a VE no exercício realizado até a exaustão a 105%PC nas cadências Cad_{pref-25%}, Cad_{pref} e Cad_{pref+25%}; * p<0,05 comparado a VEmax.

A tabela 8 apresenta a resposta do [Lac] no exercício realizado até a exaustão na PC e a 105%PC nas diferentes cadências de pedalada. O [Lac] foi significativamente (p<0,05) diferente entre todas as cadências (Cad_{pref-25%}, Cad_{pref} e Cad_{pref+25%}) dentro da mesma intensidade de exercício (PC e 105%PC). Analisando o efeito da intensidade (PC vs. 105%PC) e considerando a mesma cadência, foram encontradas diferenças significativas (p<0,05) nos valores de [Lac] para a Cad_{pref-25%} e Cad_{pref}.

Tabela 8 – Valores médios ± DP do [Lac] (mmol.L⁻¹) no exercício realizado até a exaustão na PC e a 105%PC nas diferentes cadências (Cad_{pref-25%}, Cad_{pref} e Cad_{pref+25%}).

Intensidade	Cad _{pref-25%}	Cad _{pref}	Cad _{pref+25%}
PC	7,5 ± 2,3 ^a	9,6 ± 2,1 ^b	11,8 ± 2,0
105%PC	9,3 ± 2,5 ^{a*}	10,5 ± 2,5 ^{b*}	12,3 ± 1,6

Cad_{pref-25%} = cadência 25% menor que a cadência preferida; Cad_{pref} = cadência preferida; Cad_{pref+25%} = cadência 25% maior que a cadência preferida; PC = potência crítica; 105%PC = 105% da potência crítica; ^a p<0,05 comparado a Cad_{pref} e Cad_{pref+25%}; ^b p<0,05 comparado a Cad_{pref+25%}; * p<0,05 comparado a PC.

O Δ[Lac], determinado como a diferença entre o [Lac] do 5° min e o [Lac] do momento da exaustão, está apresentado na tabela 9. Conforme observado dentro da mesma intensidade de exercício (PC e 105%PC), o Δ[Lac] diferiu significativamente (p<0,05) na PC entre a

$Cad_{pref-25\%}$ e a Cad_{pref} . Entretanto, quando o efeito da intensidade (PC vs. 105%PC) no $\Delta[Lac]$ foi analisado, sendo considerado a mesma cadência, não foram encontradas diferenças significativas.

Tabela 9 – Valores médios \pm DP do $\Delta[Lac]$ ($mmol.L^{-1}$) no exercício realizado até a exaustão na PC e a 105%PC nas diferentes cadências ($Cad_{pref-25\%}$, Cad_{pref} e $Cad_{pref+25\%}$).

Intensidade	$Cad_{pref-25\%}$	Cad_{pref}	$Cad_{pref+25\%}$
PC	$2,3 \pm 1,3^a$	$3,7 \pm 1,4$	$3,1 \pm 1,4$
105%PC	$3,0 \pm 1,1$	$3,3 \pm 1,5$	$2,9 \pm 1,5$

$Cad_{pref-25\%}$ = cadência 25% menor que a cadência preferida; Cad_{pref} = cadência preferida; $Cad_{pref+25\%}$ = cadência 25% maior que a cadência preferida; PC = potência crítica; 105%PC = 105% da potência crítica; ^a $p < 0,05$ comparado a Cad_{pref} .

O CL da cinética do VO_2 , determinado como a diferença entre o VO_2 do 3° min e o VO_2 do momento da exaustão, está apresentado na tabela 10. Conforme observado, ao analisar o efeito da cadência ($Cad_{pref-25\%}$, Cad_{pref} e $Cad_{pref+25\%}$) considerando a mesma intensidade, existiu diferença ($p < 0,05$) somente na PC, com o CL na $Cad_{pref-25\%}$ sendo menor que o CL na Cad_{pref} . Contudo, quando o efeito da intensidade (PC vs. 105%PC) no CL foi analisado, sendo considerado a mesma cadência, não foram encontradas diferenças significativas.

Tabela 10 – Valores médios \pm DP do CL ($mL.min^{-1}$) no exercício realizado até a exaustão na PC e a 105%PC nas diferentes cadências ($Cad_{pref-25\%}$, Cad_{pref} e $Cad_{pref+25\%}$).

Intensidade	$Cad_{pref-25\%}$	Cad_{pref}	$Cad_{pref+25\%}$
PC	158 ± 83^a	240 ± 82	214 ± 73
105%PC	226 ± 96	216 ± 103	197 ± 89

$Cad_{pref-25\%}$ = cadência 25% menor que a cadência preferida; Cad_{pref} = cadência preferida; $Cad_{pref+25\%}$ = cadência 25% maior que a cadência preferida; PC = potência crítica; 105%PC = 105% da potência crítica; ^a $p < 0,05$ comparado a Cad_{pref} .

O tlim no exercício realizado na PC e a 105%PC nas diferentes cadências de pedalada está apresentado na tabela 11. Verificando o efeito da cadência, considerando a mesma intensidade (PC e 105%PC), foi encontrado que o tlim no exercício realizado na $Cad_{pref+25\%}$ foi significativamente ($p < 0,05$) menor que na Cad_{pref} e na $Cad_{pref-25\%}$. Ao analisar o efeito da intensidade (PC vs. 105%PC) no tlim, foram encontradas diferenças significativas ($p < 0,05$) para todas as cadências.

Tabela 11 – Valores médios \pm DP do tlim (min) no exercício realizado até a exaustão na PC e a 105%PC nas diferentes cadências (Cad_{pref-25%}, Cad_{pref} e Cad_{pref+25%}).

Intensidade	Cad _{pref-25%}	Cad _{pref}	Cad _{pref+25%}
PC	24,2 \pm 13,1	22,8 \pm 7,2	11,5 \pm 6,2 ^a
105%PC	15,4 \pm 12,5*	13,9 \pm 6,0*	8,4 \pm 3,4 ^{a*}

Cad_{pref-25%} = cadência 25% menor que a cadência preferida; Cad_{pref} = cadência preferida; Cad_{pref+25%} = cadência 25% maior que a cadência preferida; PC = potência crítica; 105%PC = 105% da potência crítica; ^a p<0,05 comparado a Cad_{pref-25%} e Cad_{pref}; * p<0,05 comparado a PC.

Na tabela 12 estão apresentadas as correlações significantes (p<0,05) encontradas entre as variáveis fisiológicas e o tlim no exercício realizado até a exaustão na PC nas diferentes cadências (Cad_{pref-25%}, Cad_{pref} e Cad_{pref+25%}).

Tabela 12 – Coeficientes de correlação (r) entre as variáveis fisiológicas e o tlim (min) no exercício realizado até a exaustão na PC nas diferentes cadências (Cad_{pref-25%}, Cad_{pref} e Cad_{pref+25%}).

	Cad _{pref-25%}	Cad _{pref}	Cad _{pref+25%}
VO ₂ max	-0,72	NS	NS
IVO ₂ max	NS	NS	NS
LAn	NS	NS	NS
PC	NS	NS	NS
VO ₂	-0,69	NS	NS
[Lac]	-0,56	-0,80	-0,71
Δ [Lac]	NS	-0,74	NS
CL	NS	NS	NS

Cad_{pref-25%} = cadência 25% menor que a cadência preferida; Cad_{pref} = cadência preferida; Cad_{pref+25%} = cadência 25% maior que a cadência preferida; VO₂max = consumo máximo de oxigênio; IVO₂max = intensidade correspondente ao consumo máximo de oxigênio; LAn = intensidade correspondente ao limiar anaeróbico; PC = potência crítica; VO₂ = consumo de oxigênio correspondente à exaustão; [Lac] = concentração de lactato sanguíneo correspondente à exaustão; Δ [Lac] = *delta* de [Lac] calculado a partir da diferença entre os valores de [Lac] do 5° min e do momento da exaustão; CL = componente lento da cinética de VO₂; NS = não significativo.

Do mesmo modo, na tabela 13 estão apresentadas as correlações significantes (p<0,05) encontradas entre as variáveis fisiológicas e o

tlim no exercício realizado até a exaustão a 105%PC nas diferentes cadências ($Cad_{pref-25\%}$, Cad_{pref} e $Cad_{pref+25\%}$).

Tabela 13 – Coeficientes de correlação (r) entre as variáveis fisiológicas e o tlim (min) no exercício realizado até a exaustão a 105%PC nas diferentes cadências ($Cad_{pref-25\%}$, Cad_{pref} e $Cad_{pref+25\%}$).

	$Cad_{pref-25\%}$	Cad_{pref}	$Cad_{pref+25\%}$
VO_2max	-0,77	-0,63	-0,64
IVO_2max	NS	NS	NS
LAn	NS	NS	NS
PC	NS	NS	NS
VO_2	-0,76	-0,62	NS
[Lac]	-0,61	NS	-0,64
$\Delta[Lac]$	NS	NS	NS
CL	NS	NS	NS

$Cad_{pref-25\%}$ = cadência 25% menor que a cadência preferida; Cad_{pref} = cadência preferida; $Cad_{pref+25\%}$ = cadência 25% maior que a cadência preferida; VO_2max = consumo máximo de oxigênio; IVO_2max = intensidade correspondente ao consumo máximo de oxigênio; LAn = intensidade correspondente ao limiar anaeróbio; PC = potência crítica; VO_2 = consumo de oxigênio correspondente à exaustão; [Lac] = concentração de lactato sanguíneo correspondente à exaustão; $\Delta[Lac]$ = *delta* de [Lac] calculado a partir da diferença entre os valores de [Lac] do 5° min e do momento da exaustão; CL = componente lento da cinética de VO_2 ; NS = não significativo.

5. DISCUSSÃO

5.1 Efeitos da cadência de pedalada nas respostas fisiológicas na PC e 105%PC

A principal descoberta deste estudo foi que em ciclistas treinados a cadência de pedalada influencia nas respostas fisiológicas e no tlim do exercício realizado até a exaustão na PC e em 105%PC. Com relação ao VO_2 , além da presença do CL (tabela 10), foi verificado que independente da intensidade existiu um efeito significativo ($p < 0,05$) da cadência nesta variável (tabela 5), sendo observado um aumento do VO_2 em função da elevação da cadência. Isto corrobora muitos trabalhos que têm demonstrado que VO_2 aumenta, seja de forma curvilínea (GOTSHALL et al., 1996; MARSH; MARTIN, 1997; CHAVARREN; CALBET, 1999; HANSEN et al., 2002; FOSS; HALLÉN, 2004; HANSEN; SJØGAARD, 2007) ou de forma parabólica (HAGBERG et al., 1981; BÖNING et al., 1984; COAST; WELCH, 1985; COAST et al., 1986; TAKAISHI et al., 1998; FOSS; HALLÉN, 2005), quando ocorrem aumentos da cadência de pedalada para uma mesma intensidade de exercício.

Além disso, como destacado comumente pela literatura (TAKAISHI et al., 1994; TAKAISHI et al., 1996; TAKAISHI et al., 1998; BRISSWALTER et al., 2000; NIELSEN et al., 2004; FOSS; HALLÉN, 2004; ARGENTIN et al., 2006; HANSEN et al., 2006), e confirmado na presente investigação, a Cad_{pref} não é a cadência de melhor EB. Entretanto, a Cad_{pref} (tabela 4) dos ciclistas deste estudo foi similar à cadência selecionada por ciclistas durante testes de laboratório e provas de estrada (entre 90 e 100 rpm) (PADILLA et al., 1999; MARSH et al., 2000; LUCIA et al., 2001; LEPERS et al., 2001; NESI et al., 2005).

Por outro lado, os resultados encontrados comprovam também outros estudos que verificaram que em cadências altas, normalmente acima da Cad_{pref} , o VO_2 é maior quando comparado com as cadências inferiores, independente da intensidade testada (HAGBERG et al., 1981; COAST; WELCH, 1985; COAST et al., 1986; HINTZY et al., 1999; CHAVARREN; CALBET, 1999; HANSEN et al., 2002; FOSS; HALLÉN, 2004; HANSEN; SJØGAARD, 2007). Interessantemente, o efeito da cadência no VO_2 foi reduzido a 105%PC em comparação ao efeito na PC, visto que a diferença no VO_2 entre a $Cad_{pref-25\%}$ e a $Cad_{pref+25\%}$ foi de 4 e 8%, respectivamente. Com isso, parece que próximo da IVO_2max e do VO_2max , o grau de influência da cadência de

pedalada no VO_2 é reduzido. Isto confirma os resultados de Chavarren e Calbet (1999), que verificaram que o efeito da cadência na EB é reduzido com o aumento da intensidade de exercício.

Esta resposta do VO_2 observada mediante a utilização de diferentes cadências nas duas intensidades analisadas (PC e 105%PC) pode ser, de modo geral, explicada por mudanças ocorridas na produção de força e na velocidade de contração muscular (ANSLEY; CANGLEY, 2009). Estas mudanças alteram o número, o tipo e a eficiência das unidades motoras recrutadas (AHLQUIST et al., 1992; HUG et al., 2004; HANSEN; SJØGAARD, 2007), além de alterarem também a frequência e a duração das contrações musculares (FERGUSON et al., 2001). Com isso, os parâmetros metabólicos e fisiológicos respondem diretamente a estas alterações, especialmente a demanda de O_2 (BONING et al., 1984; COAST; WELCH, 1985; CHAVARREN; CALBET, 1999; HANSEN et al., 2002; FOSS; HALLÉN, 2004; HANSEN; SJØGAARD, 2007) e a hemodinâmica muscular (GOTSHALL et al., 1996; FERGUSON et al., 2001; SJØGAARD et al., 2002).

Segundo Kohler e Boutellier (2005), quando a cadência de pedalada é aumentada, resultando em um aumento da velocidade de contração muscular, a quantidade de força produzida em cada contração é diminuída, e o contrário ocorre quando a cadência diminui, visto que a relação força vs. velocidade é inversamente integrada. Isso é confirmado pelos resultados encontrados por Bieuzen et al. (2007), os quais verificaram uma diminuição no torque máximo aplicado no ciclo de pedalada com o aumento da cadência para uma mesma intensidade de exercício. Em estudos realizados *in vitro* com músculos humanos e músculos de animais, tem sido observado que o consumo energético aumenta proporcionalmente com aumentos na velocidade de contração (Di PRAMPERO et al., 1988; BARCLAY et al., 1994; BARCLAY et al., 1996; REGGIANI et al., 1997; SWOAP et al., 1997; WOLEDGE, 1998; BOTTINELLI et al., 1999; HE et al., 2000; HAMANN et al., 2005).

Ferguson et al. (2001) e Hamann et al. (2005) afirmam que a dinâmica energética de uma contração é refletida pelo somatório de atividades enzimáticas que ocorrem no músculo, incluindo as ATPases iônicas e miofibrilares. Do total de ATP utilizado durante a contração, uma parte significativa (20-50%) é destinada ao transporte de íons que são responsáveis pelos mecanismos de ativação e relaxamento da fibra muscular, independente da quantidade necessária para o seu trabalho contrátil (CROW; KUSHMERICK, 1982). Dessa forma, o número de

contrações realizadas em um dado tempo e a duração de cada contração influenciam no metabolismo muscular, alterando principalmente a quantidade de energia requerida para o processo de ativação (FERGUSON et al., 2001; HAMANN et al., 2005). Nesse sentido, pode-se especular que a elevação da cadência (aumento do número de contrações) requer uma quantidade maior de ATP, e conseqüentemente de O₂, para o desenvolvimento dos processos de ativação e relaxamento da fibra muscular.

Adicionalmente, o custo energético de contrações musculares é consideravelmente maior em fibras tipo II que em fibras tipo I (STEINEN et al., 1996; HAN et al., 2001; HAN et al., 2003). Isto pode explicar de forma mais específica o maior VO₂ encontrado nas cadências mais altas, visto que o recrutamento de fibras musculares tipo II é aumentado com a elevação da cadência de pedalada para uma mesma intensidade de esforço (MACINTOSH et al., 2000; PRINGLE et al., 2003b; NESI et al., 2004; VERCRUYSSSEN et al., 2009; HIRAI et al., 2010).

Em adição aos efeitos da cadência no gasto energético, os quais são ocasionados principalmente por aspectos que determinam a velocidade da contração muscular, quando a intensidade de exercício é aumentada, a quantidade de força requerida também aumenta, o que influencia diretamente na proporção e nos tipos de fibras recrutadas e, dessa forma, na resposta do VO₂ (GOLLNICK et al., 1974; CHAVARREN; CALBET, 1999; ÖZYENER et al., 2001; HANSEN et al., 2002; HANSEN; SJØGAARD, 2007; PRINGLE et al., 2003a; ANSLEY; CANGLEY, 2009).

De acordo com a definição convencional, no exercício realizado no domínio pesado, o qual tem como limite superior a PC (POOLE et al., 1988; POOLE et al., 1990; HILL et al., 2002; HILL et al., 2003; VANHATALO et al., 2007; FRANCIS et al., 2010; JONES et al., 2010), o VO₂ final é maior que o predito pela relação VO₂ vs. intensidade, porém o VO₂max ainda não é atingido (GAESSER; POOLE, 1996; XU; RHODES, 1999; HILL et al., 2002; JONES et al., 2010). Isto foi confirmado no presente estudo durante o exercício realizado na PC utilizando as Cad_{pref-25%} e Cad_{pref}, visto que os valores de VO₂ encontrados na exaustão foram respectivamente 92 e 95% VO₂max (figura 7). Outros estudos, realizados tanto no cicloergômetro (BRICKLEY et al., 2002; CARTER et al., 2005; CARITÁ et al., 2009), como na corrida em esteira (BULL et al., 2008) e na natação (DEKERLE et al., 2010) também confirmam estes achados, sendo que no exercício realizado na PC e na VC o VO₂ alcançou frações

entre 90 e 97% VO_2max no momento da exaustão. Contudo, conforme o esperado, no exercício realizado até a exaustão na PC utilizando a $\text{Cad}_{\text{pref}+25\%}$ o VO_2 final não diferiu do VO_2max (figura 7). Entretanto, embora observado o maior VO_2 nesta cadência em relação às outras, o fato do VO_2max ter sido atingido não pode ser explicado especialmente pelo efeito do CL como hipotetizado, visto que esta variável na $\text{Cad}_{\text{pref}+25\%}$ não apresentou diferença das outras cadências (tabela 10).

Ao contrário de indivíduos não treinados ou com um nível de treinamento aeróbio moderado, ciclistas bem treinados apresentam características fisiológicas superiores a estes (CAPUTO; DENADAI, 2004; CAPUTO; DENADAI, 2008; LUCIA et al., 2001a; LUCIA et al., 2001b; LUCIA et al., 2002; LUCIA et al., 2004), o que pode explicar os altos níveis de performance e as mais altas frações da IVO_2max e VO_2max em que suas variáveis fisiológicas são encontradas. Este princípio pode ser aplicado a PC, a qual responde significativamente ao treinamento de característica aeróbia aumentando seus valores absolutos e relativos (GAESSER; WILSON, 1988; POOLE et al., 1990; JENKINS; QUIGLEY, 1992; JENKINS; QUIGLEY, 1993; VANHATALO et al., 2008).

Dessa forma, partindo do pressuposto que em ciclistas treinados a PC encontra-se em um alto percentual da IVO_2max e do VO_2max , que o recrutamento de fibras musculares tipo II e a potência interna aumentam com o aumento da cadência para uma mesma intensidade de esforço (MACINTOSH et al., 2000; FERGUSON et al., 2001; HANSEN et al., 2002; McDANIEL et al., 2002; PRINGLE et al., 2003b; HANSEN; SJØGAARD, 2007; VERCRUYSSSEN et al., 2009; HIRAI et al., 2010), e que em intensidades acima do LL e abaixo da IVO_2max existe a presença de um CL na cinética do VO_2 (GAESSER; POOLE, 1996), pode-se especular que estes fatores explicam o atingimento do VO_2max ao final do exercício realizado até a exaustão na PC utilizando a $\text{Cad}_{\text{pref}+25\%}$. Estes achados também podem ser explicados pela maior extração de O_2 e pelo maior fluxo sanguíneo que ocorrem em função do aumento da frequência de contração muscular (SHERIFF et al., 1993; GOTSHAL et al., 1996; SJØGAARD et al., 2002; HOGAN et al., 2003; HAMANN et al., 2005).

Por outro lado, para o exercício conduzido até a exaustão no domínio severo, acima da PC, tem sido demonstrado que o VO_2 aumenta progressivamente em direção ao VO_2max (GAESSER; POOLE, 1996; HILL et al., 2002; CAPUTO; DENADAI, 2008; GRECO et al., 2008; JONES et al., 2010). Isto foi verificado durante o exercício realizado a 105%PC nas Cad_{pref} e $\text{Cad}_{\text{pref}+25\%}$, com o VO_2 no

momento da exaustão não diferindo do VO_2max (figura 8). De modo similar, estudos conduzidos no cicloergômetro (BURNLEY et al., 2006; HILL et al., 2002; POOLE et al., 1988; POOLE et al., 1990) e na natação (DEKERLE et al., 2010) também confirmam estes resultados, visto que no exercício realizado até a exaustão em 5-10% acima da PC ou VC o VO_2max foi atingido. Entretanto, refutando uma das hipóteses do presente estudo, no exercício realizado em 105%PC utilizando a $\text{Cad}_{\text{pref-25\%}}$ o VO_2 surpreendentemente não atingiu o VO_2max no momento da exaustão (~97% do VO_2max) (figura 8). Dessa forma, parece que o atingimento do VO_2max no exercício realizado até a exaustão no domínio severo é dependente da cadência de pedalada e conseqüentemente da potência metabólica produzida.

Embora o efeito das diferentes cadências de pedalada nas respostas hemodinâmicas não tenha sido o objetivo do presente estudo, pode-se afirmar que com a elevação da cadência ocorre também um efeito maior da “bomba muscular” que determina aumentos no fluxo sanguíneo e no retorno venoso dos membros inferiores (LAUGHLIN, 1987). O estudo de Gotshall et al. (1996), realizado no ciclismo, e o estudos de Ferguson et al. (2001) e Sjøgaard et al. (2002) realizados com o exercício de extensão do joelho confirmam essa afirmação, visto que em ambos foi verificado aumentos do fluxo sanguíneo e do retorno venoso muscular em altas cadências e freqüências de contração, respectivamente. Corroborando estes resultados, estudos com fibras musculares de animais demonstraram que altas freqüências de contração aumentam a condutância vascular e o retorno venoso (SHERIFF et al., 1993; HOGAN et al., 2003). Sendo assim, a cadência de pedalada utilizada pelo ciclista determina a dinâmica do fluxo sanguíneo nos músculos em exercício.

Isto é particularmente importante, visto que qualquer alteração do fluxo sanguíneo interfere diretamente na oferta, e conseqüentemente, no VO_2 dos membros inferiores. Mecanismos como a bomba muscular (fenômeno mais evidente em altas cadências) e a pressão intramuscular (fenômeno mais evidente em baixas cadências) têm usualmente sido propostos para explicar mudanças no fluxo sanguíneo com alterações realizadas na cadência (ANSLEY; CANGLEY, 2009). Com isso, baseado nestes e naqueles pressupostos apresentados anteriormente, é muito provável que estas sejam as principais explicações para o VO_2max não ter sido atingido no exercício realizado até a exaustão a 105%PC utilizando a $\text{Cad}_{\text{pref-25\%}}$, visto que, além de uma potência interna menor que as outras cadências testadas (HANSEN et al., 2002; McDANIEL et al., 2002; HANSEN; SJØGAARD, 2007), existiu

possivelmente um maior efeito da pressão intramuscular no fluxo sanguíneo e conseqüentemente no VO_2 .

Embora de maneira diferente do VO_2 , a FC também foi influenciada pela cadência nas duas intensidades analisadas (tabela 6). Independente da intensidade foi verificado que a FC no exercício realizado com a $Cad_{pref-25\%}$ foi significativamente ($p < 0,05$) menor que utilizando a Cad_{pref} e a $Cad_{pref+25\%}$, porém não diferindo entre estas duas últimas. A literatura apresenta resultados extremamente contraditórios com relação à influência da cadência na resposta da FC (LOLLGEN et al., 1980; COAST et al., 1986; CHAVARREN; CALBET, 1999; BRISSWALTER et al., 2000; LEPERS et al., 2001; LUCIA et al., 2004; FOSS; HALLÉN, 2004; FOSS; HALLÉN, 2005; ARGENTIN et al., 2006). Estas contradições provavelmente podem ser explicadas pelas diferenças entre os estudos nas cadências (ex: diferentes amplitudes de cadências) e intensidades testadas (ex: diferentes domínios fisiológicos), no design experimental e no estado de treinamento aeróbio (ex: sedentários vs. atletas), experiência (ex: atletas amadores vs. atletas profissionais) e especificidade dos indivíduos avaliados (ex: triatletas vs. ciclistas).

Por exemplo, Hagberg et al. (1981) reportaram um aumento linear na FC quando a cadência aumentou de 68 a 126 rpm em $80\%VO_{2max}$, enquanto outros estudos (LOLLGEN et al., 1980; GOTSHALL et al., 1996; CHAVARREN; CALBET, 1999) têm reportado aumentos curvilíneos na FC quando a cadência foi elevada de 60 para 110 rpm em $\sim 70\%VO_{2max}$. Diferentemente, Coast et al. (1986) apresentaram uma curva parabólica da FC quando a cadência foi aumentada de 40 para 120 rpm em $85\%VO_{2max}$, a qual foi similar à resposta do VO_2 observada com o aumento da cadência. Inversamente, Lucia et al. (2004), avaliando ciclistas altamente treinados, observaram um decréscimo da FC em função da alteração da cadência de 60 para 100 rpm em $75\%IVO_{2max}$. De modo mais conflitante ainda, alguns estudos não apresentaram diferenças significativas na resposta da FC quando a cadência foi aumentada de 50 para 110 rpm em 65 e $80\%IVO_{2max}$ (BRISSWALTER et al., 2000; LEPERS et al., 2001; ARGENTIN et al., 2006).

Em um primeiro momento, devido a forte relação entre FC e VO_2 (KENNY et al., 1995; McCRORY et al., 1997), seria razoável assumir que alterações no estresse metabólico induzida por mudanças na cadência manifestariam uma concomitante mudança na FC. No entanto, a resposta da FC para mudanças na cadência em uma intensidade de exercício constante é menos consistente que a resposta do VO_2

(ANSLEY; CANGLEY, 2009). Isto pode ser constatado neste estudo, visto que, embora a FC foi influenciada pela cadência nas duas intensidades analisadas, esta variável respondeu diferente do VO_2 . Um dos poucos estudos que consideraram essa questão, Gotshall et al. (1996) sugeriram que a diferença nas respostas pode ser atribuída aos distintos reguladores aferentes e eferentes que controlam as duas variáveis.

Diferente do VO_2 , a FC é em parte mediada pelo *feedback* de receptores mecânicos nos músculos em exercício que por sua vez alteram a combinação entre a retirada parassimpática e a ativação simpática elevando a FC de maneira relativa ao aumento da atividade motora (ANSLEY; CANGLEY, 2009). Sendo assim, parece que a FC é regulada por sistemas que respondem de maneira diferente às alterações na cadência em comparação ao VO_2 e pode explicar a dissociação entre estas duas variáveis. Esta também pode ser uma explicação que parcialmente justifica a ausência de diferenças significativas na resposta da FC para a mesma cadência de pedalada entre as intensidades PC e 105%PC.

Além disso, nos exercícios de maior duração, conforme observado na PC, ocorre uma maior atuação do *drift* cardiovascular (COYLE; GONZALEZ-ALONSO, 2001; ACHTEN; JEUKENDRUP, 2003), o qual influencia diretamente na regulação da FC. Outra consideração importante que pode contribuir para não ocorrência de diferenças significativas entre os valores de FC correspondentes a PC e 105%PC é que estes se encontram muito provavelmente acima do ponto de deflexão da FC, o que normalmente diminui a amplitude da diferença de batimentos cardíacos entre as duas intensidades.

A VE também apresentou alteração significativa ($p < 0,05$) em função do aumento da cadência de pedalada (tabela 7). Isto está de acordo com muitos estudos que têm mostrado que a VE responde na mesma proporção que o VO_2 à elevação da cadência (LOLLGEN et al., 1980; HAGBERG et al., 1981; CHAVARREN; CALBET, 1999; BRISSWALTER et al., 2000; LEPERS et al., 2001; FOSS; HALLÉN, 2004; NIELSEN et al., 2004; FOSS; HALLÉN, 2005). Segundo Chavarren e Calbet (1999), a razão pela qual a VE aumenta com o incremento da cadência pode ser explicada por dois mecanismos.

Primeiro, conforme observado nas duas intensidades estudadas, o [Lac] aumentou de maneira significativa ($p < 0,05$) com a elevação da cadência (tabela 8), apresentando valores que são superiores aos de MFEL no ciclismo (BENEKE; VON DUVILLARD, 1996). Dessa forma, mesmo com o sistema aeróbio predominando em ambas as

intensidades, existe uma contribuição relativa da glicólise anaeróbia, que aparentemente aumenta com a elevação da cadência. Esta maior participação glicolítica proporciona um concomitante aumento da produção de CO_2 , o qual é resultante do tamponamento do [Lac] (WASSERMAN, 1987). Conseqüentemente, a liberação adicional de CO_2 para a circulação sanguínea simultaneamente estimula o comando central da VE. Esta explicação é suportada pelo aumento significativo normalmente observado no equivalente ventilatório de CO_2 em intensidades acima do LV2 (WASSERMAN, 1987). O segundo mecanismo que provavelmente explica o comportamento da VE baseia-se na relação entre esta variável e o VO_2 , sendo que quando a demanda de O_2 aumenta, estímulos de origem periférica e central mediam uma resposta similar da VE (TAKANO, 1988).

Além das variáveis cardiorespiratórias, o [Lac] na PC e em 105%PC também aumentou com a elevação da cadência. Isto é suportado por estudos que examinaram uma faixa de cadências similar ao presente estudo e que observaram um aumento do [Lac] em função das alterações na cadência, semelhante à resposta do VO_2 . (HAGBERG et al., 1981; BÖNING et al., 1984; BUCHANAN; WELTMAN, 1985; COAST; WELCH, 1985; COAST et al., 1986; CHAVARREN; CALBET, 1999; BRISSWALTER et al., 2000; FOSS; HALLÉN, 2004; NIELSEN et al., 2004). De fato, nesses experimentos as cadências que apresentaram os menores níveis de [Lac] foram encontradas entre 60 e 80 rpm em diferentes combinações de intensidades. Além disso, os níveis de [Lac] encontrados no presente estudo foram semelhantes aos apresentados por Nielsen et al. (2004), que verificaram no exercício realizado até a exaustão em 90% VO_2max nas cadências $\text{Cad}_{\text{pref}-25\%}$, Cad_{pref} e $\text{Cad}_{\text{pref}+25\%}$ valores de [Lac] de 10,9, 11,2 e 11,9 mmol.L^{-1} , respectivamente.

Estes achados podem ser explicados muito provavelmente pelo aumento do recrutamento das fibras musculares tipo II em função da elevação da cadência para uma mesma intensidade de exercício (MACINTOSH et al., 2000; PRINGLE et al., 2003b; LUCIA et al., 2004; NESI et al., 2004; VERCRUYSSSEN et al., 2009; HIRAI et al., 2010). Adicionalmente, existe uma maior expressão de proteínas de transporte MCT4 nas fibras tipo II, as quais são mais especializadas no transporte do [lac] para o meio extracelular (WILSON et al., 1998; JUEL; HALESTRAP, 1999; JUEL, 2001), o que também pode explicar a maior [Lac] observada nas mais altas cadências.

Por outro lado, tem sido demonstrado que durante o exercício realizado tanto na PC (BRICKLEY et al., 2002; CARTER et al., 2005;

CARITÁ et al., 2009; DEKERLE et al., 2010) como logo acima da PC (BURNLEY et al., 2006; HILL et al., 2002; POOLE et al., 1988; POOLE et al., 1990), o [lac] não apresenta estabilidade ao longo do tempo. Isto é confirmado por dados recentes da literatura que têm destacado que a PC encontra-se acima da intensidade de exercício correspondente a MFEL (PRINGLE; JONES, 2002; BRICKLEY et al., 2002; DEKERLE et al. 2003; CARITÁ et al., 2009). Além disso, analisando os resultados do presente estudo (tabela 8), para todas as cadências foram encontradas [Lac] superiores as [Lac] de MFEL no ciclismo (BENEKE; VON DUVILLARD, 1996; BENEKE, 2003), as quais independem da cadência de pedalada (DENADAI et al., 2006).

Outro resultado interessante foi encontrado com relação ao CL observado em todos os protocolos de exercício (tabela 10). Isto já era esperado independente da utilização de diferentes cadências, visto que em intensidades acima do LL e abaixo da $IVO_2\text{max}$ existe a presença desse fenômeno (GAESSER; POOLE, 1996; XU; RHODES, 1999). Neste contexto, de modo semelhante ao presente estudo, tem sido observado um CL em exercícios realizados a 100-110%PC, entretanto com amplitudes bem variadas ($170\text{-}430\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$) (BRICKLEY et al., 2002; CARTER et al., 2005; ENDO et al., 2007; CARITÁ et al., 2009).

Várias hipóteses têm sido propostas para explicar este comportamento na cinética do VO_2 , incluindo os níveis de [Lac] e catecolaminas circulantes, aumento na temperatura periférica e central, aumentos no trabalho dos músculos cardíaco e respiratório e o recrutamento adicional de fibras musculares tipo II (ROSTON et al., 1987; POOLE et al., 1991; GAESSER et al., 1994; WHIPP, 1994). No entanto, tem sido destacado que alguns desses supostos mecanismos são apenas coincidentes e não causais (WOMACK et al., 1995; KOGA et al., 1997; KOPPO et al., 2002; KRUSTRUP et al., 2004a).

Inicialmente, a partir da correlação encontrada entre [Lac] e a magnitude do CL durante o exercício realizado acima do LL (ROSTON et al., 1987), especulou-se que o CL poderia estar associado ao catabolismo do lactato como substrato para o exercício ou para ser utilizado na gliconeogênese. Todavia, nem a infusão de lactato no músculo ativo em modelo animal (POOLE et al., 1994) e nem a infusão de epinefrina em humanos, a qual proporcionou um mais alto [Lac] (GAESSER et al., 1994), alterou a resposta do VO_2 nos domínios moderado e pesado, respectivamente. Além disso, a elevação da temperatura muscular (KOGA et al., 1997; KOPPO et al., 2002) também não proporcionou aumentos na amplitude do CL durante o exercício realizado no domínio pesado.

Poole et al. (1991) demonstraram que o VO_2 adicional relativo ao aumento progressivo do trabalho respiratório e cardíaco contribui não mais que 15% para o CL. Não obstante, mensurações da oxigenação muscular por meio de espectroscopia de infravermelho (BELARDINELLI et al., 1995), medidas diretas da saturação venosa de oxiemoglobina (STRINGER et al., 1994) e do VO_2 dos membros inferiores durante o exercício no domínio pesado (POOLE et al., 1991) apontam que a fonte primária do CL é localizada na musculatura ativa durante o exercício.

Neste contexto, estudos que utilizaram eletromiografia de superfície (SAUNDERS et al., 2000; SABAPATHY et al., 2005; GREEN et al., 2010), ressonância magnética (SAUNDERS et al., 2000; ROSSITER et al., 2002; ENDO et al., 2007) e biópsia muscular (CARTER et al., 2004; KRUSTRUP et al., 2004a; KRUSTRUP et al., 2004b; KRUSTRUP et al., 2008) têm apresentado evidências cada vez mais específicas sobre o fato do CL ser explicado pelo recrutamento progressivo de fibras musculares tipo II. Além disso, protocolos experimentais com manipulações do padrão de recrutamento motor por meio do exercício realizado em diferentes cadências no cicloergômetro também confirmam tal fenômeno (BARSTOW et al., 1996; PRINGLE et al., 2003b; NESI et al., 2004; MIGITA; HIRAKOBA, 2006; VERCRUYSSSEN et al., 2009; HIRAI et al., 2010).

Alguns resultados contraditórios têm sido encontrados com relação aos efeitos da utilização de diferentes cadências de pedalada sobre o CL. A maioria dos trabalhos tem apresentado efeitos significativos da cadência no CL, sendo as maiores amplitudes observadas nas mais altas cadências (PRINGLE et al., 2003b; NESI et al., 2004; MIGITA; HIRAKOBA, 2006; VERCRUYSSSEN et al., 2009; HIRAI et al., 2010). A principal explicação para tal fato baseia-se igualmente no conceito de que o recrutamento de fibras tipo II é aumentado com a elevação da cadência de pedalada para uma mesma intensidade de exercício, visto que este tipo de fibra possui uma cinética de VO_2 mais lenta e é menos eficiente que a fibra tipo I (PRINGLE et al., 2003b; NESI et al., 2004; MIGITA; HIRAKOBA, 2006; VERCRUYSSSEN et al., 2009; HIRAI et al., 2010). Entretanto, em alguns estudos (BARSTOW et al., 1996; DiMENNA et al., 2009a; DiMENNA et al., 2009b), assim como no presente estudo de modo geral, a cadência de pedalada não influenciou no CL.

Estas contradições encontradas na literatura referentes ao efeito da cadência no CL do exercício realizado nos domínios pesado e severo podem ser associadas com aspectos metodológicos. Primeiramente,

conforme destacado, os próprios domínios fisiológicos testados foram diferentes entre os estudos, existindo uma alternância entre os domínios pesado (BARSTOW et al., 1996; PRINGLE et al., 2003b; MIGITA; HIRAKOBA, 2006; VERCRUYSSSEN et al., 2009; HIRAI et al., 2010) e severo (NESI et al., 2004; DiMENNA et al., 2009a; DiMENNA et al., 2009b). Por outro lado, enquanto alguns autores utilizaram testes incrementais específicos em cada cadência para determinar a intensidade alvo (PRINGLE et al., 2003b; DiMENNA et al., 2009a; DiMENNA et al., 2009b; HIRAI et al., 2010), outros utilizaram apenas um simples teste incremental em uma única cadência de pedalada para tal finalidade (BARSTOW et al., 1996; NESI et al., 2004; MIGITA; HIRAKOBA, 2006; VERCRUYSSSEN et al., 2009).

Adicionalmente, apenas o presente estudo, Nesi et al. (2004) e Vercruyssen et al. (2009) têm avaliado ciclistas treinados, visto que nos outros a amostra testada foi de indivíduos não treinados (BARSTOW et al., 1996; PRINGLE et al., 2003b; MIGITA; HIRAKOBA, 2006; DiMENNA et al., 2009a; DiMENNA et al., 2009b; HIRAI et al., 2010). Nesse sentido, é consenso que em indivíduos treinados a cinética do VO_2 é mais rápida que em não treinados (CAPUTO; DENADAI, 2004; KOPPO et al., 2004; CAPUTO; DENADAI, 2008), o que de alguma maneira pode contribuir para os diferentes resultados encontrados entre os estudos.

Além disso, o atual trabalho juntamente com os trabalhos de Barstow et al. (1996) e Nesi et al. (2004) têm utilizado uma transição em cada cadência para cada uma das intensidades testadas, sendo que nos outros foram realizadas de duas a quatro transições para cada protocolo (PRINGLE et al., 2003b; MIGITA; HIRAKOBA, 2006; DiMENNA et al., 2009a; DiMENNA et al., 2009b; VERCRUYSSSEN et al., 2009; HIRAI et al., 2010). Todavia, comparado aos estudos que têm verificado a influência de diferentes cadências de pedalada no CL, o atual estudo e o estudo de Nesi et al. (2004) foram os únicos que conduziram todos os protocolos de exercício até a exaustão e os que exclusivamente determinaram o CL da forma mais simplificada conhecida na literatura (diferença entre o VO_2 do 2-3° min e o VO_2 do momento da exaustão). Todas estas questões somadas aos erros intrínsecos da determinação da cinética de VO_2 e à variabilidade biológica das respostas fisiológicas podem justificar a grande diversidade de resultados encontrados quando se tem analisado o efeito da cadência na amplitude do CL.

Do mesmo modo, semelhante ao efeito da cadência, quando o efeito da intensidade (PC vs. 105%PC) foi analisado não foram encontradas diferenças significantes entre os valores de CL. Isto é

contrário ao que normalmente vem sendo apresentado na literatura, a qual destaca um aumento da amplitude do CL quando a intensidade é aumentada (ÖZYENER et al., 2001; PRINGLE et al., 2003a; KOPPO et al., 2004; ENDO et al., 2007). Entretanto, não é conhecido até o momento nenhum estudo que utilizou especificamente a PC e alguma intensidade acima, porém abaixo da $IVO_2\text{max}$, para verificar o efeito da intensidade na amplitude do CL em indivíduos treinados.

Dessa forma, além das restrições metodológicas na análise da cinética de VO_2 , a variabilidade encontrada no CL pode ter contribuído para a ausência de diferenças significativas nessa variável entre as intensidades testadas (PC e 105%PC). Além disso, como em ciclistas treinados os indicadores fisiológicos de capacidade aeróbia (ex: PC) encontram-se em frações muito próximas dos indicadores de potência aeróbia (ex: $IVO_2\text{max}$ e $VO_2\text{max}$) e a cinética de VO_2 é mais rápida (CAPUTO; DENADAI, 2004; KOPPO et al., 2004; CAPUTO; DENADAI, 2008), a amplitude de desenvolvimento do CL pode ser restrita acima da PC.

5.2 Efeitos da cadência de pedalada no tlim na PC e 105%PC

No ciclismo competitivo, a melhor performance requer que os ciclistas tolerem um nível de intensidade de exercício acima do LV2 em diversos períodos da prova (LUCIA et al., 1999) e oscilem a cadência de pedalada dependendo do nível de altimetria dos percursos (LUCIA et al., 2001). Nesse sentido, este estudo verificou o efeito da variação de $\pm 25\%$ da Cad_{pref} no tlim para o exercício realizado na PC e em 105%PC em ciclistas treinados. Na PC ($\sim 85\%IVO_2\text{max}$) nas $Cad_{\text{pref}-25\%}$, Cad_{pref} e $Cad_{\text{pref}+25\%}$ o tlim médio foi de aproximadamente 24, 23 e 11,5 min, respectivamente (tabela 11). Billat et al. (1999b) têm reportado que em triatletas o tlim em uma intensidade média de $86\%IVO_2\text{max}$ foi 13,5 e 15 min na Cad_{pref} (83 ± 10 rpm) e 10% abaixo (74 ± 9 rpm), respectivamente. Por outro lado, Brickley et al. (2002) verificaram em ciclistas treinados um tlim de 29,5 min no exercício realizado na PC em uma cadência de 90 ± 5 rpm. Carter et al. (2005), testando o efeito de diferentes intensidades de exercício prévio no tlim na PC, observaram um tlim entre 16 e 18 min para os protocolos testados. Já o estudo de Caritá et al. (2009), realizado com ciclistas com características fisiológicas bem parecidas com os atletas deste estudo, encontrou um tlim de 23,5 min.

Para o exercício realizado a 105%PC ($\sim 89\%IVO_2\text{max}$) foi observado um tlim médio de aproximadamente 15,5, 14 e 8,5 min nas

$Cad_{pref-25\%}$, Cad_{pref} e $Cad_{pref+25\%}$, respectivamente (tabela 11). Billat et al. (1998) têm reportado um tlim de ~11 min para triatletas em uma intensidade de 90% VO_{2max} . Já Nielsen et al. (2004), reportaram que em indivíduos que utilizavam o ciclismo como um esporte recreacional o tlim em 90% VO_{2max} foi próximo de 9, 10 e 7,5 min para a $Cad_{pref-25\%}$ (59 ± 8 rpm), Cad_{pref} (78 ± 11 rpm) e $Cad_{pref+25\%}$ (98 ± 13 rpm), respectivamente. Em uma intensidade ligeiramente maior (~93% IVO_{2max}), Nesi et al. (2004) observaram que ciclistas treinados sustentaram aproximadamente 8 e 5 min no exercício realizado na Cad_{pref} (94 ± 4 rpm) e em uma cadência 15% acima (108 ± 5 rpm), respectivamente. Em uma intensidade ~6% (15 W) acima da PC, indivíduos moderadamente treinados entraram em exaustão em aproximadamente 13 min no estudo de Burnley et al. (2006).

Este menor tlim na $Cad_{pref+25\%}$ comparado às $Cad_{pref-25\%}$ e Cad_{pref} nas intensidades testadas (tabela 11) foi acompanhado por uma resposta geralmente mais acentuada do VO_2 e do [Lac] para esta cadência (tabelas 5 e 8). Entretanto, embora diferenças no VO_2 e no [Lac] entre as $Cad_{pref-25\%}$ e Cad_{pref} também ocorreram (tabelas 5 e 8), o tlim entre essas duas cadências não diferiu significativamente (tabela 11). Um dos mecanismos responsáveis pela fadiga precoce na $Cad_{pref+25\%}$ foi provavelmente associado com o maior gasto energético observado nesta cadência comparada às outras duas. Além disso, alguns estudos têm demonstrado que cadências normalmente acima da Cad_{pref} influenciam na relação potência vs. tlim (CARNEVALE; GAESSER, 1991; McNAUGHTON; THOMAS, 1996; HILL et al., 1995).

Um outro possível mecanismo que pode explicar este achado é de ordem biomecânica. De acordo com Neptune e Van den Bogert (1998), a elevação da cadência de pedalada proporciona um aumento do trabalho interno em virtude de uma maior dinâmica de ativação muscular e um maior controle de movimento dos membros inferiores. Com isso, mesmo em ciclistas treinados, para cadências acima 100 rpm, existe uma diminuição progressiva da coordenação muscular que é transferida para a coordenação motora e inevitavelmente conduz a uma fadiga precoce (NEPTUNE; HERZOG, 1999).

Por outro lado, uma provável explicação para que não tenha sido encontrada diferença significativa no tlim na PC e em 105%PC entre as $Cad_{pref-25\%}$ e Cad_{pref} (tabela 11) é que essas cadências se encontram entre uma faixa normalmente adotada por ciclistas nos treinamentos e nas competições (ex: entre 70 e 100 rpm, LUCIA et al., 2001). Isto confirma os resultados de Nielsen et al. (2004) que também não encontraram diferenças significativas no tlim do exercício realizado em 90% VO_{2max}

nas $Cad_{pref-25\%}$ e Cad_{pref} (9 e 10 min, respectivamente). Por outro lado, utilizando cadências acima desta faixa, é razoável sugerir que o tlim no exercício realizado nos domínios pesado e severo diminui drasticamente.

Interessantemente, o presente estudo mostrou que o tlim na PC utilizando a $Cad_{pref-25\%}$ e a 105%PC nas três cadências analisadas foi correlacionado negativamente com o VO_2max (tabela 12). Além disso, nestes mesmos casos foi observada também uma correlação negativa entre o tlim e o VO_2 apresentado no momento da exaustão (tabela 12). Assim, o maior VO_2max e VO_2 da exaustão determinam um menor tlim, embora isso seja contrário ao que intuitivamente se espera.

Entretanto, Billat et al. (1994) mostraram que o tlim na IVO_2max foi correlacionado negativamente com o VO_2max ($r=-0,35$; $p<0,05$) em corredores bem treinados. Outro estudo de Billat et al. (1996) também confirmou a relação inversa entre tlim na IVO_2max e VO_2max . Neste estudo, os autores verificaram essa relação inversa em atletas de diferentes modalidades de exercício (ciclistas, corredores, nadadores e caiaquistas), sendo cada qual avaliado no seu ergômetro específico (BILLAT et al., 1996). Por outro lado, similar ao presente estudo, Nielsen et al. (2004) reportaram que no ciclismo o tlim em 90% VO_2max nas $Cad_{pref-25\%}$, Cad_{pref} e $Cad_{pref+25\%}$ foi correlacionado negativamente com VO_2max (valores de r entre -0,47 e -0,64). Nesse sentido, de acordo com os resultados apresentados por estudos anteriores (BILLAT et al., 1994; BILLAT et al., 1996; NIELSEN et al., 2004) e confirmado nesta investigação, parece existir uma dependência da performance de *endurance* com relação ao VO_2max em intensidades mais próximas da IVO_2max . Além disso, no ciclismo esta dependência parece não apresentar associação com a cadência de pedalada em ciclistas treinados.

Partindo do pressuposto que quanto maior é o VO_2max , menor é o tlim, pode-se afirmar que alguns dos fatores limitantes do VO_2max são também determinantes no tlim. Há algumas décadas, Mitchell et al. (1958) forneceram dados sobre os fatores limitantes do VO_2max . Argumentando sobre uma limitação central, os autores encontraram um menor Q durante o exercício supramáximo comparado ao exercício máximo (18,2 vs. 21,0 $L \cdot min^{-1}$), porém com nenhuma alteração no VO_2max (2,81 vs. 2,87 $L \cdot min^{-1}$; $n=6$) por causa de um aumento na diferença arterio-venosa de O_2 ($dif.a-vO_2$) (MITCHELL et al., 1958).

Essa limitação no Q vem sendo confirmada por diversos trabalhos que têm verificado um declínio no volume de ejeção durante o exercício de intensidade constante e incremental (KEUL et al., 1981; HIGGINBOTHAM et al., 1986; SPINA et al., 1992; SEALS et al.,

1994; PROCTOR et al., 1998; McCOLE et al., 1999; GONZÁLEZ-ALONSO; CALBET, 2003; GONZÁLEZ-ALONSO et al., 2004). Em adição, além de um declínio no volume de ejeção e uma limitação no Q , Mortensen et al. (2005) têm verificado que no exercício máximo de intensidade constante e incremental existe uma restrição do fluxo sanguíneo para os membros locomotores e conseqüentemente uma limitação na oferta de O_2 e no VO_2 . No entanto, foi verificado um aumento contínuo da $dif.a-vO_2$, demonstrando que para suprir estas limitações ocorre um aumento da extração de O_2 pelos músculos em exercício (MORTENSEN et al., 2005). Dessa forma, de acordo com estes dados, observa-se que restrições no transporte de O_2 sistêmico e periférico limitam tanto o VO_{2max} como o tlim.

Como esperado, outra variável que apresentou correlação negativa com o tlim foi a [Lac] observada no momento da exaustão. Com exceção do tlim no exercício realizado em 105%PC nas Cad_{pref} e $Cad_{pref+25\%}$, os outros casos analisados nesse estudo apresentaram relação negativa entre o tlim e [Lac] final (tabela 12). Para o tlim na PC utilizando a Cad_{pref} , além da [Lac] final, outro aspecto limitante da performance foi o $\Delta[Lac]$. Durante o ciclismo de alta intensidade, existe um acúmulo de ácido láctico ocasionado por um desequilíbrio entre produção e remoção deste metabólito (AINSWORTH et al., 1993; JUEL, 1998; LUCIA et al., 2001a; LUCIA et al., 2002; MORTENSEN et al., 2005). A geração desse ácido nos músculos resulta em uma diminuição do pH sanguíneo e muscular devido à dissociação do ácido láctico em lactato e íons H^+ (JUEL, 1998).

O reduzido pH intramuscular pode diminuir o fluxo glicolítico pela inibição da enzima fosfofrutoquinase, interrompendo contrações por reduzir o Ca^{2+} liberado e removendo Ca^{2+} da troponina (HILL et al., 2001; STACKHOUSE et al., 2001), estimulando receptores de dor (HAMPSON et al., 2001; HILL et al., 2001; STACKHOUSE et al., 2001) e conseqüentemente diminuindo a performance (DAVIS; BAILEY, 1997; STACKHOUSE et al., 2001). Além disso, os íons H^+ que são liberados no sangue podem diminuir a performance pela influência exercida sobre os receptores de dor no cérebro (DAVIS; BAILEY, 1997; STACKHOUSE et al., 2001), inibindo o transporte de O_2 através da hemoglobina (JUEL, 1998).

6. CONCLUSÃO

Com base nos resultados encontrados no presente estudo, pode-se concluir que ciclistas treinados se exercitando até a exaustão na PC e em 105%PC utilizando a $Cad_{pref+25\%}$, em comparação às $Cad_{pref-25\%}$ e Cad_{pref} , apresentam maiores valores de VO_2 , FC, VE, [Lac] e menor t_{lim} nessas intensidades. Entretanto, embora as respostas fisiológicas foram mais acentuadas na Cad_{pref} que na $Cad_{pref-25\%}$ nas duas intensidades analisadas, o t_{lim} entre estas cadências não apresentou diferença. Além disso, apesar da PC ser estabelecida como o limite superior do domínio pesado, quando nesta intensidade os ciclistas deste estudo utilizaram a $Cad_{pref+25\%}$ o VO_2max foi atingido. Por outro lado, quando o exercício foi realizado em 105%PC, o atingimento do VO_2max foi dependente da cadência de pedalada. Estes resultados demonstram que a cadência de pedalada influencia drasticamente na relação potência vs. t_{lim} em virtude de alterações no gasto energético que são ocasionadas, provavelmente, por mudanças no padrão de recrutamento motor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBISS, C.R.; LAURSEN, P.B. Models to explain fatigue during prolonged endurance cycling. **Sports Medicine**, v.35, p.865-898, 2005.
- ACHTEN, J.; JEUKENDRUP, A.E. Heart rate monitoring: applications and limitations. **Sports Medicine**, v.33, p.517-538, 2003.
- AHLQUIST, L.E.; BASSET, D.R.Jr.; SUFIT, R.; NAGLE, F.J.; THOMAS, D.P. The effects of pedaling frequency on glycogen depletion rates in type I and II quadriceps muscle fibers during submaximal cycling exercise. **European Journal of Applied Physiology**, v.65, p.360-364, 1992.
- AINSWORTH, B.E.; SERFASS, R.C.; LEON, A.S. Effects of recovery duration and blood lactate level on power output during cycling. **Canadian Journal of Applied Physiology**, v.18, p.19-30, 1993.
- ANSLEY, L.; CANGLEY, P. Determinants of “optimal” cadence during cycling. **European Journal of Sport Science**, v.9, p.61-85, 2009.
- ARGENTIN, S.; HAUSSWIRTH, C.; BERNARD, T.; BIEUZEN, F.; LEVEQUE, J. M.; COUTURIER, A.; LEPERS, R. Relation between preferred and optimal cadences during two hours of cycling in triathletes. **British Journal of Sports Medicine**, v.40, p.293-298, 2006.
- BARCLAY, C.J. Efficiency of fast- and slow-twitch muscles of the mouse performing cyclic contractions. **Journal of Experimental Biology**, v.193, p.65-78, 1994.
- BARCLAY, C.J. Mechanical efficiency and fatigue of fast and slow muscles of the mouse. **Journal of Physiology**, v.497, 781-794, 1996.
- BARON, B.; NOAKES, T.D.; DEKERLE, J.; MOULLAN, F.; ROBIN, S.; MATRAN, R.; PELAYO, P. Why does exercise terminate at the maximal lactate steady state intensity? **British Journal of Sports Medicine**, v.42, p.528-533, 2008.

- BARSTOW, T.J.; JONES, A.M.; NGUYEN, P.; CASABURI R. Influence of muscle fiber type and pedal frequency on oxygen uptake kinetics of heavy exercise. **Journal of Applied Physiology**, v.75, p.755-762, 1996.
- BARSTOW, T.J.; MOLE, P.A. Simulation of pulmonary oxygen uptake during exercise in humans. **Journal of Applied of Physiology**, v.63, p.2253-2261, 1987.
- BASSETT, D.R.Jr.; HOWLEY, E.T. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.32, p.70-84, 2000.
- BELARDINELLI, R.; BARSTOW, T.J.; PORZASZ, J.; WASSERMAN, K. Skeletal muscle oxygenation during constant work rate exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.27, p.512-519, 1995.
- BENEKE, R.; VON DUVILLARD, S. Determination of maximal lactate steady state response in selected sports events. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.28, p.241-246, 1996.
- BIEUZEN, F.; LEPERS, R.; VERCRUYSSSEN, F.; HAUSSWIRTH, C.; BRISSWALTER, J. Muscle activation during cycling at different cadences: Effect of maximal strength capacity. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v.17, p.731-738, 2007.
- BILLAT, V.L.; FAINA, M.; SARDELLA, F.; MARINI, C.; FANTON, F.; LUPO, S.; FACCINI, P.; De ANGELIS, M.; KORALSZTEIN, J.P.; DALMONTE, A. A comparison of time to exhaustion at VO_2 max in elite cyclists, kayak paddlers, swimmers and runners. **Ergonomics**, v.39, p.267-277, 1996.
- BILLAT, V.L.; KORALSZTEIN, J.P. Significance of the velocity at vVO_2 max and time to exhaustion at this velocity. **Sports Medicine**, v.22, p.90-108, 1996.
- BILLAT, L.V.; KORALSZTEIN, J.P.; MORTON, R.H. Time in human endurance models: From empirical models to physiological models. **Sports Medicine**, v.27, p.359-379, 1999a.

- BILLAT, V.L.; MILLE-HAMARD, L.; PETIT, B.; KORALSZTEIN, J.P. The role of cadence on the VO_2 slow component in cycling and running in triathletes. **International Journal of Sports Medicine**, v.20, p.429-437, 1999b.
- BILLAT, V.; RENOUX, J.C.; PINOTEAU, J.; PETIT, B.; KORALSZTEIN, J.P. Times to exhaustion at 100% of velocity at VO_2max and modelling of the time limit/velocity relationship in elite long distance runners. **European Journal of Applied Physiology**, v.69, p.271-273, 1994.
- BILLAT, V.L.; RICHARD, R.; BINSSE, V.M.; KORALSZTEIN, J.P.; HAOUZI, P. The VO_2 slow component for severe exercise depends on type of exercise and is not correlated with time to fatigue. **Journal of Applied of Physiology**, v.85, p.2118-2124, 1998.
- BISHOP, D.; JENKINS, D.G.; HOWARD, A. The critical power function is dependent on the duration of the predictive exercise tests chosen. **International Journal of Sports Medicine**, v.19, p.125-129, 1998.
- BÖNING, D.; GÖNEN, Y.; MAASSEN, N. Relationship between work load, pedal frequency and physical fitness. **International Journal of Sports Medicine**, v.5, p.92-97, 1984.
- BOTTINELLI, R.; PELLEGRINO, M.A.; CANEPARI, M.; ROSSI, R.; REGGIANI, C. Specific contributions of various muscle fibre types to human muscle performance: An in vitro study. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v.9, p.87-95, 1999.
- BRICKLEY, G.; DOUST, J.; WILLIAMS, C.A. Physiological responses during exercise to exhaustion at critical power. **European Journal of Applied Physiology**, v.88, p.146-151, 2002.
- BRISSWALTER, J.; HAUSSWIRTH, C.; SMITH, D.; VERCRUYSSSEN, F.; VALLIER, J.M. Energetically optimal cadence vs. freely-chosen cadence during cycling: effect of exercise duration. **International Journal of Sports Medicine**, v.20, p.60-64, 2000.

- BUCHANAN, M.; WELTMAN, A. Effects of pedal frequency on VO_2 and work output at lactate threshold (LT), fixed blood lactate concentrations of 2 mmol.L^{-1} and 4 mmol.L^{-1} , and max in competitive cyclists. **International Journal of Sports Medicine**, v.6, p.163-168, 1985.
- BULL, A.J.; HOUSH, T.J.; JOHNSON, G.O.; RANA S.R. Physiological responses at five estimates of critical velocity. **European Journal of Applied Physiology**, v.102, p.711-720, 2008.
- BURNLEY, M.; DOUST, J.H.; VANHATALO, A. A 3-min all-out test to determine peak oxygen uptake and the maximal steady state. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.38, p.1995-2003, 2006.
- CALIS, J.F.F.; DENADAI, B.S. Influência das cargas preditivas na determinação da potência crítica determinada no ergômetro de braço em dois modelos lineares. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v.6, p.1-4, 2000.
- CARNEVALE, T.J.; GAESSER, G.A. Effects of pedaling speed on the power-duration relationship for high-intensity exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.23, p.242-246, 1991.
- CAPUTO, F. **Determinação da maior intensidade de esforço onde o consumo máximo de oxigênio é atingido durante o ciclismo: influência do estado e especificidade do treinamento aeróbio.** Tese (Doutorado em Ciências da Motricidade Humana), Rio Claro (SP): Universidade Estadual Paulista, 2006.
- CAPUTO, F.; DENADAI, B.S. Effects of aerobic endurance training status and specificity on oxygen uptake kinetics during maximal exercise. **European Journal of Applied Physiology**, v.93, p.87-95, 2004.
- CAPUTO, F.; DENADAI, B.S. The highest intensity and the shortest duration permitting attainment of maximal oxygen uptake during cycling: effects of different methods and aerobic fitness level. **European Journal of Applied Physiology**, v.103, p.47-57, 2008.

- 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.
- CARTER, H.; GRICE, Y.; DEKERLE, J.; BRICKLEY, G.; HAMMOND, A.J.P.; PRINGLE, J.S. Effect of prior exercise above and below critical power on exercise to exhaustion. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.37, p.775-781, 2005.
- CARTER, H.; PRINGLE, J.S.; BOOBIS, L.; JONES, A.M.; DOUST, J.H. Muscle glycogen depletion alters oxygen uptake kinetics during heavy exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.36, p.965-972, 2004.
- CARTER, H.; JONES, A.M.; BARSTOW, T.J.; BURNLEY, M.; WILLIAMS, C.; DOUST, J.H. Oxygen uptake kinetics in treadmill running and cycle ergometry: a comparison. **Journal of Applied Physiology**, v.89, p.899-907, 2000.
- CHAVARREN, J.; CALBET, J. Cycling efficiency and pedaling frequency in road cyclists. **European Journal of Applied Physiology**, v.80, p.555-563, 1999.
- CHEN, B.; JONES, N.L.; KILLIAN, K.J. Is there a conflict between minimizing effort and energy expenditure with increasing velocities of muscle contraction in humans? **Journal of Physiology**, v.518, p.933-940, 1999.
- COAST, J.R.; COX, R.H.; WELCH, H.G. Optimal pedalling rate in prolonged bouts of cycle ergometry. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.18, p.225-230, 1986.
- COAST, J.R.; WELCH, H.G. Linear increase in optimal pedal rate with increased power output in cycle ergometry. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v.53, p.339-342, 1985.
- COYLE, E.F.; GONZÁLEZ-ALONSO, J. Cardiovascular drift during prolonged exercise: new perspectives. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, v.29, p.88-92, 2001.

- CROISSANT, P.T.; BOILEAU, R.A. Effect of pedal rate, brake load and power on metabolic responses to bicycle ergometer work. **Ergonomics**, v.27, p.691-700, 1984.
- CROW, M.T.; KUSHMERICK, M.J. Chemical energetics of slow- and fast-twitch muscles of the mouse. **Journal of General Physiology**, v.79, p.147-166, 1982.
- DAVIDSON, R.C.R.; CORBETT, J.; ANSLEY, L. Influence of temperature and protocol on the calibration of the computrainer electromagnetically braked cycling ergometer. **Journal of Sports Science**, v.25, p.257-258, 2007.
- DAVIS, J.M.; BAILEY, S.P. Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.29, p.45-57, 1997.
- DEKERLE, J.; BARON, B.; DUPONT, L.; VANVELCENAHAR, J.; PELAYO, P. Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. **European Journal of Applied Physiology**, v.89, p.281-288, 2003.
- DEKERLE, J.; BRICKLEY, G.; ALBERTY, M.; PELAYO, P. Characterising the slope of the distance-time relationship in swimming. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v.13, p.365-370, 2010.
- DEKERLE, J.; VANHATALO, A.; BURNLEY, M. Determination of critical power from a single test. **Science & Sports**, v.23, p.231-238, 2008.
- DENADAI, B.S.; RUAS, V.D.A.; FIGUEIRA, T.R. Maximal lactate steady state concentration independent of pedal cadence in active individuals. **European Journal of Applied Physiology**, v.96, p.477-480, 2006.
- DiMENNA, F.J.; WILKERSON, D.P.; BURNLEY, M.; BAILEY, S.J.; JONES, A.M. Influence of extreme pedal rates on pulmonary O₂ uptake kinetics during transitions to high-intensity exercise from an elevated baseline. **Respiratory Physiology and Neurobiology**, v.169, p.16-23, 2009a.

- DiMENNA, F.J.; WILKERSON, D.P.; BURNLEY, M.; BAILEY, S.J.; JONES, A.M. Influence of priming exercise on pulmonary O₂ uptake kinetics during transitions to high intensity exercise at extreme pedal rates. **Journal of Applied Physiology**, v.106, p.432-442, 2009b.
- Di PRAMPERO, P.E.; BOUTELLIER, U.; MARGUERAT, A. Efficiency of work performance and contraction velocity in isotonic tetani of frog sartorius. **Pflügers Archiv**, v.412, 455-461, 1988.
- Di PRAMPERO, P.E. The concept of critical velocity: a brief analysis. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v.80, p.162-164, 1999.
- ENDO, M.Y.; KOBAYAKAWA, M.; KINUGASA, R.; KUNO, S.; AKIMA, H.; ROSSITER, H.B.; MIURA, A.; FUKUBA, Y. Thigh muscle activation distribution and pulmonary VO₂ kinetics during moderate, heavy, and very heavy intensity cycling exercise in humans. **American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v.293, p.812-820, 2007.
- EVANS, E.M.; ROWE, D.A.; MISIC, M.M.; PRIOR, D.M.; ARNGRÍMSSON, S.A. Skinfold prediction equation for athletes developed using a four-component model. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.37, p.2006-2011, 2005.
- FARREL, P.A.; WILMORE, J.H.; COYLE, E.F.; BILLING, J.E.; COSTILL, D.L. Plasma lactate accumulation and distance running performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.11, p.338-344, 1979.
- FARIA, E.W.; PARKER, D.L.; FARIA, I.E. The science of cycling: factors affecting performance - part 2. **Sports Medicine**, v.35, p.313-337, 2005.
- FARIA, I.; SJØJAARD, G.; BONDE-PETERSEN, F. Oxygen cost during different pedalling speeds for constant power output. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v.22, p.295-299, 1982.
- FERGUSON, R.A.; AAGAARD, P.; BALL, D.; SARGEANT, A.J.; BANGSBO, J. Total power output generated during dynamic knee

extensor exercise at different contraction frequencies. **Journal of Applied Physiology**, v.89, p.1912-1918, 2000.

FERGUSON, R.A.; BALL, D.; KRUSTRUP, P.; AAGAARD, P.; KJAER, M.; SARGEANT, A.J.; HELLSTEN, Y.; BANGSBO, J. Muscle oxygen uptake and energy turnover during dynamic exercise at different contraction frequencies in humans. **Journal of Physiology**, v.536, 261-271, 2001.

FOSS, O.; HALLÉN, J. Cadence and performance in elite cyclists. **European Journal of Applied Physiology**, v.93, p.453-462, 2005.

FOSS, O.; HALLÉN, J. The most economical cadence increases with increasing workload. **European Journal of Applied Physiology**, v.92, p.443-451, 2004.

FRANCIS, J.T.JR.; QUINN, T.J.; AMANN, M.; LAROCHE, D.P. Defining intensity domains from the end power of a 3-min all-out cycling test. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.42, p.1769-1775, 2010.

GAESSER, G.A.; BROOKS, G.A. Muscular efficiency during steady-rate exercise: Effects of speed and work rate. **Journal of Applied Physiology**, v.38, p.1132-1139, 1975.

GAESSER, G.A.; CARNEVALE, T.J.; GARFINKEL, A.; WALTER, D.O.; WOMACK, C.J. Estimation of critical power with nonlinear and linear models. **Medicine and Science in Sports Exercise**, v.27, p.1430-1438, 1995.

GAESSER, G.A.; POOLE, D.C. The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. **Exercise and Sports Science Review**, v.24, p.35-70, 1996.

GAESSER, G.A.; WARD, S.A.; BAUM, V.C.; WHIPP, B.J. Effects of infused epinephrine on slow phase of O₂ uptake kinetics during heavy exercise in humans. **Journal of Applied Physiology**, v.77, p.2413-2419, 1994.

GAESSER, G.A.; WILSON, L.A. Effects of continuous and interval training on the parameters of the power-endurance time relationship

for high-intensity exercise. **International Journal of Sports Medicine**, v.9, p.417-421, 1988.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOLLNICK, P.D.; PIEHL, K.; SALTIN, B. Selective glycogen depletion pattern in human muscle fibres after exercise of varying intensity and at varying pedalling rates. **Journal of Physiology**, 241, p.45-57, 1974.

GONZÁLEZ-ALONSO, J.; CALBET, J. Reductions in systemic and skeletal muscle blood flow and oxygen delivery limit maximal aerobic capacity in humans. **Circulation**, v.107, p.824-830, 2003.

GONZÁLEZ-ALONSO, J.; DALSGAARD, M.K.; OSADA, T.; VOLIANITIS, S.; DAWSON, E.A.; YOSHIGA, C.C.; SECHER, N.H. Brain and central haemodynamics and oxygenation during maximal exercise in humans. **Journal of Physiology**, v.557, p.331-342, 2004.

GOTSHALL, R.W.; BAUER, T.A.; FAHERNER, S.L. Cycling cadence alters exercise hemodynamics. **International Journal of Sports Medicine**, v.7, p.17-22, 1996.

GRECO, C.C.; CAPUTO, F.; DENADAI, B.S. Critical power and maximal oxygen uptake: Estimating the upper limit of the severe domain, a new challenge? **Science & Sports**, v.23, p.216-222, 2008.

GREEN, S.; SMITH, N.A.; KERR, G.K. Electromyographic activity in lower limb muscles is temporally associated with the slow phase of oxygen uptake during cycling. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v.20, p.310-319, 2010.

HAGBERG, J.; MULLIN, J.; GIESE, M.; SPITZNAGEL, E. Effect of pedaling rate on submaximal exercise responses of competitive cyclists. **Journal of Applied Physiology**, v.51, p.447-51, 1981.

HAMANN, J.J.; HEIDI, A.K.; JOHN, B.B.; PHILIP, S.C. Blood flow response to muscle contractions is more closely related to metabolic

rate than contractile work. **Journal of Applied Physiology**, v.98, p.2096-2100, 2005.

HAMPSON, D.B.; St CLAIR GIBSON, A.; LAMBERT, M.I.; NOAKES, T.D. The influence of sensory cues on the perception of exertion during exercise and central regulation of exercise performance. **Sports Medicine**, v.31, p.935-952, 2001.

HAN, Y.S.; PROCTOR, D.N.; GEIGER, P.C.; SIECK, G.C. Reserve capacity for ATP consumption during isometric contraction in human skeletal fibres. **Journal of Applied Physiology**. v.90, p.657-664, 2001.

HAN, Y.S.; GEIGER, P.C.; CODY, M.J.; MACKEN, R.L.; SIECK, G.C. ATP consumption rate per cross bridge depends on myosin heavy chain isoform. **Journal of Applied Physiology**. v.94, p.2188-2196, 2003.

HANSEN, E.A.; ANDERSEN, J.L.; NIELSEN, J.S.; SJØGAARD, G. Muscle fibre type, efficiency, and mechanical optima affect freely chosen pedal rate during cycling. **Acta Physiologica Scandinavica**, v.176, p.185-194, 2002.

HANSEN, E.A.; JENSEN, K.; PEDERSEN, P.K. Performance following prolonged sub-maximal cycling at optimal versus freely chosen pedal rate. **European Journal of Applied Physiology**, v.98, p.227-233, 2006.

HANSEN, E.A.; SJØGAARD, G. Relationship between efficiency and pedal rate in cycling: significance of internal power and muscle fiber type composition. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v.17, p.408-414, 2007.

HE, Z.H.; BOTTINELLI, R.; PELLEGRINO, M.A.; FERENCZI, M.A.; REGGIANI, C. ATP consumption and efficiency of human single muscle fibres with different myosin isoform composition. **Biophysical Journal**, v.79, p.945-961, 2000.

HECK, H.; MADER, A.; HESS, G.; MUCKE, S.; MULLER, R.; HOLLMANN, W. Justification of the 4mmol/l lactate threshold. **International Journal of Sports Medicine**, v.6, p.117-130, 1985.

- HIGGINBOTHAM, M.B.; MORRIS, K.G.; WILLIAMS, R.S.; McHALE, P.A.; COLEMAN, R.E.; COBB, F.R. Regulation of stroke volume during submaximal and maximal upright exercise in normal man. **Circulation Research**, v.58, p.281-291, 1986.
- HILL, C.A.; THOMPSON, M.W.; RUELL, P.A.; THOM, J.M.; WHITE, M.J. Sarcoplasmic reticulum function and muscle contractile character following fatiguing exercise in humans. **Journal of Physiology**, v.531, p.871-878, 2001.
- HILL, D.W. The critical power concept. **Sports Medicine**, v.16, p.237-254, 1993.
- HILL, D.W.; FERGUSON, C.S. A physiological description of critical velocity. **European Journal of Applied Physiology**, v.79, p.290-293, 1999.
- HILL; D.W.; HALCOMB, J.N.; STEVENS, E.C. Oxygen uptake kinetics during severe intensity running and cycling. **European Journal of Applied Physiology**, v.89, p.612-618, 2003.
- HILL, D.W.; POOLE, D.C.; SMITH, J.C. The relationship between power and time to achieve VO_2 max. **Medicine and Science in Sports Exercise**, v.26, p.1327-1334, 2002.
- HILL, D.W.; SMITH, J.C. Determination of critical power by pulmonary gas exchange. **Canadian Journal of Applied Physiology**, v.24; p.74-86, 1999.
- HILL, D.W.; SMITH, J.C.; LEUSCHEL, J.L.; CHASTEEN, S.D.; MILLER, S.A. Effect of pedal cadence on parameters of the hyperbolic power-time relationship. **International Journal of Sports Medicine**, v.16, p.82-87, 1995.
- HINTZY, F.; BELLI, A.; GRAPPE, F.; ROUILLON, J.D. Optimal pedalling velocity characteristics during maximal and submaximal cycling in humans. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v.79, 426-432, 1999.

- HIRAI, D.M.; ROSEGUINI, B.T.; DIFENTHAELER, F.; CARPES, F.P.; VAZ, M.A.; FERLIN, E.L.; RIBEIRO, J.P.; NAKAMURA, F.Y. Effects of altering pedal frequency on the slow component of pulmonary VO₂ kinetics and EMG activity. **International Journal of Sports Medicine**, v.31, p.529-536, 2010.
- HOGAN, M.C.; GRASSI, B.; SAMAJA, M.; STARY, C.M.; GLADDEN L.B. Effect of contraction frequency on the contractile and noncontractile phases of muscle venous blood flow. **Journal of Applied Physiology**, v.95, p.1139-1144, 2003.
- HOUSH, D.J.; HOUSH, T.J.; BAUGE, S.M. A methodological consideration for the determination of critical power and anaerobic work capacity. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v.61, p.406-409, 1990.
- HUG, F.; DECHERCHI, P.; MARQUESTE, T.; JAMMES, Y. EMG versus oxygen uptake during cycling exercise in trained and untrained subjects. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v.14, p.187-195, 2004.
- JENKINS, D.G.; QUIGLEY, B.M. Endurance training enhances critical power. **Medicine and Science in Sports Exercise**, v.24, p.1283-1289, 1992.
- JENKINS, D.G.; QUIGLEY, B.M. The influence of high intensity exercise training on the W_{lim}-T_{lim} relationship. **Medicine and Science in Sports Exercise**, v.25, p.275-282, 1993.
- JONES, A.M.; VANHATALO, A.; BURNLEY, M.; MORTON, R.H.; POOLE, D.C. Critical power: Implications for determination of VO₂max and exercise tolerance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.42, p.1876-1890, 2010.
- JONES, A.M.; WILKERSON, D.P.; DIMENNA, F.; FULFORD, J.; POOLE, D.C. Muscle metabolic responses to exercise above and below the “critical power” assessed using 31P-MRS. **American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v.294, p.585-593, 2008.

- JUEL, C. Current aspects of lactate exchange: lactate/H⁺ transport in human skeletal muscle. **European Journal of Applied Physiology**, v.86, p.12-16, 2001.
- JUEL, C. Muscle pH regulation: role of training. **Acta Physiologica Scandinavica**, v.162, p.359-66, 1998.
- JUEL, C.; HALESTRAP, A.P. Lactate transport in skeletal muscle - role and regulation of the monocarboxylate transporter. **Journal of Physiology**, v.517, 633-642, 1999.
- KANG, J.; ROBERTSON, R.J.; GOSS, F.L.; DASILVA, S.G.; SUMINSKI, R.R.; UTTER, A.C.; ZOELLER, R.F.; METZ, K.F. Metabolic efficiency during arm and leg exercise at the same relative intensities. **Medicine and Science in Sports Exercise**, v.29, p.377-382, 1997.
- KENNY, G.P.; REARDON, F.D.; MARION, A.; THODEN, J.S. A comparative analysis of physiological responses at submaximal workloads during different laboratory simulations of field cycling. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v.71, p.409-415, 1995.
- KEUL, J.; DICKHUTH, H.H.; SIMON G.; LEHMANN, M. Effect of static and dynamic exercise on heart volume, contractility, and left ventricular dimensions. **Circulation Research**, v.48, p.162-170, 1981.
- KOGA, S.; SHIOJIRI, T.; KONDO, N.; BARSTOW, T.J. Effect of increased muscle temperature on oxygen uptake kinetics during exercise. **Journal of Applied Physiology**, v.83, p.1333-1338, 1997.
- KOHLER, G.; BOUTELLIER, U. The generalized force-velocity relationship explains why the preferred pedaling rate of cyclists exceeds the most efficient one. **European Journal of Applied Physiology**, v.94, p.188-195, 2005.
- KOPPO, K.; BOUCKAERT, J.; JONES, A.M. Effects of training status and exercise intensity on phase II VO₂ kinetics. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.36, p.225-232, 2004.

- KOPPO, K.; JONES, A.M.; VANDEN BOSSCHE, L.; BOUCKAERT, J. Effect of prior exercise on VO_2 slow component is not related to muscle temperature. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.34, p.1600-1604, 2002.
- KRUSTRUP, P.; SECHER, N.H.; RELU, M.U.; HELLSTEN, Y.; SÖDERLUND, K.; BANGSBO, J. Neuromuscular blockade of slow twitch muscle fibres elevates muscle oxygen uptake and energy turnover during submaximal exercise in humans. **Journal of Physiology**, v.586, p.6037-6048, 2008.
- KRUSTRUP, P.; SÖDERLUND, K.; MOHR, M.; BANGSBO, J. Slow-twitch fiber glycogen depletion elevates moderate exercise fast-twitch fiber activity and O_2 uptake. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.36, p.973-982, 2004a.
- KRUSTRUP, P.; SÖDERLUND, K.; MOHR, M.; BANGSBO, J. The slow component of oxygen uptake during intense sub-maximal exercise in man is associated with additional fibre recruitment. **Pflügers Archiv**, v.447, p.855-866, 2004b.
- LACOUR, J.R.; PADILLA-MAGUNACELAYA, S.; CHATARD, J.C.; ARSAC, L.; BARTHELEMY, J.C. Assessment of running velocity at maximal oxygen uptake. **European Journal of Applied Physiology**, v.62, p.77-82, 1991.
- LAUGHLIN, M.H. Skeletal muscle blood flow capacity: role of muscle pump in exercise hyperemia. **American Journal of Physiology**, v.254, p.993-1004, 1987.
- LEPERS, R.; HAUSSWIRTH, C.; MAFFIULETTI, N.A.; BRISSWALTER, J. Evidence of neuromuscular fatigue after prolonged cycling exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.32, p.1880-1886, 2000.
- LEPERS, R.; MILLET, G.Y.; MAFFIULETTI, N.A.; HAUSSWIRTH, C.; BRISSWALTER, J. Effect of pedalling rates on physiological response during endurance cycling. **European Journal of Applied Physiology**, v.85, p.392-395, 2001.

- LAUGHLIN, M.H. Skeletal muscle blood flow capacity: role of muscle pump in exercise hyperaemia. **American Journal of Physiology**, v.254, 993-1004, 1987.
- LOLLGEN, H.; GRAHAM, T.; SJOGAARD, G. Muscle metabolites, force, and perceived exertion bicycling at various pedal rates. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.12, p.345-351, 1980.
- LUCIA, A.; HOYOS, J.; CARVAJAL, A.; CHICHARRO, J.L. Heart rate response to professional road cycling: The Tour de France. **International Journal of Sports Medicine**, v.20, p.167-172, 1999.
- LUCIA, A.; HOYOS, J.; CHICHARRO, J.L. Physiology of professional road cycling. **Sports Medicine**, v.31, 325-337, 2001a.
- LUCIA, A.; HOYOS, J.; CHICHARRO, J.L. Preferred pedalling cadence in professional cycling. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.33, p.1361-1366, 2001b.
- LUCIA, A.; HOYOS, J.; SANTALLA, A.; PÉREZ, M.; CHICHARRO, J.L. Kinetics of VO₂ in professional cyclists. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.34, 320-325, 2002.
- LUCIA, A.; SAN JUAN, A.F.; MONTILLA, M.; CANETE, S.; SANTALLA, A.; EARNEST, C.; PÉREZ, M. In professional road cyclists, low pedaling cadences are less efficient. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.36, p.1048-1054, 2004.
- MACINTOSH, B.R.; NEPTUNE, R.R.; HORTON, J.F. Cadence, power, and muscle activation in cycle ergometry. **Medicine and Science in Sports Exercise**, v.32, p.1281-1287, 2000.
- MARSH, A.P.; MARTIN, P.E. Effect of cycling experience, aerobic power, and power output on preferred and most economical cycling cadences. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.29, p.1225-1232, 1997.
- MARSH, A.P.; MARTIN, P.E. The association between cycling experience and preferred and most economical cadences. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.25, p.1269-1274, 1993.

- MARSH, A.P.; MARTIN, P.E.; FOLEY, K.O. Effect of cadence, cycling experience, and aerobic power on delta efficiency during cycling. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.32, 1630-1634, 2000.
- McCOLE, S.D.; BROWN, M.D., MOORE, G.E.; ZMUDA, J.M.; CWCYNAR, J.D.; HAGBERG, J.M. Cardiovascular hemodynamics with increasing exercise intensities in postmenopausal women. **Journal of Applied Physiology**, v.87, p.2334-2340, 1999.
- McCRORY, M.A.; MOLE, P.A.; NOMMSEN-RIVERS, L.A.; DEWEY, K.G. Between-day and within-day variability in the relation between heart rate and oxygen consumption: Effect on the estimation of energy expenditure by heart-rate monitoring. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.66, p.18-25, 1997.
- McDANIEL, J.; DURSTINE, J.L.; HAND, G.A.; MARTIN, J.C. Determinants of metabolic cost during submaximal cycling. **Journal of Applied Physiology**, v.93, p.823-828, 2002.
- McNAUGHTON, L.; THOMAS, D. Effects of differing pedaling speeds on the power-duration relationship of high intensity cycle ergometry. **International Journal of Sports Medicine**, v.17, p.287-292, 1996.
- MIGITA, T.; HIRAKOBA, K. Effect of different pedal rates on oxygen uptake slow component during constant-load cycling exercise. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v.46, p.189-196, 2006.
- MITCHELL, J.H.; SPROULE, B.J.; CHAPMAN, C.B. The physiological meaning of the maximal oxygen intake test. **Journal of Clinical Investigation**, v.37, p.538-547, 1958.
- MONOD, H.; SHERRER, J. The work capacity of a synergic muscular group. **Ergonomics**, v.8, p.329-338, 1965.
- MORTENSEN, S.P.; DAWSON, E.A.; YOSHIGA, C.C.; DALSGAARD, M.K.; DAMSGAARD, R.; SECHER, N.H.; GONZÁLES-ALONSO, J. Limitations to systemic and locomotor

- limb muscle oxygen delivery and uptake during maximal exercise in humans. **Journal of Applied Physiology**, v.566, p.273-285, 2005.
- MORTON, R.H. The critical power and related whole-body bioenergetic models. **European Journal of Applied Physiology**, v.96, p.339-354, 2006.
- MORA-RODRIGUEZ, R.; AGUADO-JIMENEZ, R. Performance at high pedaling cadences in well-trained cyclists. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.38, p.953-957, 2006.
- NEPTUNE, R.R.; HERZOG, W. The association between negative muscle work and pedaling rate. **Journal of Biomechanics**, v.32, p.1021-1026, 1999.
- NEPTUNE, R.R.; HULL, M.L. A theoretical analysis of preferred pedaling rate selection in endurance cycling. **Journal of Biomechanics**, v.32, p.409-415, 1999.
- NEPTUNE, R.R.; VAN DEN BOGERT, A.J. Standard mechanical energy analyses do not correlate with muscle work in cycling. **Journal of Biomechanics**, v.31, p.239-245, 1998.
- NESI, X.; BOSQUET, L.; BERTHOIN, S.; DEKERLE, J.; PELAYO, P. Effect of a 15% increase in preferred pedal rate on time to exhaustion during heavy exercise. **Canadian Journal of Applied Physiology**, v.29, p.146-156, 2004.
- NESI, X.; BOSQUET, L.; PELAYO, P. Preferred pedal rate: an index of cycling performance. **International Journal of Sports Medicine**, v.26, p.372-375, 2005.
- NIELSEN, J.S.; HANSEN, E.A.; SJOGAARD, G. Pedalling rate affects endurance performance during high intensity cycling. **European Journal of Applied Physiology**, v.92, p.114-120, 2004.
- NOAKES, T.D. Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: A contemporary perspective. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.20, p.319-330, 1988.

- NOAKES, T.D. Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v.10, p.123-145, 2000.
- ÖZYENER, F.; ROSSITER, H.B.; WARD, S.A.; WHIPP, B.J. Influence of exercise intensity on the on- and off-transient kinetics of pulmonary oxygen uptake in humans. **Journal of Physiology**, v.533, p.891-902, 2001.
- PADILLA, S.; MUJICA, I.; CUESTA, G.; GOIRIENA, J.J. Level ground and uphill cycling ability in professional road cycling. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.31, p.878-885, 1999.
- POOLE, D.C.; SCHAFFARTZIK, W.; KNIGHT, D.R.; DERION, T.; KENNEDY, B.; GUY, H.J.; PREDILETTO, R.; WAGNER, P.D. Contribution of exercising legs to the slow component of oxygen uptake kinetics in humans. **Journal of Applied Physiology**, v.71, p.1245-1253, 1991.
- POOLE, D.C.; GLADDEN, L.B.; KURDAK, S.; HOGAN, M.C. L-(+)-lactate infusion into working dog gastrocnemius: no evidence lactate per se mediates VO_2 slow component. **Journal of Applied Physiology**, v.76, p.787-792, 1994.
- POOLE, D.C.; WARD, S.A.; GARDNER, G.; WHIPP, B.J. A metabolic and respiratory profile for prolonged exercise in man. **Ergonomics**, v.31, p.1265-1279, 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. **European Journal of Applied Physiology**, v.59, p.421-429, 1990.
- PRINGLE, J.S.; DOUST, J.H.; CARTER, H.; TOLFREY, K.; CAMPBELL, I.T; JONES, A.M. Oxygen uptake kinetics during moderate, heavy and severe intensity "sub-maximal" exercise in humans: the influence of muscle fiber type and capillarisation. **European Journal of Applied Physiology**, v.89, p.289-300, 2003a.

- PRINGLE, J.S.; DOUST, J.H.; CARTER, H.; TOLFREY, K.; JONES, A.M. Effect of pedal rate on primary and slow-component oxygen uptake responses during heavy-cycle exercise. **Journal of Applied Physiology**, v.94, p.1501-1507, 2003b.
- PRINGLE, J.S.; JONES, A.M. Maximal lactate steady state, critical power and EMG during cycling. **European Journal of Applied Physiology**, v.88, p.214-226, 2002.
- PROCTOR, D.N.; BECK, K.C.; SHEN, P.H.; EICKHOFF, T.J.; HALLIWILL, J.R.; JOYNER, M.J. Influence of age and gender on cardiac output-VO₂ relationships during submaximal cycle ergometry. **Journal of Applied Physiology**, v.84, p.599-605, 1998.
- REGGIANI, C.; POTMA, E.J.; BOTTINELLI, R.; CANEPARI, M.; PELLEGRINO, M.A.; STIENEN, G.J.M. Chemo-mechanical energy transduction in relation to myosin isoform composition in skeletal muscle fibres of the rat. **Journal of Physiology**, v.502, p.449-460, 1997.
- ROSSITER, H.B.; WARD, S.A.; KOWALCHUK, J.M.; HOWE, F.A.; GRIFFITHS, JR; WHIPP, B.J. Dynamic asymmetry of phosphocreatine concentration and O₂ uptake between the on- and off-transients of moderate- and high-intensity exercise in humans. **Journal of Physiology**, v.541, p.991-1002, 2002.
- ROSTON, W.L.; WHIPP, B.J.; DAVIS, J.A.; CUNNINGHAM, D.A.; EFFROS, R.M.; WASSERMAN, K. Oxygen uptake kinetics and lactate concentration during exercise in humans. **The American Review of Respiratory Disease**, v.135, p. 1080-1084, 1987.
- SABAPATHY, S.; SCHNEIDER, D.A., MORRIS, N.R. The VO₂ slow component: relationship between plasma ammonia and EMG activity. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.37, p.1502-1509, 2005.
- SAMOZINO, P.; HORVAIS, N.; HINTZY, F. Interactions between cadence and power output effects on mechanical efficiency during sub maximal cycling exercises. **European Journal of Applied Physiology**, v.97, p.133-139, 2006.

- SARRE, G.; LEPERS, R. Neuromuscular function during prolonged pedalling exercise at different cadences. **Acta Physiologica Scandinavica**, v.185, p.321-328, 2005.
- SAUNDERS, M.J.; EVANS, E.M.; ARNGRIMSSON, S.A.; ALLISON, J.D.; WARREN, G.L.; CURETON, K.J. Muscle activation and the slow component rise in oxygen uptake during cycling. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.32, p.2040-2045, 2000.
- SHERIFF, D.D.; ROWELL, L.B.; SCHER, A.M. Is rapid rise in vascular conductance at onset of dynamic exercise due to muscle pump? **American Journal of Physiology**, v.265, p.1227-1234, 1993.
- SEABURY, J.J.; ADAMS, W.C.; RAMEY, M.R. Influence of pedalling rate and power output on energy expenditure during bicycle ergometry. **Ergonomics**, v.20, p.491-498, 1977.
- SEALS, D.R.; HAGBERG, J.M.; SPINA, R.J.; ROGERS, M.A.; SCHECHTMAN, K.B.; EHSANI, A.A. Enhanced left ventricular performance in endurance trained older men. **Circulation**, v.89, p.198-205, 1994.
- SIDOSSIS, L.S.; HOROWITZ, J.F.; COYLE, E.F. Load and velocity of contraction influence gross and delta mechanical efficiency. **International Journal of Sports Medicine**, v.13, p.407-411, 1992.
- SJØGAARD, G.; HANSEN, E.A.; OSADA, T. Blood flow and oxygen uptake increase with total power during five different knee-extension contraction rates. **Journal Applied Physiology**, v.93, p.1676-1684, 2002.
- SPINA, R.J.; OGAWA, T.; MARTIN, W.H.; COGGAN, A.R.; HOLLOSZY, J.O.; EHSANI, A.A. Exercise training prevents decline in stroke volume during exercise in young healthy subjects. **Journal Applied Physiology**, v.72, p.2458-2462, 1992.
- STACKHOUSE, S.K.; REISMAN, D.S.; BINDER-MACLEOD, S.A. Challenging the role of pH in skeletal muscle fatigue. **Physical Therapy**, v.81, p.1897-903, 2001.

- STIENEN, G.J.; KIERS, J.L.; BOTTINELLI, R.; REGGIANI, C. Myofibrillar ATPase activity in skinned human skeletal muscle fibres: fibre type and temperature dependence. **Journal of Physiology**, v.493, 299-307.
- STRINGER, W.S.; WASSERMAN, K.; CASABURI, R.; PORZASZ, J.; MAEHARA, K.; FRENCH, W. Lactic acidosis as a facilitator of oxyhemoglobin dissociation during exercise. **Journal Applied Physiology**, v.76, p.1462-1467, 1994.
- SUZUKI, Y. Mechanical efficiency of fast- and slow-twitch muscle fibers in man during cycling. **Journal of Applied Physiology**, v.47, p.263-267, 1979.
- SWOAP, S.J.; CAIOZZO, V.J.; BALDWIN, K.M. Optimal shortening velocities for in situ power production of rat soleus and plantaris muscles. **American Journal of Physiology: Cellular and Molecular Physiology**, 273, p.1057-1063, 1997.
- TAKAISHI, T.; YAMAMOTO, T.; ONO, T.; ITO, T.; MORITANI, T. Neuromuscular, metabolic, and kinetic adaptations for skilled pedaling performance in cyclists. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.30, p.442-449, 1998.
- TAKAISHI, T.; YASUDA, Y.; MORITANI, T. Neuromuscular fatigue during prolonged pedalling exercise at different pedalling rates. **European Journal of Applied Physiology**, v.69, p.154-158, 1994.
- TAKAISHI, T.; YASUDA, Y.; ONO, T. MORITANI T. Optimal pedaling rate estimated from neuromuscular fatigue for cyclists. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.28, p.1492-1497, 1996.
- TAKANO, N. Effects of pedal rate on respiratory responses to incremental bicycle work. **Journal of Physiology**, v.396, p.389-397, 1988.
- TAYLOR, H. L.; BUSKIRK, E.; HENSCHEL, A. Maximal oxygen intake as an objective measure of cardio-respiratory performance. **Journal Applied Physiology**, v.8, p.73-80, 1955.

- VANHATALO, A.; DOUST, J.H.; BURNLEY, M. A 3-min all-out cycling test is sensitive to a change in critical power. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.40, p.1693-1699, 2008.
- VANHATALO, A.; DOUST, J.H.; BURNLEY, M. Determination of critical power using a 3-min all-out cycling test. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.39, p.548-555, 2007.
- VERCRUYSSSEN, F.; MISSEWARD, O.; BRISWALTER, J. Relationship between oxygen uptake slow component and surface EMG during heavy exercise in humans: influence of pedal rate. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v.19, p.676-684, 2009.
- XU, F.; RHODES, E.C. Oxygen uptake kinetics during exercise. **Sports Medicine**, v.27, p.313-27, 1999.
- WASSERMAN, K. Determinants and detection of anaerobic threshold and consequences of exercise above it. **Circulation**, v.76, p.29-39, 1987.
- WHIPP, B.J. Dynamics of pulmonary gas exchange. **Circulation**, v.76, p.18-28, 1987.
- WHIPP, B.J. The slow component of O₂ uptake kinetics during heavy exercise. **Medicine and Science in Sports Exercise**, v.26, p.1319-1326, 1994.
- WHIPP, B.J.; WARD, S.A. Physiological determinants of pulmonary gas exchange kinetics during exercise. **Medicine and Science in Sports Exercise**, v.22, p.62-71, 1990.
- WHIPP, B.J.; WARD, S.A.; LAMARRA, N.; DAVIS, J.A.; WASSERMAN, K. Parameters of ventilatory and gas exchange dynamics during exercise. **Journal of Applied Physiology**, v.52, p.1506-1513, 1982.
- WILSON, M.C.; JACKSON, V.N.; HEDDLE, C.; PRICE, N.T.; PILEGAARD, H.; JUEL, C.; BONEN, A.; MONTGOMERY, I.; HUTTER, O.F.; HALESTRAP, A.P. Lactic acid efflux from white

skeletal muscle is catalyzed by the monocarboxylate transporter isoform MCT3. **Journal of Biological Chemistry**, v.273, p.15920-15926, 1998.

WOLEDGE, R.C. Possible effects of fatigue on muscle efficiency. **Acta Physiologica Scandinavica**, v.162, p.267-273, 1998.

WOMACK, C.J.; DAVIS, S.E.; BLUMER, J.L.; BARRETT, E.; WELTMAN, A.L.; GAESSER, G.A. Slow component of O₂ uptake during heavy exercise: adaptation to endurance training. **Journal of Applied Physiology**, v.79, p.838-845, 1995.

ZOLADZ, J.A.; SZKUTNIK, Z.; MAJERCZAK, J.; DUDA, K. Change point in VCO₂ during incremental exercise test: A new method for assessment of human exercise tolerance. **Acta Physiologica Scandinavica**, v.167, p.49-56, 1999.

APÊNDICE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA CENTRO DE DESPORTOS PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO FÍSICA

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Título do Projeto: Efeitos da cadência de pedalada nas respostas fisiológicas e no tempo de exaustão do exercício realizado a 100 e 105% da potência crítica em ciclistas treinados.

Você está sendo convidado a participar, como voluntário, da pesquisa intitulada: “Efeitos da cadência de pedalada nas respostas fisiológicas e no tempo de exaustão do exercício realizado a 100 e 105% da potência crítica em ciclistas treinados” a ser realizada junto ao Laboratório de Esforço Físico (LAEF), vinculado ao Centro de Desportos (CDS) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). A participação no estudo não envolve nenhum gasto para o participante e todos os materiais necessários serão providenciados pelos pesquisadores. Com sua adesão ao estudo, você ficará disponível para a pesquisa em algumas visitas ao CDS, com duração aproximada de 60 minutos.

1ª Visita – Na primeira sessão, um avaliador preencherá uma ficha com seus dados pessoais e, logo após, você será submetido à avaliação antropométrica, na qual serão realizadas medidas massa corporal (kg), estatura (cm) e percentual de gordura corporal (%G). O %G será estimado a partir da equação de três dobras cutâneas (tricipital, abdominal, coxa média). Em seguida será aplicado um teste incremental máximo na sua cadência preferida (Cad_{pref}) utilizando a sua própria bicicleta, a qual será acoplada a um ciclo-simulador (Computrainer™ Pro 3D, RacerMate, Seattle, Washington, USA), para determinação do consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}), intensidade correspondente ao VO_{2max} (IVO_{2max}) e limiar anaeróbio (LAN). O teste iniciará com uma carga inicial de 100 W, com incrementos de 30 W a cada três minutos, até a exaustão voluntária. Ao final de cada estágio haverá uma pausa de 30 segundos, para coleta de 25 μ L de sangue do lóbulo da orelha para dosagem do lactato sanguíneo. Esse procedimento não oferece riscos ao avaliado e os índices determinados neste teste são indicadores do seu

condicionamento aeróbio e fornecerá dados para a prescrição do seu treinamento.

2ª a 4ª Visitas – Para determinação da potência crítica (PC) serão realizadas três sessões de testes de esforço máximo a 95, 100 e 110%IVO₂max em diferentes dias. As respostas cardiorespiratórias serão mensuradas continuamente durante todos os testes. O tempo de exaustão em cada intensidade (tlim) será considerado como o tempo total de esforço mantido em cada uma das três intensidades (95, 100 ou 110%) e expresso em minutos. Para todos esses testes, a cadência utilizada será a Cad_{pref}. Após a realização destes testes, será determinada a intensidade correspondente à sua PC por meio de um modelo matemático.

5ª a 10ª Visitas – Você realizará três sessões de testes na PC em diferentes dias em três diferentes cadências (Cad_{pref-25%}, Cad_{pref} e Cad_{pref+25%}). Também em três diferentes dias, você realizará três sessões de testes em 105%PC nas três diferentes cadências citadas acima. As respostas cardiorespiratórias serão mensuradas continuamente durante todos os testes. Serão realizadas coletas de sangue no 5^o min e no momento da exaustão de cada teste. O tlim em cada teste será considerado como o tempo total de esforço mantido em cada uma das condições destacadas acima.

Para participar deste estudo você deve estar apto para realizar exercícios físicos de alta intensidade. Da mesma forma, deve estar ciente que tem a possibilidade de apresentar náuseas e vômito em decorrência do esforço na realização do teste. No entanto, menos de 1% da população americana apresenta desconforto durante este tipo de teste (*American College of Sports Medicine*). Os pesquisadores responsáveis por este estudo estarão preparados para qualquer emergência efetuando os primeiros socorros. A sua identidade será preservada, pois cada participante da amostra será identificado por um número.

Quanto aos benefícios e vantagens em participar deste estudo, você contribuirá para o desenvolvimento da ciência, dando possibilidade a novas descobertas e ao avanço das pesquisas; além de ser informado sobre sua composição corporal e limiares de transição metabólica norteadores do treinamento físico, a partir do repasse do relatório individual de sua avaliação.

As pessoas que o acompanharão serão o Prof. Dr. Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo, o mestrando Kristopher Mendes de Souza e alguns colaboradores do LAEF. Salientamos, ainda, que você poderá retirar-se do estudo a qualquer momento. Do contrário, solicitamos a sua autorização para o uso de seus dados para a produção

de artigos técnicos e científicos. A sua privacidade será mantida por meio da não-identificação do seu nome.

Agradecemos desde já a sua colaboração e participação.

CONTATOS:

Prof. Mdo Kristopher Mendes de Souza
e-mail: kristophersouza@yahoo.com.br
Tel.: (48) 8811-6672

Prof. Dr. Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo
e-mail: luizguilherme@cds.ufsc.br

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE DESPORTOS
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO FÍSICA**

TERMO DE CONSENTIMENTO

Declaro que fui informado, de forma clara e objetiva, sobre todos os procedimentos do projeto de pesquisa intitulado “*Efeitos da cadência de pedalada nas respostas fisiológicas e no tempo de exaustão do exercício realizado a 100 e 105% da potência crítica em ciclistas treinados*”. Estou ciente que todos os dados a meu respeito serão sigilosos e que posso me retirar do estudo a qualquer momento. Assinando este termo, eu concordo em participar deste estudo.

Nome por extenso

Assinatura

Florianópolis (SC) _____/_____/_____

Prof. Dr. Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo
(Pesquisador Responsável/Orientador)

Prof. Mdo. Kristopher Mendes de Souza
(Pesquisador Principal/Orientando)