

Ciclismo de estrada: Indicadores de desempenho para jovens atletas

Dissertação elaborada com vista à obtenção do grau de Mestre em
Treino de Alto Rendimento

Orientador: Professor Doutor Francisco José Bessone Ferreira Alves

Júri

Presidente: Professor Doutor Francisco José Bessone Ferreira Alves

Vogais: Professor Doutor Luís Manuel Pinto Lopes Rama

Professora Doutora Joana Filipa de Jesus Reis

Autora: Paulina Conde Teixeira

2014

Agradecimentos

Para a realização desta tese contei com o apoio incondicional do meu marido, ao qual lhe agradeço a paciência.

Gostaria de agradecer particularmente aos jovens ciclistas que participaram com empenho e dedicação neste estudo, assim como aos seus treinadores Aurélio Sardinha e Nuno Alves, pelo cuidado em acompanhar os atletas e em incentivá-los activamente a dar o seu melhor.

Finalmente, agradeço ao Professor Francisco Alves pela orientação da tese e pela ajuda na realização dos testes de laboratório.

Nota

A autora escreveu esta tese com ortografia anterior ao último acordo ortográfico.

Resumo

O objectivo deste estudo foi obter indicadores de desempenho para atletas de ciclismo de estrada adolescentes estudar a sua cinética do $\dot{V}O_2$. Catorze atletas com 15.8 anos de idade (média) fizeram 3 testes em laboratório, utilizando a própria bicicleta num simulador de treino: teste progressivo de $30W \cdot \text{min}^{-1}$; teste de potência aeróbia máxima (PAM), e contra-relógio de 20 minutos. Nos dois primeiros testes mediram-se as trocas gasosas, e em todos os testes mediram-se a potência (PO), velocidade, distância percorrida e duração. Testes semelhantes têm sido aplicados apenas a sujeitos adultos, não havendo ainda uma metodologia testada para atletas mais jovens

Obtiveram-se regressões lineares significativas entre o desempenho e: peso do atleta (kg), PAM (W), $\dot{V}O_{2\text{max}}$ ($L \cdot \text{min}^{-1}$), $\dot{V}O_{2\text{-LV1}}$ ($L \cdot \text{min}^{-1}$), $\dot{V}O_{2\text{-LV2}}$ ($L \cdot \text{min}^{-1}$), e PO-LV2 (W). Estas variáveis tiveram elevada correlação entre si, pelo que não se justificou fazer regressões múltiplas. Não houve regressões lineares significativas com variáveis expressas por unidade de peso. Selecionou-se a PAM (W) como indicador de desempenho por ser o de mais fácil medição.

A cinética do $\dot{V}O_2$ mostrou um comportamento semelhante ao de adultos em esforços de elevada intensidade, mas não permitiu obter indicadores de desempenho com base nos seus parâmetros.

Os indicadores de desempenho não estavam uniformizados por unidade de peso, supondo-se que a eficiência do esforço não teve qualquer efeito no desempenho desportivo. Mas o peso dos atletas teve elevada influência nestes indicadores. Concluiu-se que, nestas idades, o peso tem influência elevada no desempenho. Sugere-se que se tenha este facto em consideração na atribuição de escalões de competição, que deveriam basear-se também no peso dos atletas.

Finalmente, avaliou-se o efeito da cadência de pedalada no desempenho e concluiu-se que a cadência óptima é elevada (107 rpm) e acima da cadência teoricamente mais eficiente, o que é comum em ciclistas de estrada com experiência.

PALAVRAS-CHAVE: Ciclismo, Jovem, Desempenho desportivo, Consumo de oxigénio, Limiar ventilatório, Potência, Potência aeróbia máxima, Cinética do $\dot{V}O_2$.

Road Cycling: Performance indicators for young athletes

Abstract

The objective of this study was to predict exercise performance on young athletes of road cycling, and to study their O₂ kinetics. Fourteen cyclists of 15.8 years of age (average) performed 3 lab tests, using their own bike on a bike-trainer simulator: an incremental protocol of 30M. min⁻¹; a Maximal Aerobic Power (MAP) test; and a simulated time trial of 20 minutes duration. During the first 2 tests, respiratory gas exchanges were measured, and during all tests there were measures of power output (PO), speed, distance and duration of exercise. Similar tests to the ones here performed have been used with adult athletes, but there is still no methodology tested in younger athletes.

Significant linear regressions were obtained between exercise performance and: athletes weight (kg), MAP (W), $\dot{V}O_2$ max (L.min⁻¹), $\dot{V}O_2$ -LV1 (L.min⁻¹), $\dot{V}O_2$ -LV2 (L.min⁻¹), and PO-LV2 (W) (LV1 and LV2 are ventilatory thresholds 1 and 2). These parameters had a strong correlation within themselves, so there was no reason for a multiple regression analysis. There were no significant linear regressions in units per weight. The MAP (W) was selected as the best performance predictor, as it was the easiest to measure.

The O₂ kinetics had a characterization similar to that of adults during heavy exercise, but no performance predictor could be obtained with its parameter.

The performance predictors were not standardized for the weight of the athletes, and this implies that the economy or efficiency of exercise had no effect on the

performance. However, the weight of athletes had strong influence on the exercise performance. We suggest that this fact should be taken into account when considering competition levels, which should also include the weight.

Finally, we examined the effect of pedaling pace on performance and concluded that the optimal cadence in the time trial was 107 rpm, above the pace theoretically considered the most efficient, which is a common feature of experienced road cyclists.

KEYWORDS: Cycling, Youth, Athletic performance, Oxygen consumption, Ventilatory threshold, Power, Maximal aerobic power, O₂ kinetics

ABREVIATURAS

CR – contra relógio

CV – coeficiente de variação

FC – frequência cardíaca

FCmax – frequência cardíaca máxima

LL – limiar láctico

LV – limiar ventilatório

LV1 – 1º limiar ventilatório

LV2 – 2º limiar ventilatório

PAM – potência aeróbia máxima

PCO₂ – pressão parcial do CO₂

PO – potência produzida

PO₂ – pressão parcial do O₂

PO-LV1 – potência produzida no 1º limiar ventilatório

PO-LV2 – potência produzida no 2º limiar ventilatório

POmax – potência máxima produzida

PP – protocolo progressivo

Tlim – tempo até à exaustão

τ – constante temporal

$\dot{V}CO_2$ – consumo de CO₂

VE – ventilação

$\dot{V}O_2$ – consumo de O₂

$\dot{V}O_2$ -LV1 – consumo de O₂ no 1º limiar ventilatório

$\dot{V}O_2$ -LV2 – consumo de O₂ no 2º limiar ventilatório

$\dot{V}O_2$ max – consumo máximo de O₂

ÍNDICE

I. INTRODUÇÃO	15
I.1 Caracterização do Ciclismo de Estrada	15
I.2 Desportos de Resistência	16
I.3 Testes em Laboratório	20
I.4 Indicadores de Desempenho	24
I.5 Cinética do $\dot{V}O_2$	27
I.6 Objectivos	30
II. MATERIAIS E MÉTODOS	31
II:1. Sujeitos Avaliados	31
II.2.Procedimento Experimental	31
II.3.Determinação dos Parâmetros da Cinética do $\dot{V}O_2$	35
II.4. Análise Estatística	36
III. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	37
III.1. Resultados dos Testes	37
III.2. Análise dos Resultados	41
III.2.1. Indicadores de desempenho	41
III.2.2 Cinética do $\dot{V}O_2$	47
III.2.3. Influência do peso do atleta	50
III.2.4 Outras regressões	50
III.2.5 Relação entre cadência de pedalada e desempenho	52

IV. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	55
IV.1 Comparação com Dados Publicados	55
IV.2 Indicadores de Desempenho	64
IV.3 Cinética do $\dot{V}O_2$	68
IV.4 Influência do Peso do Atleta	69
IV.5 Efeito da Cadência de Pedalada	72
V. CONCLUSÕES	75
VI. BIBLIOGRAFIA	79
ANEXO I Dados pessoais dos atletas avaliados neste estudo	85
ANEXO II Resultados dos testes efectuados aos atletas	86

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico	Pág
Gráfico 1 – Relação entre o Peso dos atletas e a Distância percorrida no contra-relógio (CR) de 20 min.	42
Gráfico 2 – Relação entre a Potência aeróbia máxima (PAM, em W), e a Distância percorrida no contra-relógio (CR) de 20 min.	43
Gráfico 3 – Relação entre o $\dot{V}O_2\text{max}$ ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) e a Distância percorrida no contra-relógio (CR) de 20 min.	44
Gráfico 4 – Relação entre o $\dot{V}O_2\text{max}$ ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) no limiar ventilatório LV1 ($\dot{V}O_2\text{-LV1}$) e a Distância percorrida no contra-relógio (CR) de 20 min.	44
Gráfico 5 – Relação entre o $\dot{V}O_2$ ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) no limiar ventilatório LV2 e a Distância percorrida no contra-relógio (CR) de 20 min.	45
Gráfico 6 – Relação entre a Potência gerada (PO) no LV2 e a Distância percorrida no contra-relógio (CR) de 20 min.	46
Gráficos 7A e 7B – Exemplo de curva da cinética do $\dot{V}O_2$ onde não se atingiu o $\dot{V}O_2\text{max}$ (de $4300 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$) e gráfico de resíduos correspondente (nas mesmas unidades).	49
Gráficos 8A e 7B – Exemplo de curva da cinética do $\dot{V}O_2$ onde se atingiu o $\dot{V}O_2\text{max}$ (de $4200 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$) e gráfico de resíduos correspondente (nas mesmas unidades).	49
Gráfico 9 – Variação do $\dot{V}O_2\text{max}$ ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) com o tempo de treino ciclista.	52
Gráfico 10 - Variação do $\dot{V}O_2\text{max}$ ($\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) com o tempo de treino ciclista.	52
Gráfico 11 – Relação quadrática entre a Distância percorrida no contra-relógio (CR) de 20 minutos e a Cadência média nesse CR.	54

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela	Pág
Tabela III.1 – Resultados médios e desvios-padrão dos testes efectuados com os jovens atletas.	39
Tabela III.2 – Regressões lineares estatisticamente significativas ($p < 0.05$), entre a Distância percorrida no CR (km) as variáveis estudadas. Valores entre parêntesis são o erro padrão.	42
Tabela III.3 – Correlações de Pearson estatisticamente significativas ($p < 0.001$) entre as variáveis que tiveram regressões lineares significativas com o desempenho no CR.	48
Tabela IV.1 – Resumo dos dados apresentados no texto. Na última linha apresentam-se os dados referentes a este estudo, para comparação.	63
ANEXO I Dados pessoais dos atletas avaliados neste estudo	85
ANEXO II Tabela 1 – Resultados do teste PAM para cada sujeito avaliado, média e desvio padrão (DP).	86
ANEXO II Tabela 2 – Resultados do teste PAM obtidos com o medidor de gases, para cada sujeito avaliado, média e desvio padrão (DP).	87
ANEXO II Tabela 3 - Valores no LV1 para cada sujeito, média e desvio padrão.	88
ANEXO II Tabela 4 - Valores no LV2 para cada sujeito, média e desvio padrão.	89
ANEXO II Tabela 5 – Resultados do teste CR (contra-relógio) de 20 minutos para cada sujeito, média e desvio padrão.	90
ANEXO II Tabela 6 – Resultados da cinética do $\dot{V}O_2$, incluindo as variáveis de controlo (correspondentes aos resíduos) para cada sujeito avaliado, média e desvio padrão (D.P.).	91

I. INTRODUÇÃO

I.1 Caracterização do Ciclismo de Estrada

O ciclismo de estrada é predominantemente um desporto de resistência aeróbia, pontuado por ocasiões de força explosiva, que ocorrem usualmente em sprints próximos das metas, durante ultrapassagens ou em tentativas de fugas do pelotão ou de outros atletas. Apesar de o ciclismo de estrada ser considerado um desporto de fundo por excelência, os seus atletas precisam de desenvolver potências muito elevadas, que são requeridas repetidas vezes e geralmente com curta duração.

Um ciclista profissional percorre anualmente 25.000 a 40.000 km em bicicleta (incluindo treinos e competições) e o ciclista amador de elite percorre cerca de 25.000 km. As competições de ciclismo de estrada podem ter a duração de algumas horas (1 a 4 h) ou podem decorrer em vários dias (corridas por etapas). Além disso, as características das competições ciclistas são muito variadas e vão desde contra-relógios, em que o ciclista corre sozinho uma distância de cerca de 10 a 60 km, a etapas de montanha com distâncias e declives acentuados, passando por etapas relativamente planas e de execução relativamente fácil. Cada uma das provas de ciclismo (contra-relógio, montanha ou aquilo a que usualmente se chama rolar na estrada) tem exigências distintas do ponto de vista físico e requer treinos de características distintas. Os atletas com maiores competências para o contra-relógio nem sempre são bons trepadores (subidas de montanhas) e vice-versa, mas no entanto todos participam nas mesmas competições e têm de conseguir uma boa posição mesmo nas provas onde não são especialistas, para terem hipóteses de ir ao pódio quando se trata de competições por etapas. Esta modalidade desportiva é dependente das características do piso, da orografia do terreno, da altitude e das condições meteorológicas (Watt *et al.*, 2002).

Nas camadas mais jovens (cadetes e júniores) é comum encontrar-se ciclistas que competem, numa mesma época, em competições de ciclismo de estrada e de todo-terreno (btt). Estas duas modalidades ciclistas têm características bem distintas entre si,

mas é muito usual que o ciclista de estrada também treine btt e vice-versa. Os atletas mais jovens têm geralmente dificuldade em decidir qual a sua modalidade ciclista de eleição, e daí ser usual participarem em diversas modalidades de competição. Numa fase mais avançada, estes atletas tendem a especializar-se numa única modalidade do desporto ciclista.

I.2 Desportos de Resistência

Os desportos de fundo, ou de resistência, no qual o ciclismo de estrada se inclui, podem ser caracterizados por 4 condições essenciais: $\dot{V}O_2$ max ou potência aeróbia, limiar láctico (LL) ou limiar ventilatório (LV), economia motora e percentagem de fibras musculares tipo 1 (Coyle, 2005, Jones & Carter, 2000, Joyner & Coyle, 2008, Kenney *et al.*, 2011). Segundo Coyle *et al.* (1991), a utilização do glicogénio muscular, a produção de lactato e o desempenho de resistência podem variar muito entre ciclistas de elite que têm valores semelhantes de $\dot{V}O_2$ max. Uma resistência aeróbia elevada, ou seja, a capacidade em manter uma elevada percentagem do $\dot{V}O_2$ max durante bastante tempo, pode ser associada a diversos factores. Num artigo de revisão analisam-se estes factores com algum detalhe, os quais são: uma elevada percentagem de fibras tipo I; a capacidade para armazenar grandes quantidades de glicogénio nos músculos e/ ou fígado; a capacidade de poupar os carboidratos, utilizando mais ácidos gordos como substracto energético; e a capacidade de dissipar eficientemente o calor (Bosquet *et al.*, 2002).

O $\dot{V}O_2$ é o nível de metabolismo aeróbio que pode ser mantido durante um esforço físico, sendo que o $\dot{V}O_2$ max é o seu máximo e é normalmente atingido durante exercícios intensos que movimentam largas massas musculares. Valores elevados de $\dot{V}O_2$ max são típicos em ciclistas de elite (70 a 85 ml.kg⁻¹.min⁻¹) e é habitual encontrarem-se valores de $\dot{V}O_2$ max 50 a 100% mais elevados em atletas de elite que em sujeitos jovens, saudáveis e activos (Joyner & Coyle, 2008). No entanto, valores semelhantes de $\dot{V}O_2$ max também podem ser encontrados em ciclistas amadores de mais

baixo nível competitivo, pelo que são necessárias outras características fisiológicas, tais como a capacidade em manter elevadas percentagens de $\dot{V}O_2\text{max}$ (ex. 90%) durante longos períodos de tempo, para fazer a diferença de sucesso entre ciclistas de elite e profissionais (Lucía *et al.*, 2001).

Quando a variação do $\dot{V}O_2\text{max}$ é pequena entre atletas, como é o caso de atletas muito treinados, esta variável não é suficiente para explicar diferenças de desempenho desportivo. Em vez disso, tende a usar-se a intensidade à qual o $\dot{V}O_2\text{max}$ é atingido, que agrega economia de esforço e $\dot{V}O_2\text{max}$ num único factor, e ajuda a explicar as diferenças de desempenho que estas medições fisiológicas, só por si, não explicam (Costa *et al.*, 2011a).

O limiar láctico (LL), também conhecido por limiar anaeróbio, pode ser definido como a intensidade de esforço que provoca um aumento de 1mmol.L^{-1} de lactato sanguíneo, acima das concentrações de repouso, e é normalmente expresso em $\% \dot{V}O_2\text{max}$. A capacidade de efectuar esforços a elevadas intensidades (elevado $\dot{V}O_2$) sem acumulação de lactato é uma característica que beneficia os atletas, dado que essa acumulação contribui para a fadiga, e é considerado por muitos investigadores um bom indicador do potencial de um atleta para desportos de fundo. Em pessoas sedentárias, o LL ocorre tipicamente a 50-60% do $\dot{V}O_2\text{max}$, enquanto atletas de fundo, bem treinados podem atingir o LL a $\dot{V}O_2$ próximo dos 70-80% do $\dot{V}O_2\text{max}$ (Kenney *et al.*, 2011).

A utilização do LL como indicador do potencial de um atleta tem a desvantagem de ser um teste invasivo e desconfortável para quem está a ser avaliado, uma vez que requer a recolha regular de amostras sanguíneas dos atletas. Como alternativa fiável, pode substituir-se o LL pelo Limiar Ventilatório (LV), o qual se obtém com um aparelho de medição de gases. Este método de medição pode ser um pouco desconfortável para quem o utiliza, dada a necessidade de se aplicar uma máscara na cara para captação dos gases inspirados e expirados, mas é uma técnica de medição não-invasiva e não

dolorosa. Davis (1985) escreveu um artigo de revisão sobre o limiar anaeróbio, tendo relacionado inequivocamente o LL ao LV.

O Limiar Ventilatório 1 (LV1), define-se como o ponto de ruptura ventilatória do VE/VO_2 , e corresponde ao ponto de viragem do VCO_2 em função do VO_2 . Neste ponto, o equivalente ventilatório para o O_2 (VE/VO_2) aumenta sem um aumento do VE/VCO_2 . Este ponto coincide com o início de um aumento sustentado da concentração de lactato sanguíneo a partir dos valores de repouso e pode ser usado para se detectar o limiar láctico de forma não invasiva (Beaver *et al.*, 1986, Caiozzo, 1982). O Limiar Ventilatório 2 (LV2), define-se como o ponto de compensação respiratória do VE/VCO_2 , e é encontrado entre o LV1 e o VO_{2max} . A partir do LV2, o VE/VCO_2 começa a aumentar enquanto o VE/VO_2 mantém o aumento sustentado, reflectindo a compensação ventilatória para reduzir a acidez láctica induzida pelo exercício (Beaver *et al.*, 1986, Kenney *et al.* 2011, Richard *et al.*, 2004). O LV2 associa-se geralmente ao aumento do lactato sanguíneo acima dos 4 mmol.L^{-1} .

A economia de esforço caracteriza-se pela quantidade de energia despendida (medida em consumo de O_2) por unidade de potência produzida ou velocidade atingida. O treino de resistência torna os atletas mais económicos, o que lhes permite manter uma determinada potência gerada (ou velocidade) por mais tempo, antes de se instalar a fadiga. Verifica-se que há diferenças de economia motora entre atletas igualmente treinados, não havendo ainda uma explicação simples e específica para as diferenças encontradas. Muito provavelmente, as diferenças em economia motora encontradas entre atletas da mesma categoria competitiva devem-se a interacções complexas entre factores biomecânicos e fisiológicos (Kenney *et al.*, 2011).

Outro factor que parece contribuir para o desempenho desportivo de ciclistas, durante esforços intensos e prolongados, é a quantidade de massa muscular que o atleta consegue recrutar para partilhar o esforço de produção de potência e o tipo de fibras musculares envolvidas. Segundo Coyle *et al.* (1991), a percentagem de fibras musculares tipo I no Vasto Lateral dos ciclistas está directamente e positivamente

relacionada com a eficiência mecânica medida durante a pedalada no ciclismo ou em simples exercícios de extensão do joelho. Coyle (2005) refere que ciclistas de elite com muitos anos de treino de resistência podem aumentar a proporção de fibras musculares tipo I, e sugere que o ciclista Lance Armstrong (6 vezes vencedor do Tour de France, entre 1999 e 2004, entre outros palmarés, apesar das recentes revelações de dopagem) tenha aumentado a percentagem destas fibras em 60 a 80 % durante o período de 7 anos em que foi sujeito a medições e estudos de carácter fisiológico e mecânico. Este aumento proporcional de fibras tipo I foi conseguido por conversão de fibras tipo II, devido ao continuado e intenso treino de resistência deste atleta. Esta conversão de fibras musculares deveu-se principalmente à alteração das cadeias de miosina pesada, resultando na alteração da actividade da miosina ATPase, e levando a que as fibras tipo II apresentassem mais características das fibras tipo I, e a que as fibras tipo I tivessem maior actividade da ATPase. Estas alterações induzidas por treino intenso e prolongado terão permitido uma maior eficiência na utilização da energia libertada (pela hidrólise do ATP) na conversão de potência. Segundo este autor, a eficiência muscular deste atleta subiu de 21.2 % para 22.7 % em 4.8 anos de treino.

O recrutamento das fibras musculares também tem implicações ao nível da acidose metabólica. Ciclistas que possuem uma maior proporção de fibras tipo II são mais susceptíveis à fadiga e à acumulação de lactato, em relação aos que têm maior proporção de fibras tipo I (Faria *et al.*, 2005b), mas terão algumas vantagens em situações de aumento rápido da potência. Observaram-se correlações elevadas entre os anos de treino ciclista, ou a percentagem de fibras musculares tipo I com a % $\dot{V}O_2$ max no LL, sugerindo que o treino intenso de ciclismo por um período superior a 2 anos promove adaptações musculares e/ou neurológicas.

I.3 Testes em Laboratório

O treino específico de ciclistas de estrada requer um conhecimento, o mais detalhado possível, das características e potencialidades de cada atleta. Nesse sentido, é usual recorrer-se a testes em laboratório para determinar parâmetros fisiológicos que indicam algumas características dos atletas as quais possam ser relacionados com o seu desempenho desportivo.

São inúmeros os testes e protocolos para avaliação de parâmetros de base fisiológica que têm uma elevada correlação com o desempenho em competição. Mas apesar disso, ainda não há consenso sobre qual ou quais os parâmetros que fornecem uma boa previsão do desempenho na competição e que, simultaneamente, sejam de fácil medição, quer no que respeita ao equipamento usado, quer no que respeita à solicitação que se pede a quem está a ser testado. Contudo, a principal especificidade destes testes e protocolos é que forneçam resultados que tenham uma forte relação com o desempenho na competição, de modo a poderem-se utilizar indicadores fisiológicos como ferramenta de planeamento do treino e de selecção de atletas. Nesse sentido, é usual fazerem-se os testes em laboratório, para se ter o maior controlo possível sobre as condições de estudo.

Aunola e Rusko (1984) avaliaram de reprodutibilidade do LV1 e LV2 obtidos por medição de gases respiratórios, e do LL por medição da concentração do lactato sanguíneo, em 33 adultos saudáveis e praticantes regulares de desporto recreativo, com idades entre 19 e 50 anos (média de 33.0 ± 7.8 anos). Fizeram-se testes incrementais em cicloergómetro com patamares de 2 min, com repetição ao fim de uma semana. Os coeficientes de correlação entre os dois testes foram de 0.94 e 0.96 para o LV1 e LV2, respectivamente. A correlação do LL foi inferior (0.68).

Balikian Júnior e Denadai (1996) estudaram 7 atletas de ciclismo e triatlo, comparando resultados obtidos num teste de campo (prova de CR de 40 km em pista) e em laboratório (protocolo progressivo de $40W \cdot 3\text{min}^{-1}$ em cicloergómetro), e obtiveram elevados coeficientes de correlação entre a frequência cardíaca (FC) no LL e a

velocidade no LL do teste de campo e do teste de laboratório. Estes resultados mostraram que se pode ter uma elevada confiança na comparação entre resultados de testes de campo e de laboratório.

Jeukendrup *et al.* (1996) avaliaram a reprodutibilidade dos resultados de 3 testes de desempenho usando ciclistas e triatletas bem treinados (10 sujeitos diferentes em cada teste, num total de 30 sujeitos). Os testes foram feitos em cicloergómetro e consistiram em: a) pedalar a 75% da P_{Omax} até à exaustão; b) 45 min a 70% da P_{Omax}, seguidos de 15 min ao máximo possível; e c) CR de 1 h. Cada teste foi efectuado 6 vezes por cada sujeito. Os coeficientes de variação foram: CV (a) = 26.6%, CV (b) = 3.5 % e CV (c) = 3.4%. estes resultados mostraram que o teste a 75% da P_{Omax} não é reprodutível em laboratório. Em contrapartida, o teste de CR foi aquele que apresentou melhor CV

Schabert *et al.* (1998) estudaram a reprodutibilidade de testes de desempenho de ciclismo de estrada em laboratório. Nesse sentido, delinearam um teste de simulação de 100 km num simulador de treino, utilizando as bicicletas dos próprios ciclistas (N=8), durante o qual havia 4 sprints de 1 km e 4 sprints de 4 km, de modo a tentar reproduzir as condições que ocorrem com frequência em provas de ciclismo de estrada, as quais são caracterizadas por períodos de exercício sustentado pontuado por ciclos de mais ou menos alta intensidade. Cada sujeito efectuou as simulações por 3 vezes, para se avaliar a sua reprodutibilidade. Estes autores avaliaram o coeficiente de variação (CV) dos 3 testes efectuados (CV entre 0.61% e 2.5% para 7 sujeitos) e concluíram que estes CV são bastante inferiores aos CV verificados em testes com carga constante. Os autores concluíram, com base nos seus resultados e numa pesquisa bibliográfica, que os protocolos laboratoriais em que os atletas completam o máximo de trabalho num tempo pré-determinado ou com uma distância pré-definida (como é o caso dos testes que simulam CR), são mais fiáveis como testes de desempenho do que os protocolos de carga constante.

Balmer *et al.* (2000) avaliaram a fiabilidade de resultados obtidos em testes de laboratório (N=9), usando um cicloergómetro em protocolos progressivos com incrementos de 5% da P_{Omax} por minuto, com 3 repetições por sujeito. Os resultados mostraram um coeficiente de variação de 1.32 % na P_{Omax}, o que prova que a P_{Omax} obtida num teste PAM tem elevada fiabilidade e é muito reprodutível.

Doherty *et al.* (2003) estudaram a fiabilidade de um protocolo de elevada intensidade com carga constante. Após um teste incremental para determinação da P_{Omax}, 10 ciclistas moderadamente treinados pedalarão durante 2 min à sua P_{Omax}, imediatamente seguido de 1 min à máxima potência. Este teste foi feito 2 vezes por cada sujeito e o CV médio entre testes foi de 3.6 % para a PO (medida para cada intervalo de tempo de 30 segundos), mostrando a fiabilidade de um teste em que se usa a P_{Omax} como carga constante.

McNaughton *et al.* (2006) compararam protocolos progressivos em cicloergómetro (com 25W por incremento, até à exaustão, com patamares de 3 e 5 minutos de duração), com simulações de CR de 30 minutos, e concluíram que ambos os protocolos progressivos apresentavam correlações semelhantes com os resultados do CR, pelo que ambos poderiam ser usados para prever o desempenho de ciclistas.

Lamberts *et al.* (2009a) estudaram a variabilidade entre sujeitos de um protocolo repetido 6 vezes em cicloergómetro, o qual consistiu em 4 fases: 6 min a 60% da FC_{max} + 6 min a 80% FC_{max} + 3 min FC_{max} + 3 min repouso. Participaram 15 ciclistas bem treinados. Todos os parâmetros medidos nas 2ª e 3ª fases do teste sub-máximo tiveram CV baixos (1.3 a 4.4%), o que mostram serem muito fiáveis.

Num estudo realizado por Costa *et al.* (2011a), 17 ciclistas de competição efectuaram um protocolo progressivo em cicloergómetro, começando em 100 W (após aquecimento) e com incrementos de 15 W.30 seg⁻¹ para obtenção da P_{Omax}. Após esse teste, os atletas fizeram 2 testes à P_{Omax} até à exaustão, com intervalo de uma semana

entre si. Obtiveram-se diferenças significativas nos tempos até à exaustão dos 2 testes, mostrando a pouca reprodutibilidade deste tipo de teste em laboratório.

Os trabalhos acima mencionados permitem concluir que os protocolos que mais se aproximam das condições de competição são aqueles que têm maior fiabilidade nos resultados de indicadores de desempenho. Nesses protocolos, os atletas têm liberdade de escolha da potência gerada e têm de percorrer uma determinada distância no menor tempo possível, ou a maior distância possível num determinado espaço de tempo.

Contudo, este tipo de protocolos tem sido aplicado quase exclusivamente em atletas adultos (com mais de 18 anos) e não em atletas jovens. Montfort-Steiger *et al.* (2005) efectuaram uma série de testes laboratoriais com jovens ciclistas de 15 anos e concluíram que estes jovens eram tão capazes quanto os adultos de realizar os diversos protocolos, registando-se variações muito pequenas entre repetições de testes. Por isso, a utilização de testes laboratoriais para obtenção de indicadores de desempenho em jovens atletas parece ser tão fiável quanto no caso de adultos.

Relativamente a testes de desempenho em sprints (que são mais semelhantes a um teste de potência aeróbia máxima), Watt *et al.* (2002) testaram a variação de testes de sprints com 8 adultos activos. Para isso, cada sujeito fez 3 repetições dos testes, com intervalos de 3 a 5 dias entre cada repetição. Os testes consistiram em efectuar 2 esforços máximos de 30 segundos em cicloergómetro, separados por 4 minutos de repouso. Os coeficientes de variação da P_Omax e P_O média foram, respectivamente, de 1.6 e 1.2%. Os autores concluíram que os testes com sprints têm erros suficientemente pequenos que fornecem uma precisão adequada quando se tem uma pequena amostragem.

I.4 Indicadores de Desempenho

São inúmeros os testes laboratoriais feitos com o objectivo de se obterem indicadores de desempenho em ciclistas.

Num estudo de Coyle *et al.* (1991) relacionou-se o desempenho num CR (contra-relógio) de 40 km (competição real em estrada) com um teste de 1 h de CR simulado em laboratório, e obtiveram-se correlações elevadas ($r=-0.88$) entre o tempo do CR de 40 km e a PO média (W) do teste em laboratório. Além disso, os ciclistas avaliados por estes autores (N=15) tinham um $\dot{V}O_2\text{max}$ muito semelhantes entre si, mas diferiam no $\dot{V}O_2$ no limiar láctico (LL). A PO do teste laboratorial estava significativamente relacionada com o $\dot{V}O_2$ no LL ($r=0.93$), pelo que estes autores concluíram que a potência gerada no LL proporcionava um bom indicador de desempenho ciclista. Resultado semelhante foi obtido por Costa *et al.* (2011b) que tiveram relações muito significativas entre a duração de um CR de 10 km em terreno e a PO por unidade de peso desse mesmo CR.

Hawley e Noakes (1992) avaliaram o desempenho de 19 ciclistas treinados com idade média de 24.2 (± 4.1 anos) num CR de 20 km em estrada (4 voltas em circuito de 5 km) e obtiveram relações significativas muito elevadas ($p < 0.001$) entre o tempo do CR e o $\dot{V}O_2\text{max}$ ($r^2 = 0.97$) ou a PO_{max} ($r^2 = 0.91$). Os valores de $\dot{V}O_2\text{max}$ e PO_{max} foram obtidos em laboratório, num teste incremental prévio ao CR. Os autores concluíram que, em ciclistas bem treinados, o $\dot{V}O_2\text{max}$ pode ser determinado com um elevado grau de confiança pela PO_{max} e que, por sua vez, a PO_{max} é um bom indicador de desempenho de contra-relógios de 20 km.

Balikian Júnior e Denadai (1996) avaliaram ciclistas bem treinados (N= 7), com 21.2 ± 2.1 anos de idade, em testes de campo (CR de 40 km em pista) e em laboratório (protocolo progressivo de 40W. 3min⁻¹ em cicloergómetro), e concluíram que o LL determinado em teste de campo apresenta uma correlação significativa ($r = 0.96$) com o

desempenho do CR no terreno. Estes autores concluíram que o LL determinado com base em testes de campo pode ser usado para prever o desempenho em provas de ciclismo com predomínio aeróbio, e também para avaliar os efeitos de treinos de base aeróbia.

Balmer *et al.* (2000) obtiveram elevadas correlações ($r=0.99$) entre a PAM (potência aeróbia máxima) medida em cicloergómetro, com um protocolo progressivo (com incrementos de 5% da PO_{max} . min^{-1}) e a PO média num CR de 16.1 km no terreno (N=9).

Lucia *et al.* (2004) investigaram a relação entre variáveis fisiológicas obtidas num cicloergómetro e o tempo real de um CR de mais de 50 km de distância durante o Tour de France, e obtiveram uma relação negativa significativa entre a PO (W) no LV1 e a duração do CR. Estes autores não encontraram outras variáveis fisiológicas significativamente relacionadas com o desempenho no CR.

Em dois artigos de revisão, Faria *et al.* (2005a e 2005b) concluíram que o LV2 é um excelente indicador de desempenho de resistência, quer em % do $\dot{V}O_2max$, quer em PO (W). Além disso, concluíram que a PO máxima obtida num teste de protocolo incremental pode ser usada como previsora do desempenho ciclista. Semelhante conclusão foi obtida por Burnley e Jones (2007).

Amann *et al.* (2004 e 2006) avaliaram diferentes métodos para prever o desempenho de um CR de 40 km. Nesse sentido analisaram 15 ciclistas em cicloergómetros com 2 protocolos progressivos: a) com início a 100 W após aquecimento, e com incrementos de $50W.3 min^{-1}$ até à exaustão (para medição do LL); e b) com início a 20W e incrementos de $25W.min^{-1}$ (para medição do LV1) e compararam os resultados com um CR 40 km. Estes autores concluíram que a PO no LV1 dava um melhor indicador de desempenho do CR de 40 km do que a PO no LL.

McNaughton *et al.* (2006) compararam os resultados de dois testes progressivos em laboratório, com incrementos de 25W a cada 3 e 5 minutos, com um CR simulado em cicloergómetro de 30 minutos de duração, em 11 homens de 25 ± 5 anos de idade. Os resultados mostraram que a P_Omax e o LL apresentavam coeficientes de correlação elevados e semelhantes entre ambos os protocolos para a PO média do CR. Os autores sugerem que a P_Omax num teste incremental pode ser usada como indicador de desempenho.

Lamberts *et al.* (2009a) testaram um protocolo sub-máximo em cicloergómetro com 15 ciclistas bem treinados (idades entre 18 e 40 anos, e média de 31 ± 4 anos), com o objectivo de obter um indicador de desempenho com base na frequência cardíaca (FC). Cada atleta fez os seguintes testes: 1) teste sub-máximo com base na frequência cardíaca máxima (FC_{max}) de 6 min a 60% FC_{max}, seguido de 6 min a 80% FC_{max} e mais 3 min a 90% FC_{max}; 2) protocolo progressivo até à exaustão; e 3) CR de 40 km. Os testes 1) foram feitos 6 vezes por cada sujeito, aos quais se seguiram, após 5 minutos de repouso, 3 testes 2) e 3 testes 3). Os testes foram feitos ao longo de 4 a 5 semanas. Os autores encontraram uma forte correlação entre a PO média na 3ª fase do teste sub-máximo (90% FC_{max}) e a P_Omax e $\dot{V}O_2$ max do teste progressivo, assim como com a duração e PO média no CR de 40 km ($r = 0.91 - 0.94$). Não se encontraram relações significativas entre a FC em repouso e indicadores de desempenho. Os autores sublinham a vantagem de se usar testes sub-máximos para avaliar o desempenho e o progresso nos treinos, em comparação com testes máximos até à exaustão, uma vez estes que não interferem com o programa de treinos e competições dos ciclistas e não parecem provocar fadiga adicional.

A PAM (potência aeróbia máxima) corresponde à potência mínima para se atingir o $\dot{V}O_2$ max. Esta é a potência que permite solicitar o $\dot{V}O_2$ max durante o mais longo tempo possível. Num teste progressivo feito em laboratório, num cicloergómetro ou num simulador de treino, a P_Omax atingida, e sustentada durante um certo período de tempo, corresponde à PAM. Esta P_Omax é diferente daquela que se atingiria num teste *all-out* do tipo Wingate, em que o sujeito é incentivado a produzir a máxima potência num

curto espaço de tempo. Os testes progressivos implicam que os sujeitos mantenham uma potência pré-determinada durante um período de tempo específico (normalmente, entre 1 e 5 minutos), pelo que a manutenção dessa potência no tempo leva à determinação da PAM. Por esta razão, quando muitos autores se referem à POmax atingida num teste progressivo, estão a referir-se à PAM e não à potência máxima absoluta que o sujeito consegue produzir. Assim, neste trabalho, quando se referem estudos de outros autores com valores de POmax obtidos em testes progressivos, está-se de facto a falar da PAM.

A PAM (ou POmax num teste progressivo) é bem aceite como um dos indicadores mais válidos para avaliar a eficiência do sistema de transporte de oxigénio no ser humano. Contudo, os resultados de medições da PAM dependem da especificidade do exercício físico que é feito (por ex: corrida tem valores diferentes de ciclismo sentado e este de ciclismo em pé), pelo que só se devem comparar valores de PAM para o mesmo tipo de exercício (Bouchard *et al.*, 1979).

I.5 Cinética do $\dot{V}O_2$

A cinética do $\dot{V}O_2$ representa a variação do consumo de O_2 ($\dot{V}O_2$) durante esforços físicos, e permite avaliar o tempo necessário para se atingirem níveis elevados de resposta dos sistemas respiratório, circulatório e de transporte de oxigénio.

Na curva da cinética do $\dot{V}O_2$ observa-se uma primeira fase (Fase I: cardio-dinâmica, componente rápida) em que o $\dot{V}O_2$ aumenta abruptamente. Isto deve-se, por um lado, a um aumento do retorno de sangue venoso através da actividade muscular, e por outro lado, a um aumento da produção ventricular direita que eleva o fluxo de sangue pulmonar. Nesta fase, o sangue que retorna aos pulmões ainda não foi sujeito a uma maior extracção de oxigénio pelos músculos, pelo que as pressões parciais de O_2 e CO_2 não se alteram muito nesta fase, em relação aos valores de repouso. A alteração brusca destas variáveis, assim como o aumento do $\dot{V}O_2$, que se mantém exponencial,

representam a segunda fase (Fase II: componente fundamental ou primária), que dura cerca de 20 segundos e sinaliza o começo da terceira fase (Fase III: fase estacionária, ou lenta) na resposta do $\dot{V}O_2$. A Fase II reflecte a cinética do consumo de oxigénio muscular. A constante temporal do $\dot{V}O_2$ pulmonar reflecte a constante temporal do $\dot{V}O_2$ muscular com um desfasamento de $\pm 10\%$, pelo que se pode usar com alguma segurança o $\dot{V}O_2$ pulmonar como reflexo do $\dot{V}O_2$ muscular (Burnley & Jones, 2007, Ozyener, 2011).

O cenário acima apresentado só se aplica para esforços de intensidade abaixo do limiar láctico (LL). Acima deste limiar, existe uma outra fase a que se chama “componente lenta” do $\dot{V}O_2$. Esta componente lenta representa um aumento continuado do $\dot{V}O_2$ após a Fase II, o qual é consideravelmente mais lento que na Fase II, e só se observa para esforços acima do LL, levando ao aumento do $\dot{V}O_2$ acima do valor estacionário que ocorreria na Fase III para esforços abaixo do LL. A fase estacionária que ocorre em esforços de intensidade pesada aparece geralmente com uma componente lenta, que representa o aumento do custo energético devido a uma redução da eficiência do esforço (Barstow & Molé, 1991). Bearden e Moffat (2000) mostraram que a componente lenta é um aumento fisiológico das necessidades de O_2 , que ocorre com atraso no tempo. Esta componente lenta ocorre apenas em esforços de elevada intensidade e contribui para a limitação do exercício.

Os mecanismos responsáveis pela ocorrência da componente lenta ainda não estão bem estabelecidas, mas é geralmente aceite que a percentagem de fibras tipo II nos músculos sujeitos a esforços intensos influencia a contribuição relativa da componente lenta na resposta do $\dot{V}O_2$ (Barstow *et al.*, 1996). Cannon *et al.* (2011) demonstraram que a fadiga muscular está correlacionada com o aumento das necessidades energéticas em esforços de intensidade elevada, sugerindo o recrutamento adicional de fibras musculares ineficientes (tipo II) e/ ou a redução da eficiência mecânica das fibras musculares fatigadas. Outros factores contribuem para o aparecimento da componente lenta, mas parece que a sua contribuição é mínima, em comparação com a contribuição

do consumo de oxigénio pelo músculo esquelético. Esses outros factores são: o aumento da concentração de lactato/ piruvato no sangue, o aumento da concentração de fósforo inorgânico e de hidrogeniões nos músculos, o aumento do trabalho ventilatório e cardíaco, a eliminação do lactato ou o aumento da temperatura, por exemplo. A amplitude da componente lenta aumenta com a intensidade do esforço (Carter *et al.*, 2002).

O estudo da cinética do $\dot{V}O_2$ é muito importante no caso de esforços intensos de curta duração, em que se determina o tempo que demora a atingir o $\dot{V}O_{2max}$. A cinética inicial é particularmente importante e reflecte a adaptação aeróbia ao treino. A rapidez com que se atinge um elevado $\dot{V}O_2$ tem uma importância óbvia para desportos de curta duração, pois reflecte a utilização de O_2 pelas fibras musculares. Contudo, este perfil também influencia o desempenho em esforços de longa duração, porque é um indicador da resposta mitocondrial (reflecte a capacidade mitocondrial instalada). Os atletas de fundo têm curvas de aceleração inicial do $\dot{V}O_2$ muito rápidas, pelo que a constante temporal se torna um parâmetro útil das adaptações aeróbias no foro do metabolismo muscular.

O τ é a constante temporal da cinética do oxigénio e equivale a cerca de 63% do tempo que demora a atingir-se o equilíbrio no consumo de O_2 , para uma determinada intensidade de esforço. O τ tende a ser mais lento em esforços intensos, quando comparado com esforços moderados (Carter *et al.*, 2002). Além disso, o τ da componente lenta pode ser 50 vezes, ou mais, superior ao τ da componente fundamental (Fase II) (Bearden *et al.*, 2004).

A magnitude e o perfil da cinética do $\dot{V}O_2$ durante um teste incremental em cicloergómetro têm sido usados como características que determinam a tolerância ao esforço, ou seja, variação do $\dot{V}O_2$ com a variação da potência, a resposta do τ e o seu máximo (Ozyener, 2011).

Ferri (2012) sugere que a cinética do $\dot{V}O_2$ é um bom indicador de desempenho de resistência aeróbia. Atletas com uma cinética do $\dot{V}O_2$ mais rápida terão melhor desempenho porque atingem o $\dot{V}O_{2max}$ mais depressa e terão menor déficit de O_2 , acumulando menos lactato e outros metabolitos associados com o processo de fadiga, pelo que deverão ter melhor tolerância ao esforço.

Em testes de intensidade progressiva, o consumo de O_2 aumenta rapidamente no início e depois atinge o equilíbrio ou um valor máximo, sendo que a transição para o equilíbrio é um indicador da capacidade de recuperação para restabelecer a condição de equilíbrio relativa às necessidades energéticas do esforço. A alteração da cinética do $\dot{V}O_2$ ocorre após treino de resistência em sujeitos não treinados (Norris & Petersen, 1998).

I.6 Objectivos

Os objectivos do presente trabalho são os seguintes:

- Documentar as características fisiológicas de um grupo de jovens atletas ciclistas, com idades entre 14 e 18 anos, contribuindo para aumentar o conhecimento das capacidades físicas em atletas desta faixa etária.
- Estudar a relação entre variáveis fisiológicas e indicadores de desempenho em jovens atletas de ciclismo deste nível etário.
- Caracterizar a cinética do oxigénio em jovens atletas de ciclismo deste nível etário e determinar indicadores de desempenho com base nessa cinética.
- Investigar variáveis que prevejam o desempenho desportivo dos jovens atletas, e comparar com indicadores de desempenho aplicados a atletas adultos.
- Os resultados obtidos com este trabalho poderão ajudar a identificar talentos desportivos, assim como as capacidades fisiológicas que necessitam ser mais treinadas para otimizar o desempenho.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

II:1. Sujeitos Avaliados

Os sujeitos deste estudo foram jovens ciclistas masculinos (N= 14), que participam assiduamente em provas federadas nacionais de ciclismo de estrada. Alguns destes atletas também participam regularmente em provas de btt, principalmente em provas de XCO (*cross country*). No ANEXO I apresentam-se os dados individualizados dos jovens atletas avaliados, os quais tinham idade de 15.8 ± 1.05 anos, altura de 172.2 ± 8.36 cm, peso de 59.4 ± 8.80 kg, e 15.0 ± 16.16 meses de treino ciclista estruturado (com treinador).

II.2.Procedimento Experimental

Os testes efectuados aos jovens atletas de ciclismo consistiram em 3 sessões: 1) Protocolo progressivo (PP), 2) Potência aeróbia máxima (PAM) e 3) Contra-relógio (CR). Todos os testes foram realizados num local fechado mas devidamente ventilado, em que os atletas utilizaram as suas próprias bicicletas, montadas num simulador de treino TACX Vortex, com o TACX Trainer software 4 Advanced T1990.04 (Holanda). Este equipamento mede a potência gerada (PO), a cadência de pedalada, a velocidade, e o tempo decorrido de cada sessão de treino. A frequência cardíaca (FC) foi medida com uma banda de frequência cardíaca da Garmin, compatível com o software do simulador de treino, mas houve problemas com este equipamento durante os testes, pelo que falharam muitas das medições de FC. Antes de cada sessão, e para cada atleta, fez-se a calibração do simulador de treino, introduzindo o peso dos atletas e seguindo as instruções do fornecedor. Os dados do simulador de treino foram registados continuamente e avaliados a cada 10 segundos.

Durante as sessões de PP e PAM, foram também medidas as trocas gasosas, ou seja, a ventilação pulmonar (VE), o consumo de O₂ e expiração de CO₂, os quais foram medidos continuamente com um medidor de gases portátil, modelo Metamax 3B Portable CPX System (MM3B) e registados com o software MetaSoft3, versão 3.9.5 SR1 (Cortex Biophysik GmbH, Leipzig, Alemanha). A VE foi calculada por integração do fluxo gasoso medido na boca do sujeito através de um sensor de fluxos de massa. A calibração do volume foi feita antes de se iniciarem as medições. O $\dot{V}O_2$ e o $\dot{V}CO_2$ foram determinados por monitorização contínua da PO₂ e PCO₂ na boca do sujeito durante todo o ciclo respiratório e recorrendo a equações de balanço de massa. A calibração dos analisadores de O₂ e CO₂ foi feita no início dos testes, recorrendo a misturas de gases de composição conhecida. A RER (Respiratory Exchange Ratio ou Taxa de Troca Respiratória) foi calculada por $\dot{V}O_2 / \dot{V}CO_2$. O $\dot{V}O_{2max}$ foi o mais elevado valor de $\dot{V}O_2$ obtido durante 30 segundos no teste PP.

Estas medições permitiram obter os Limiares Ventilatórios LV1 e LV2. O Limiar Ventilatório 1 (LV1) define-se como o ponto de ruptura ventilatória do VE/ $\dot{V}O_2$, e corresponde ao ponto de viragem do $\dot{V}CO_2$ em função do $\dot{V}O_2$. Neste ponto, o equivalente ventilatório para o O₂ (VE/ $\dot{V}O_2$) aumenta sem um aumento do VE/ $\dot{V}CO_2$. Este ponto coincide com o início de um aumento sustentado da concentração de lactato sanguíneo. O Limiar Ventilatório 2 (LV2), define-se como o ponto de compensação respiratória do VE/ $\dot{V}CO_2$, e é o limiar entre o LV1 e o $\dot{V}O_{2max}$. A partir do LV2 o VE/ $\dot{V}CO_2$ começa a aumentar enquanto o VE/ $\dot{V}O_2$ mantém o aumento sustentado, reflectindo a compensação ventilatória para a acidez láctica induzida pelo exercício (Kenney *et al.*, 2011, Richard *et al.*, 2004), e associa-se geralmente ao aumento do lactato sanguíneo acima dos 4 mmol.L⁻¹. De referir que tanto o LV1 como o LV2 foram determinados por 2 observadores experientes e independentes, pela observação dos gráficos.

A avaliação cardiorrespiratória da cinética do consumo de oxigénio foi obtida no teste da PAM, com o medidor de gases.

Os testes foram feitos antes do início da época das competições nacionais, ou seja, no final da fase de treino de preparação específica, à excepção da prova de CR de um grupo de atletas, a qual foi realizada após a primeira competição da época.

As sessões de testes efectuados foram as seguintes e pela ordem apresentada:

1) Protocolo progressivo (PP). Nesta primeira sessão, os atletas seguiram um protocolo progressivo com potência inicial de 90 W e incrementos de 30 W. min⁻¹, até à exaustão. O simulador de treino foi programado para aumentar a resistência em 30W por minuto, de modo que, a cada minuto, aumentava a resistência que o simulador de treino fazia às pedaladas, obrigando os atletas a exercerem mais força de cada vez que aumentava a potência gerada expectável.

Antes do início de cada sessão de PP os atletas efectuaram 5 minutos de aquecimento no simulador de treino, após os quais começava o teste. Durante todo o PP, os atletas puderam escolher livremente a cadência de pedalada, e tiveram acesso à potência que lhes era requerida produzir e a potência realmente produzida.

Ao aproximar-se o estado de exaustão, os atletas eram verbalmente incentivados pelo seu treinador a não desistirem facilmente e a darem o seu máximo. A sessão terminava quando o atleta não conseguia manter a potência requerida ou quando desistia voluntariamente. Registou-se o valor máximo de potência produzida (POmax). Após término do teste PP, os atletas mantinham-se nos simuladores de treino, pedalando ou não - consoante as suas forças – durante mais uns 5 minutos em que se continuou a registar a FC e a troca de gases.

Devido a falhas no equipamento, houve muitos testes PP onde não se conseguiu medir a FC dos atletas.

Com o teste PP, obteve-se a potência máxima (POmax) que cada atleta conseguiu gerar, definida como a média da potência gerada no último patamar do teste ou, no caso de não se ter completado o patamar na sua duração total de 60 segundos, a média dos

últimos 40 segundos. Estes valores de PO_{max} foram arredondados à dezena, uma vez que o software do simulador de treino só permitia pré-definir a potência com um detalhe até às dezenas, e foram utilizados como a Potência Aeróbia Máxima (PAM).

2) Potência aeróbia máxima (PAM). O teste da PAM foi feito, num dos casos, no mesmo dia do teste do PP, tendo os atletas descansado pelo menos, uma hora e meia entre os testes. Noutros casos, o teste da PAM foi feito uma semana após o PP.

No teste PAM, os jovens atletas tentaram manter a potência pré-definida (PO_{max} do teste anterior) pela maior duração possível. O teste terminava quando essa potência-alvo não era mantida durante 10 segundos (permitindo-se uma variação nunca superior a 5% em relação à potência exigida), ou quando o atleta desistia voluntariamente por exaustão.

Com este teste obtiveram-se os dados da cinética do $\dot{V}O_2$.

3) Contra-relógio (CR). Com um intervalo de cerca de 2 semanas em relação ao teste da PAM, fez-se um CR de 20 minutos no simulador de treino TACX usado nos testes anteriores, com o objectivo de medir a distância percorrida por cada atleta durante esse intervalo de tempo. Neste teste, mediram-se a velocidade, PO e cadência com o software TACX Trainer 4 Advanced e, em simultâneo, mediu-se a frequência cardíaca com um frequencímetro Garmin.

Em todos os testes, os atletas foram acompanhados pelo seu treinador e incentivados a atingir os melhores resultados possíveis. Os seus colegas de treino encontravam-se sempre nas proximidades do local dos testes, estimulando o espírito competitivo de cada um. Os atletas tinham acesso aos dados, em tempo real, da velocidade, potência gerada e FC (quando disponível). No teste de CR de 20 minutos de duração, os atletas tinham também acesso verbal ao tempo que faltava para finalizar a prova, com comunicações aos 10, 15, 18 e 19 minutos. Os atletas tiveram acesso livre a água durante todos os testes.

Os resultados dos testes ($\dot{V}O_{2max}$, limiares ventilatórios e $PO_{média}$) só foram fornecidos aos treinadores após a realização da totalidade das sessões, de modo a não influenciar os treinos dos atletas e a não enviesar os resultados.

II.3.Determinação dos Parâmetros da Cinética do $\dot{V}O_2$

Os dados do consumo de oxigénio ($\dot{V}O_2$) ao longo do tempo, obtidos no teste PAM (de carga constante), foram utilizados para a curva da cinética do $\dot{V}O_2$. Depois de retirados os valores correspondentes à Fase I (cardiodinâmica), e após se terem retirado valores aberrantes (“outliers”), modelaram-se os restantes dados numa curva exponencial de 2ª ordem, correspondente à Fase II (componente primária), a qual é descrita pela seguinte função:

$$VO_2(t) = VO_{2base} + A_1 \left(1 - e^{-\left(t - \frac{td1}{\tau1}\right)} \right) U_1$$

onde $U_1=0$ para $t > td1$ e $U_1=1$ para as restantes situações,

sendo $VO_2(t)$ - $\dot{V}O_2$ num dado instante t , VO_{2base} - $\dot{V}O_2$ de repouso (média do $\dot{V}O_2$) nos últimos 30 segundos antes de começar o exercício), $td1$ - o tempo de atraso na fase da componente primária, e $\tau1$ e $A1$ - constante temporal e amplitude da componente primária.

Estes parâmetros foram calculados por processos iterativos, utilizando-se o método dos mínimos quadrados.

II.4. Análise Estatística

Na análise estatística dos resultados utilizou-se o software SPSS 19.0.0 da IBM. Não se testou a normalidade da amostra, uma vez que esta era inferior a 30.

A regressões lineares foram consideradas significativas sempre que $p \leq 0.05$, ou seja, com um nível de significância de 95%. As equações das rectas das regressões lineares foram sempre apresentadas com o erro padrão do declive e da constante.

Utilizou-se o Coeficiente de Correlação de Pearson para se avaliar a influência e inter-relação entre variáveis.

III. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

III.1. Resultados dos Testes

As médias e desvios-padrão dos resultados obtidos com os testes efectuados são apresentados na Tabela III.1, e os resultados destes mesmos teste para cada sujeito avaliado são apresentados no ANEXO II. Refira-se que a P_{Omax} de cada sujeito, resultante do teste PP, foi a utilizada no teste PAM. Contudo, durante o teste PAM, os jovens atletas nem sempre conseguiram manter a PAM alvo, pelo que a PAM que realmente foi produzida durante esse teste poderá ser um pouco diferente da P_{Omax} do teste PP.

Pela Tabela 1 do ANEXO II, pode ver-se que a potência realmente gerada no teste PAM variou bastante entre os atletas (entre 240 e 460 W), ou seja, uma variação de 48% em relação ao máximo registado, o que mostra bem a diversidade de capacidade de gerar potência entre os jovens avaliados. Uniformizando os resultados de PAM em relação à massa corporal, obteve-se uma PAM média de 5.1 (\pm 0.57) W.kg⁻¹, com uma variação de 30% em relação ao valor máximo atingido. A uniformização da PAM por unidade de peso mostra uma variação menor da potência gerada entre os atletas avaliados, do que a PAM em termos absolutos.

No que respeita à duração do teste PAM, que representa o tempo até à exaustão (T_{lim}) esta foi muito diversa (entre 35 e 174 segundos), com uma taxa de variação muito elevada (80%). Relativamente à velocidade média atingida durante o teste PAM, esta variou entre 27 e 63 km.h⁻¹, ou seja, uma variação de quase 54% em relação ao valor máximo registado, com uma média de 45.8 km.h⁻¹.

O $\dot{V}O_2$ max dos sujeitos analisados variou entre 2.7 e 5.6 L.min⁻¹, com uma média de 4.0 L.min⁻¹, ou seja, uma variação de quase 52% em relação ao valor máximo (Tabela 2 do

ANEXO II). Reportando o $\dot{V}O_2\text{max}$ em $\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, a variação dos resultados decresceu para 36.5% em relação ao valor máximo obtido.

Os limiares ventilatórios LV1 e LV2 de cada atleta são apresentados nas Tabelas 3 e 4 do ANEXO II. O $\dot{V}O_2\text{-LV1}$ variou entre 1.8 e 3.8 L.min^{-1} (correspondendo a cerca de 53% de variação), 41.1 e 55.3 $\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ (com 26% de variação) e 61.7 e 82.2 % do $\dot{V}O_2\text{max}$ (com 25% de variação). No que se refere à potência gerada no LV1, esta foi de 192 W em média, mas variou 47% em relação ao valor máximo. Pode observar-se na Tabela 3 do ANEXO II que as PO mais elevadas correspondem, de certo modo, a valores mais elevados de $\dot{V}O_2$ nesse limiar. Os resultados obtidos mostram grandes variações entre atletas, tal como se tinha verificado com os resultados das Tabelas 1 e 2 do ANEXO II.

O $\dot{V}O_2\text{-LV2}$ variou entre 2.5 e 4.9 L.min^{-1} (com 49% de variação), entre 47.0 e 73.6 $\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ (com 36% de variação) e entre 83 e 93% do $\dot{V}O_2\text{max}$ (com 11% de variação). A potência média gerada no LV2 foi de 250 W, com variação de 53% em relação ao valor máximo.

Na Tabela 5 do ANEXO II apresentam-se os resultados, para cada sujeito, do terceiro teste efectuado, o teste de CR com duração de 20 minutos. A distância percorrida no contra-relógio, e a velocidade média variaram entre 8.41 e 12.12 km e entre 25.2 e 36.9 km.h^{-1} , com uma variação de 31% em relação ao valor máximo. No que se refere à Cadência de pedalada, a média obtida foi de 98 rpm, com mínimo de 83 e máximo de 110. ou seja, com uma variação de quase 25%. A variação da Cadência durante o contra-relógio foi inferior à variação das outras variáveis medidas.

Tabela III.1 – Resultados médios e desvios-padrão dos testes efectuados com os jovens atletas.

Teste realizado	Variável	Média	D.P.
Teste PAM	PAM (W)	306.8	60.06
	PAM (W kg ⁻¹)	5.10	0.57
	Duração do teste PAM (seg)	87.4	41.97
	Velocidade média (km h ⁻¹)	45.8	10.48
	Cadência média (rpm)	122,5	15,55
	$\dot{V}O_2$ max (L.min ⁻¹)	4,0	0,82
	$\dot{V}O_2$ max (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	67,5	7,59
LV1	$\dot{V}O_2$ -LV1 (L.min ⁻¹)	2,8	0,56
	$\dot{V}O_2$ -LV1 (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	46,1	4,73
	$\dot{V}O_2$ -LV1 (% $\dot{V}O_2$ max)	68,7	4,87
	PO-LV1 (W)	191,9	38,33
	PO-LV1 (% da PAM)	62,7	6,61
LV2	$\dot{V}O_2$ -LV2 (L.min ⁻¹)	3,6	0,73
	$\dot{V}O_2$ -LV2 (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	59,8	7,07
	$\dot{V}O_2$ (-LV2 % $\dot{V}O_2$ max)	89,0	2,98
	PO-LV2 (W)	250,0	55,19
	PO-LV2 (% PAM)	81,1	6,35

(continuação da Tabela III.1)

CR	Distância (km)	9,90	1,01
	Vel. média (km.h ⁻¹)	29,9	3,07
	PO média (W)	198,9	38,93
	PO média (W.kg ⁻¹)	3,3	0,37
	Cadência média (rpm)	97,9	8,40
	FC média (bpm)	184,2	5,43
	FC máx (bpm)	198,2	6,07
Cinética do $\dot{V}O_2$	τ (s)	11.84	3.537
	Amplitude (ml)	2427	864.8
	Coef. correlação, R	0.84	0.161
	R dos resíduos	0.03	0.249
	Soma dos resíduos	30.73	116.709

Os resultados da cinética do $\dot{V}O_2$, obtidos com o teste PAM foram ajustados com equações exponenciais de 2ª ordem, para se obter a constante temporal (τ) e a amplitude do $\dot{V}O_2$. Estes valores médios, juntamente com o ajustamento da curva aos dados experimentais e as variáveis de controlo (ajustamento à recta e soma dos resíduos) são apresentados na Tabela III.1, e os dados referentes a cada sujeito estão na Tabela 6 do ANEXO II. Os valores médios correspondem a 11 sujeitos, porque 3 dos atletas não tiveram resultados passíveis de serem modelados. O τ médio foi de 11.8 s e variou entre 5.99 s e 15.96 s, ou seja, teve uma variação de 62% em relação ao valor máximo, variação essa muito elevada. A amplitude média do $\dot{V}O_2$ foi 2427 mL.-min⁻¹, com uma

variação de 38%. O coeficiente médio de correlação dos dados experimentais às curvas exponenciais foi de 0.84, com um mínimo de 0.59 e um máximo de 1.00. À excepção de 2 sujeitos, não se atingiu o $\dot{V}O_2$ max nos testes efectuados, mas a maioria dos jovens atingiu um patamar do $\dot{V}O_2$ (houve um que não o atingiu). Neste estudo praticamente não se observaram componentes lentas do $\dot{V}O_2$, o que se deve muito provavelmente ao pouco tempo de duração do teste (normalmente, a componente lenta ocorre após cerca de 2 minutos de esforços intensos).

III.2. Análise dos Resultados

III.2.1. Indicadores de desempenho

Numa primeira análise, fizeram-se regressões lineares entre a distância percorrida no contra-relógio de 20 min – Distância do CR e variáveis medidas durante os testes efectuados, assim como variáveis relacionadas com as características dos atletas avaliados. O objectivo desta análise exploratória foi avaliar a influência das variáveis estudadas no desempenho dos jovens atletas, de modo a obter-se um ou mais indicadores de desempenho. Assim, e de acordo com os resultados obtidos (Tabela III.2), registaram-se regressões lineares significativas entre a Distância percorrida no CR e: peso (kg), PAM (W), $\dot{V}O_2$ max ($L \cdot \text{min}^{-1}$), $\dot{V}O_2$ -LV1 ($L \cdot \text{min}^{-1}$), $\dot{V}O_2$ -LV2 ($L \cdot \text{min}^{-1}$) e PO-LV2 (W).

Tabela III.2 – Regressões lineares estatisticamente significativas ($p < 0.05$), entre a Distância percorrida no CR (km) as variáveis estudadas. Valores entre parêntesis são o erro padrão.

Variável independente	r^2	Declive da recta	Constante
Peso (kg)	0.63	0.095 (0.022)	4.24 (1.308)
PAM (W)	0.71	0.014 (0.003)	5.58 (0.902)
$\dot{V}O_2\text{max}$ (L.min ⁻¹)	0.48	0.827 (0.261)	6.56 (1.078)
$\dot{V}O_2\text{-LV1}$ (L.min ⁻¹)	0.52	1.34 (0.390)	6.11 (1.126)
$\dot{V}O_2\text{-LV2}$ (L.min ⁻¹)	0.56	1.05 (0.280)	6.12 (1.031)
PO-LV2 (W)	0.65	0.015 (0.03)	6.04 (0.877)

Os gráficos que ilustram estas regressões significativas são os seguintes:

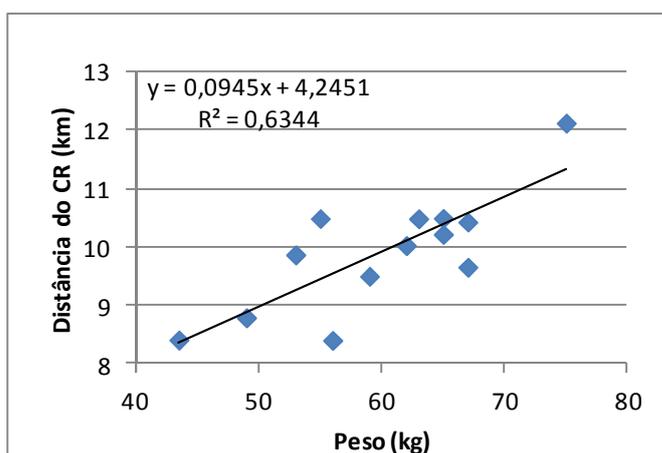


Gráfico 1 – Relação entre o Peso dos atletas e a Distância percorrida no contra-relógio (CR) de 20 min.

De um modo geral, quanto maior o peso de um atleta, maior será a sua massa muscular e, conseqüentemente, maior será a potência gerada numa pedalada, pelo que se percorre uma maior distância num determinado intervalo de tempo.

No Gráfico 2 pode observar-se uma tendência relativamente linear entre as duas variáveis, o que tem sentido dado que a potência máxima que um atleta é capaz de gerar num teste de protocolo progressivo está directamente relacionada com a distância percorrida nesse protocolo, levando a pressupor que também esteja relacionada com a PO produzida (e distância percorrida) noutro tipo de protocolos (neste caso, o CR).

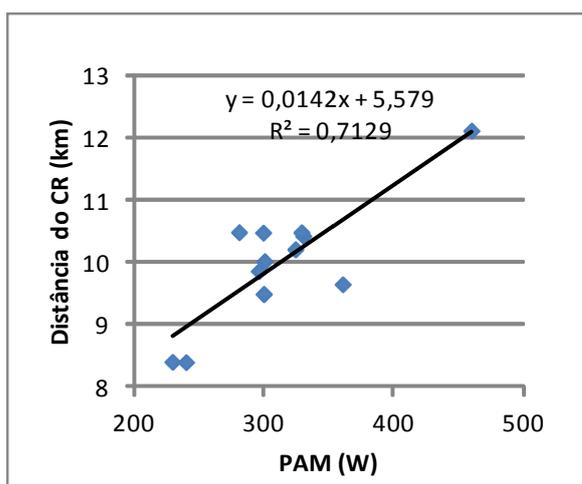


Gráfico 2 – Relação entre a Potência aeróbia máxima (PAM, em W), e a Distância percorrida no contra-relógio (CR) de 20 min.

No Gráfico 3 consegue observar-se uma tendência linear entre as variáveis avaliadas, o que seria de esperar, dado que o $\dot{V}O_2\text{max}$ ($L \cdot \text{min}^{-1}$) é considerado um indicador de desempenho (Joyner & Coyle, 2008). Já o $\dot{V}O_2\text{max}$ em $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ não apresentou uma relação linear significativa com a Distância no CR.

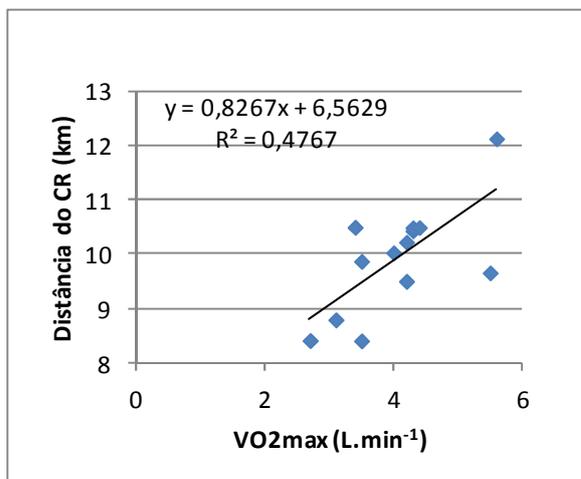


Gráfico 3 – Relação entre o $\dot{V}O_{2max}$ ($L \cdot min^{-1}$) e a Distância percorrida no contra-relógio (CR) de 20 min.

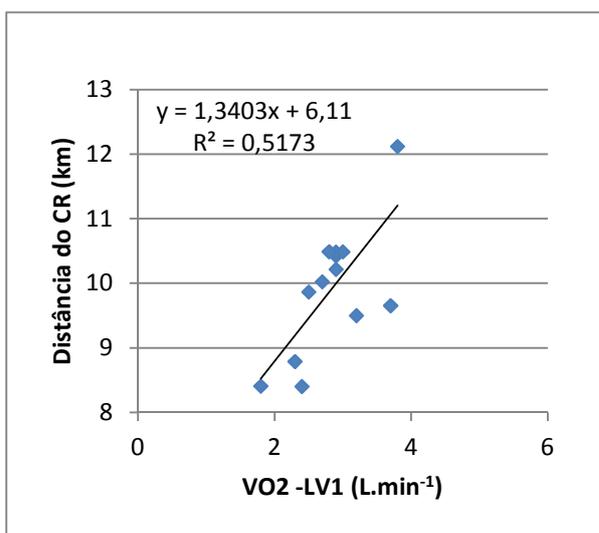


Gráfico 4 – Relação entre o $\dot{V}O_{2max}$ ($L \cdot min^{-1}$) no limiar ventilatório LV1 ($\dot{V}O_{2-LV1}$) e a Distância percorrida no contra-relógio (CR) de 20 min.

Tal como se verificou na relação entre o $\dot{V}O_2\text{max}$ e a distância no CR (Gráfico 3), também aqui se observa uma tendência linear entre o $\dot{V}O_2$ no LV1, quando este é expresso em $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$, (Gráfico 4), mas tal relação não se verificou quando esta variável é apresentada por unidade de peso.

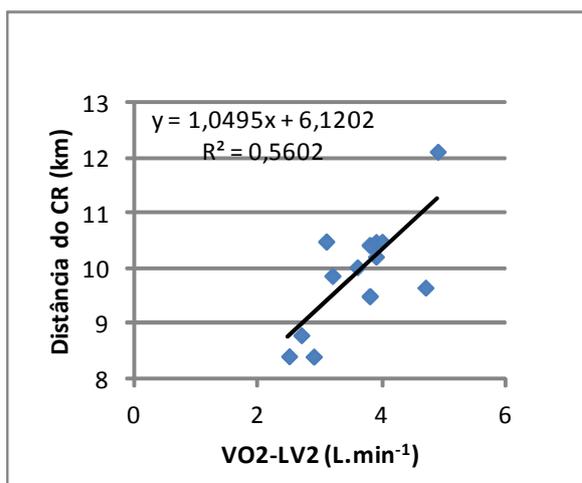


Gráfico 5 – Relação entre o $\dot{V}O_2$ ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) no limiar ventilatório LV2 e a Distância percorrida no contra-relógio (CR) de 20 min.

De um modo semelhante ao observado no Gráfico 4, que se refere ao LV1, no Gráfico 5 também existe uma tendência linear na variação do $\dot{V}O_2$ ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) no LV2 ($\dot{V}O_2\text{-LV2}$) e a Distância percorrida no CR, não se tendo encontrado semelhante relação quando a variável é expressa por unidade de peso.

Ao contrário do que ocorreu com a PO-LV1, onde não houve regressão significativa, no Gráfico 6 (PO-LV2) pode observar-se uma tendência linear positiva entre as variáveis.

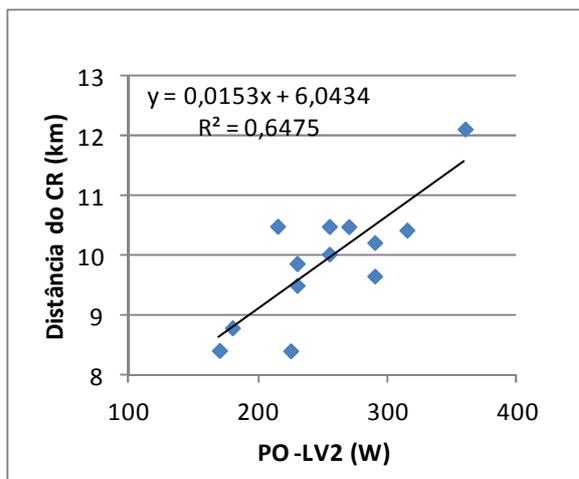


Gráfico 6 – Relação entre a Potência gerada (PO) no LV2 e a Distância percorrida no contra-relógio (CR) de 20 min.

Não se apresentam os gráficos da Velocidade média e PO média (W) no CR, em relação à Distância percorrida nesse mesmo CR, uma vez que uma variável está directamente dependente da outra.

A Tabela III.2 mostra que as relações lineares significativas com a distância percorrida no CR ocorreram, principalmente, com variáveis cujas unidades estão em $L \cdot \text{min}^{-1}$ (caso do $\dot{V}O_2\text{max}$ e $\dot{V}O_2\text{-LV1}$ e $\dot{V}O_2\text{-LV2}$), ou em W (caso da PAM e da PO-LV2). Não houve regressões lineares significativas com variáveis por unidade de peso.

Com as variáveis que originaram regressões lineares significativas (listadas na Tabela III.2), fez-se uma matriz com as correlações de Pearson, para se avaliar a influência e inter-relação entre essas variáveis. Os resultados com significância estatística encontram-se na Tabela III.3.

Pela Tabela aqui apresentada pode constatar-se que todas as variáveis que tiveram regressões lineares significativas com o desempenho desportivo estão altamente

correlacionadas entre si, pelo que não se justifica fazer regressões múltiplas entre estas variáveis.

Uma correlação elevada entre o $\dot{V}O_2\text{max}$ e o $\dot{V}O_2\text{-LV1}$ ou o $\dot{V}O_2\text{-LV2}$ faz todo o sentido, porque estas variáveis estão relacionadas e são dependentes entre si. Uma elevada correlação entre a PAM (W) e a PO-LV2 (W) também se explica facilmente porque se atinge uma PAM mais elevada quando a PO-LV2 é mais elevada, ou seja, quando o atleta tem mais capacidade de gerar potência no limiar ventilatório 2. Por outras palavras, uma potência mais elevada no LV2 significa uma potência máxima mais elevada.

III.2.2 Cinética do $\dot{V}O_2$

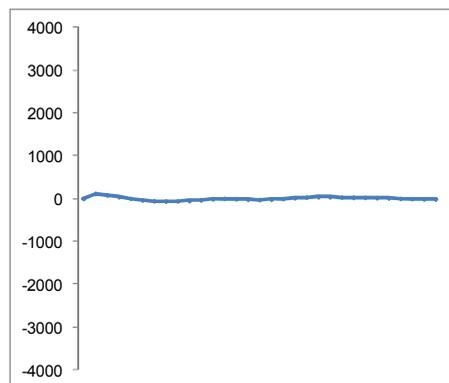
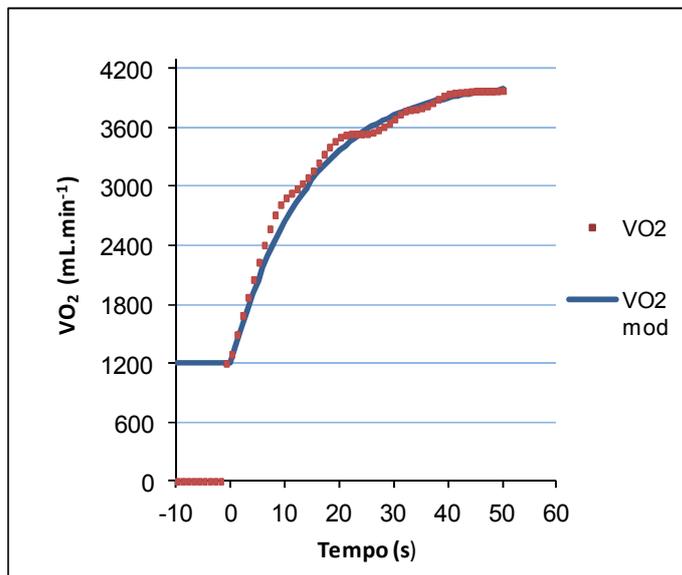
Na cinética do consumo de oxigénio obteve-se, de um modo geral, uma estabilização do $\dot{V}O_2$, o qual foi, na maioria dos casos (com 2 excepções) inferior ao $\dot{V}O_2\text{max}$. Nos Gráficos 7 e 8 (A e B) apresentam-se 2 exemplos das curvas exponenciais modeladas (A) e respectivo gráfico de resíduos (B), para um caso em que não se atingiu o $\dot{V}O_2\text{max}$ e outro em que se atingiu esse valor. Nos gráficos apresentados, o valor máximo de $\dot{V}O_2$ no eixo dos yy corresponde ao $\dot{V}O_2\text{max}$ do sujeito analisado.

Na cinética do $\dot{V}O_2$ as variáveis mais relevantes para a avaliação do desempenho são a constante temporal e a amplitude do $\dot{V}O_2$. Contudo, estas duas variáveis não tiveram regressões lineares significativas com o desempenho (traduzido na distância percorrida no CR).

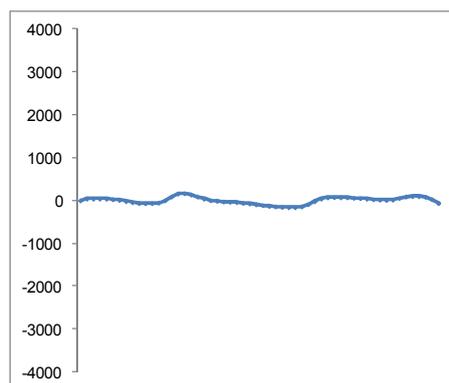
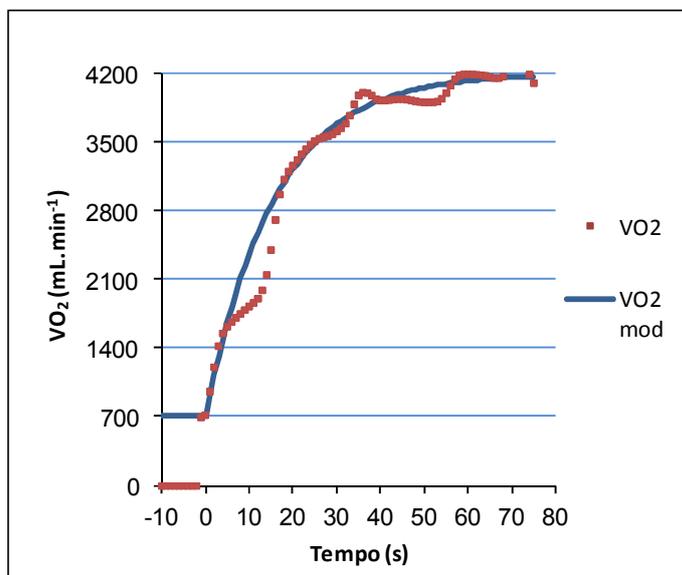
Tabela III.3 – Correlações de Pearson estatisticamente significativas ($p < 0.001$) entre as variáveis que tiveram regressões lineares significativas com o desempenho no CR.

	Peso do atleta (kg)	PAM (W)	$\dot{V}O_2\text{max}$ (L.min ⁻¹)	$\dot{V}O_2 - \text{LV1}$ (L.min ⁻¹)	$\dot{V}O_2 - \text{LV2}$ (L.min ⁻¹)	PO-LV2 (W)
Peso do atleta (kg)	1	0.81	0.82	0.86	0.82	0.89
PAM (W)	0.81	1	0.90	0.89	0.92	0.91
$\dot{V}O_2\text{max}$ (L.min ⁻¹)	0.82	0.90	1	0.95	0.99	0.88
$\dot{V}O_2 - \text{LV1}$ (L.min ⁻¹)	0.86	0.89	0.95	1	0.95	0.83
$\dot{V}O_2 - \text{LV2}$ (L.min ⁻¹)	0.82	0.92	0.99	0.95	1	0.89
PO-LV2 (W)	0.89	0.91	0.88	0.83	0.89	1

Analisando a relação entre o τ e as variáveis apresentadas na Tabela III.1, obtiveram-se regressões lineares significativas ($p \leq 0.05$) negativas com Velocidade média da PAM (km.h⁻¹), Cadência média da PAM (rpm) e positiva com PO-LV2 (W). Fazendo um exercício semelhante, mas em relação à Amplitude do $\dot{V}O_2$, obtiveram-se regressões lineares significativas com $\dot{V}O_2\text{max}$ (L.min⁻¹), LV2 (L.min⁻¹) e PO-LV2 (W).



Gráficos 7A e 7B – Exemplo de curva da cinética do $\dot{V}O_2$ onde não se atingiu o $\dot{V}O_{2max}$ (de $4300 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$) e gráfico de resíduos correspondente (nas mesmas unidades).



Gráficos 8A e 8B – Exemplo de curva da cinética do $\dot{V}O_2$ onde se atingiu o $\dot{V}O_{2max}$ (de $4200 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$) e gráfico de resíduos correspondente (nas mesmas unidades).

III.2.3. Influência do peso do atleta

A Tabela III.3 mostra uma elevada correlação entre as variáveis (fisiológicas e de potência) que determinam o desempenho e o Peso dos atletas. Note-se que, quando essas mesmas variáveis são expressas por unidade de peso, já não têm regressões significativas com o desempenho, nem estão correlacionadas significativamente entre si. Este facto mostra que a eficiência do esforço (por unidade de peso) não é determinante para o desempenho desportivo nestas idades, mas o resultado absoluto desse esforço já é determinante. Ou seja, se os atletas tivessem todos o mesmo peso, nenhuma destas variáveis os diferenciava. Como, neste caso, o resultado absoluto do esforço está altamente correlacionado com o peso, então deve considerar-se que o peso dos atletas é uma condição primordial na determinação do desempenho. Este facto deve ser salientado porque determina a enorme influência do Peso dos atletas no desempenho ciclista, de resistência aeróbia, quando se avaliam atletas nestas classes etárias.

III.2.4 Outras regressões

PAM \diamond Duração da PAM

Considerou-se possível que uma PAM mais elevada correspondesse a um teste PAM de duração mais baixa (Tabela III.1). No entanto, uma análise de regressão entre as variáveis Duração da PAM (seg) e PAM (W e $W.kg^{-1}$) não apresentou qualquer correlação significativa ($p > 0.05$). De notar, no entanto, que a reprodutibilidade da Duração da PAM, também conhecida por Tlim (tempo até à exaustão) foi posta em causa por um trabalho efectuado por Costa *et al.*, (2011a), em que se fizeram 2 testes destes para cada atleta ($N = 17$) e obtiveram-se diferenças significativas entre os testes.

$\dot{V}O_2$ -LV1 \diamond PO-LV1

Com o intuito de se estudar a influência do $\dot{V}O_2$ -LV1 na PO-LV1, fez-se uma análise de regressão entre estas duas variáveis com o $\dot{V}O_2$ -LV1 nas seguintes unidades: L.min⁻¹, mL.kg⁻¹.min⁻¹, % $\dot{V}O_2$ max e % PAM. Apenas o $\dot{V}O_2$ -LV1 em L.min⁻¹ apresentou uma regressão positiva e linear com a PO-LV1 (W) ($r^2 = 0.66$). Sendo assim, presume-se que a potência gerada no LV1 possa estar directamente relacionada com o $\dot{V}O_2$ (L. min⁻¹) que se atinge nesse limiar ventilatório. Note-se que já se obtivera uma regressão significativa entre a Distância no CR e o $\dot{V}O_2$ -LV1 (l.min⁻¹). Mais uma vez, a regressão significativa ocorreu com o $\dot{V}O_2$ -LV1 em termos absolutos (em L.min⁻¹), mas não por unidade de peso.

Fazendo o mesmo exercício, mas com a PO-LV1 por unidade de peso, e não em termos absolutos (em W.kg⁻¹, em vez de W), não se registou nenhuma regressão significativa entre os dados analisados.

$\dot{V}O_2$ -LV2 \diamond PO-LV2

A realização de análises de regressão entre a PO-LV2 (W) e o $\dot{V}O_2$ -LV2 em L.min⁻¹, mL.kg⁻¹.min⁻¹, % $\dot{V}O_2$ max e % PAM, apresentou apenas uma regressão significativa positiva e linear ($r^2 = 0.28$), com o $\dot{V}O_2$ -LV2 em L.min⁻¹, à semelhança com o que se obteve para o caso do LV1, correspondendo a uma regressão mais fraca que a obtida em relação ao LV1 (com $r^2 = 0.66$). Esta regressão linear – a única em que se obteve um nível de significância de 95% – mostra uma certa influência do $\dot{V}O_2$ na potência gerada no LV2. De salientar que o $\dot{V}O_2$ -LV2 (L.min⁻¹) e a PO-LV2 (W) também tiveram regressões positivas significativas com a distância no CR (Tabela III.2).

Tempo de treino \diamond $\dot{V}O_2\text{max}$

Seria de esperar que o tempo de treino ciclista se reflectisse nos valores de $\dot{V}O_2\text{max}$ dos atletas avaliados, com maior tempo de treino a proporcionar maior $\dot{V}O_2\text{max}$ (apesar da componente genética que não deve ser esquecida). Contudo, a variação do $\dot{V}O_2\text{max}$ não acompanhou o tempo de treino, como se pode verificar pelos Gráficos 9 e 10.

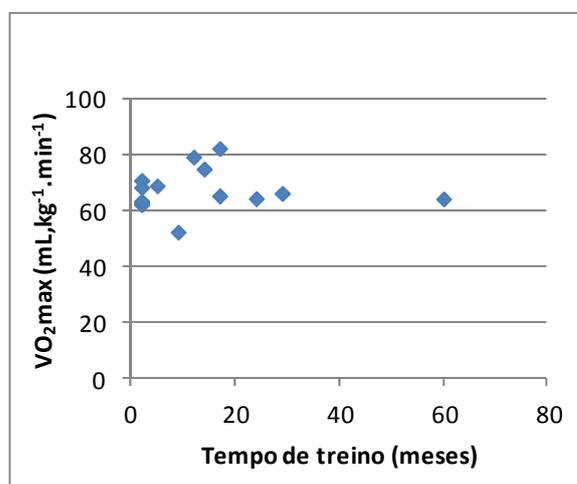
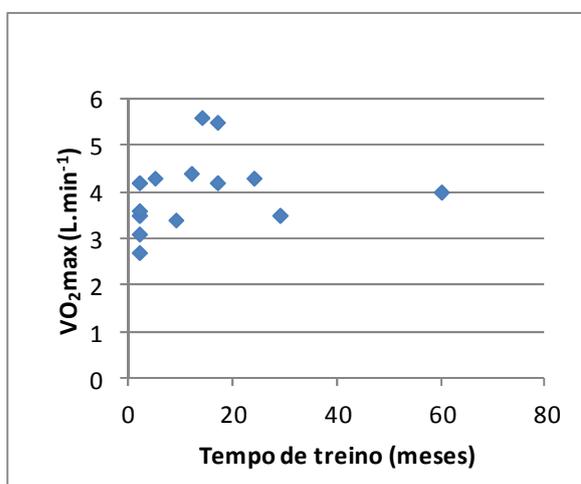


Gráfico 9 – Variação do $\dot{V}O_2\text{max}$ (L.min⁻¹) com o tempo de treino ciclista.

Gráfico 10 - Variação do $\dot{V}O_2\text{max}$ (mL.kg⁻¹.min⁻¹) com o tempo de treino ciclista.

III.2.5 Relação entre cadência de pedalada e desempenho

Além das regressões lineares significativas apresentadas na Tabela III.2, a relação entre a Distância percorrida no CR e a Cadência média tem a forma de uma regressão quadrática (polinómio de 2º grau), cuja solução é dada pela fórmula matemática:

$$y = ax^2 + bx + c$$

em que a , b e c são os coeficientes indeterminados da equação, os quais se obtêm pelo método dos mínimos quadrados. No caso concreto da aplicação da regressão quadrática aos dados da cadência no CR, esta regressão é significativa ($p = 0.02$), tem um $r^2 = 0.53$, e os coeficientes são: $a = -0.008$, $b = 1.714$, e $c = -76.156$. Para maximizar y fez-se a derivada $\frac{\delta y}{\delta x} = 0$, pelo que $x = -b/2a$, e $x = 107$. Ou seja, a cadência média que originou o melhor desempenho no CR, à qual se poderá chamar cadência óptima, foi 107 rpm (Gráfico 11).

A desvantagem de uma regressão não-linear de mínimos quadrados, como é o caso da regressão quadrática, é a grande sensibilidade a dados que se encontram nitidamente fora da curva estimada (*outliers*). A presença de um ou dois destes *outliers* pode afectar seriamente os resultados da análise não-linear. No caso concreto dos dados apresentados no Gráfico 11 parece haver um *outlier* bem acima dos outros dados, que poderá ter alterado a equação da curva. Infelizmente, há muito poucas ferramentas de validação para a detecção de *outliers* neste tipo de regressões, pelo que o mais sensato é incluir todos os dados na análise.

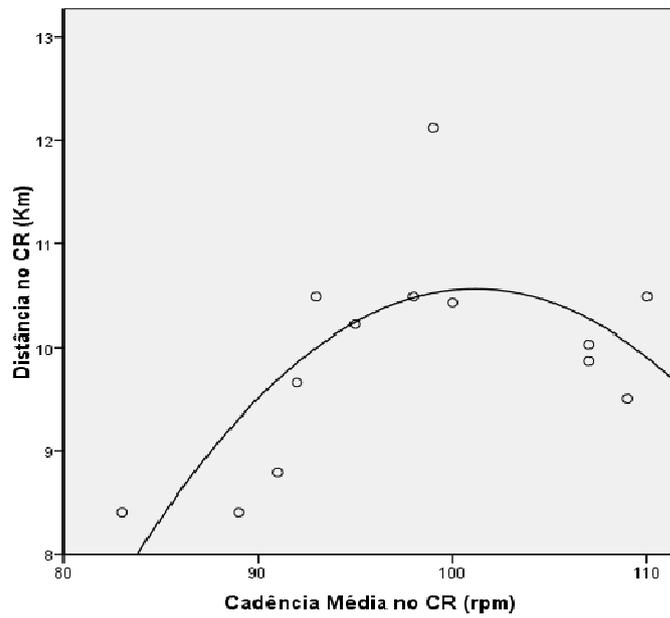


Gráfico 11 – Relação quadrática entre a Distância percorrida no contra-relógio (CR) de 20 minutos e a Cadência média nesse CR.

IV. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

IV.1 Comparação com Dados Publicados

Para se ter uma ideia de quão válidos são os resultados obtidos com o presente estudo, fez-se uma comparação com resultados publicados em estudos semelhantes.

Existem poucos dados publicados referentes a atletas ciclistas na faixa etária aqui estudada e o estudo de Montfort-Steiger *et al.* (2005) foi o único encontrado nestas condições e em que também se utilizou um protocolo semelhante ao do teste PP. Nesse estudo efectuaram-se testes PP com incrementos de 25 W. min⁻¹ em jovens ciclistas com idade média de 15.7± 07 anos (N=8) e obtiveram-se valores de $\dot{V}O_2$ max inferiores aos apresentados na Tabela III.2, mas dentro do desvio padrão apresentado (3.95 ±0.4 L.min⁻¹ e 59.7 ±5.8 mL. Kg⁻¹.min⁻¹). A PAM média foi de 372 ±42 W, ou seja, acima da PAM média medida neste estudo, mas dentro do desvio padrão e 5.6 ±0.4 W.kg⁻¹ (Tabela III.1). Assim, os jovens avaliados neste trabalho tiveram valores de $\dot{V}O_2$ max e PAM equiparáveis aos publicados no estudo aqui referido.

Courteix *et al.* (1995) avaliaram 23 ciclistas de nível regional e nacional, com idades de 18.7± 2.37 e 19.7 ±3.24 anos, respectivamente, e obtiveram uma PAM de 280.0 ±34.4 e 333.5 ±46.6 W para os ciclistas regionais e nacionais, e um $\dot{V}O_2$ max de 61.9 ±4.05 e 68.1 ±5.9 9 mL.kg⁻¹.min⁻¹, respectivamente Estes valores parecem baixos para atletas deste calibre, uma vez que os jovens aqui avaliados apresentam valores comparáveis, mas são mais novos e, provavelmente, menos experientes.

Thevenet *et al.* (2007) realizaram testes com 8 jovens corredores de resistência (15.9 ± 1.4 anos) e obtiveram $\dot{V}O_2$ max de 57.4± 6.1 mL.kg⁻¹.min⁻¹. Estes valores são inferiores mas dentro dos limites obtidos com os jovens ciclistas deste estudo.

Marwood *et al.* (2011) compararam 15 jovens atletas de futebol (N=13), ciclismo (N=1) e artes marciais (N=1) (idade média de 15 ± 0.8 anos) com 13 jovens saudáveis sedentários (15 ± 0.5 anos) que fizeram um protocolo incremental em cicloergómetro, de 35 W. 3 min^{-1} . Os resultados medidos foram $\dot{V}O_2\text{max} = 3.1 \pm 0.62$ e $2.7 \pm 0.35 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$, 54.9 ± 6.4 e $44.0 \pm 4.6 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ para os treinados e não treinados, respectivamente. O $\dot{V}O_2$ no LL foi 2.1 ± 0.52 e $1.7 \pm 0.24 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$, 36.6 ± 6.2 e $29.0 \pm 3.2 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, e a $\% \dot{V}O_2\text{max}$ no LL foi de $69.4 \pm 6.9\%$ e 60.3 ± 6.1 , respectivamente para os treinados e não treinados. Estes resultados mostram bem o efeito que o treino teve no $\dot{V}O_2\text{max}$ e no $\dot{V}O_2$ no LL, os quais foram relativamente semelhantes entre os futebolistas e os ciclistas deste estudo, mas inferiores para os que não praticavam desporto. Os ciclistas do presente estudo tiveram resultados de $\dot{V}O_2\text{max}$ e $\dot{V}O_2\text{-LV1}$ (comparável ao $\dot{V}O_2$ no LL) superiores aos jovens treinados, mas dentro dos desvios-padrão, e claramente superiores aos não treinados. Dado que os atletas do estudo de Marwood *et al.* (2011) são maioritariamente futebolistas, não será de esperar que tivessem valores de $\dot{V}O_2$ superiores aos jovens deste estudo.

Guvenç *et al.* (2011) avaliaram 73 jovens com idades entre 10.5 e 15.4 ano que treinavam desportos regularmente (futebol, andebol e voleibol). Cada sujeito fez o teste de Wingate num cicloergómetro e um teste modificado de corrida shuttle, tendo-se medido um $\dot{V}O_2\text{max}$ de $50.7 \pm 3.8 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, o qual foi inferior ao dos ciclistas deste estudo. Como se tratam de desportos que não têm uma vertente tão forte de resistência aeróbia quanto o ciclismo, é natural que se tenham obtido valores inferiores aos dos ciclistas deste estudo.

Zafeiridis *et al.* (2011) realizaram testes de corrida em passadeira rolante com 10 jogadores de futebol de 13.2 ± 0.3 anos de idade, ou seja, mais novos que os do presente estudo. O $\dot{V}O_2\text{max}$ medido num teste progressivo foi de $57.9 \pm 3.8 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, abaixo do medido aqui, mas ainda dentro do desvio padrão.

Fawkner e Armstrong (2004) estudaram a cinética do $\dot{V}O_2$ em 62 jovens saudáveis mas não praticantes de desporto (35 rapazes e 27 raparigas) com idades entre 10 e 15 anos. Após um teste de protocolo progressivo para medir o $\dot{V}O_{2max}$ e o limiar anaeróbio, os participantes realizaram 3 ou 4 testes de carga constante acima do limiar anaeróbio, mas abaixo da sua potência crítica. Estes autores testaram 4 diferentes modelos matemáticos para ajustamento dos dados obtidos. O τ do modelo matemático com melhor ajustamento foi $14.8 \pm 3.4s$, ou seja, dentro dos valores obtidos com os jovens do presente estudo.

Num outro estudo (Carter *et al.*, 2005), avaliaram-se jovens saudáveis, mas não ciclistas, com idade média de 14.6 ± 0.3 anos ($N=8$) num teste PP em cicloergómetro, começando a 50W e com incrementos de $25 W \cdot min^{-1}$, e obtiveram valores médios de $\dot{V}O_{2max}$ de $2.91 \pm 0.4 L \cdot min^{-1}$, ou seja, inferiores aos valores médios apresentados na Tabela III.1, mas dentro do desvio padrão. A PO_{max} nesse estudo foi de $235 \pm 34.2W$, bastante inferior aos resultados do presente estudo (ver PAM na Tabela III.1). Os valores no LV1 do referido estudo são também inferiores aos aqui medidos: $\dot{V}O_2 = 1.32 \pm 0.19 L \cdot min^{-1}$, comparado com $2.8 \pm 0.56 L \cdot min^{-1}$, e $PO_{-LV1} = 116 \pm 14.3 W$, contra $191.9 \pm 38.33 W$. No estudo de Carter *et al.* (2005) apenas se refere que os sujeitos são saudáveis, sem haver qualquer referência a actividades desportivas, pelo que se deduz que esse jovens não praticavam desporto regularmente, o que explicará as diferenças registadas entre os jovens aqui comparados. Nesse mesmo estudo, Carter *et al.* (2005) compararam a cinética do $\dot{V}O_2$ entre 8 adultos (33.8 ± 6.5 anos de idades) e os 8 adolescentes com 2 testes all-out de 90 segundos em cicloergómetro isocinético, e utilizando a média dos testes para avaliar os resultados. A PO média e máxima foi significativamente superior nos adultos do que nos jovens, tanto em termos absolutos como relativos. Nos resultados da cinética do $\dot{V}O_2$ observou-se uma diferença significativa entre jovens e adultos, tendo os jovens uma constante temporal (τ) mais rápida que os adultos ($10.8 \pm 1.5 s$ contra $17.6 \pm 1.0 s$ nos adultos), e também uma maior amplitude do $\dot{V}O_2$ ($2330 \pm 80 mL \cdot min^{-1}$, contra $2170 \pm 210 mL \cdot min^{-1}$). Estes valores da

cinética do $\dot{V}O_2$ nos jovens (τ e Amplitude) estão dentro dos valores medidos no presente estudo.

Por sua vez, Lai *et al.* (2008) avaliaram 9 jovens saudáveis mas sedentários, com idades de 15.8 ± 1.1 anos. Usando um protocolo progressivo de $20W \cdot \text{min}^{-1}$ em cicloergómetro, mediram-se $\dot{V}O_{2\text{max}} = 3.1 \pm 0.49 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, e $PO_{\text{max}} = 218 \pm 29W$. O $\dot{V}O_2\text{-LV1}$ foi de $1.5 \pm 0.39 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ (correspondendo a $51 \pm 6 \%$ do $\dot{V}O_{2\text{max}}$), e a $PO\text{-LV1}$ foi de $113 \pm 23 W$. Estes resultados são claramente inferiores aos do presente estudo, facto que não surpreende uma vez que os jovens avaliados por Lai *et al.* (2008) não eram praticantes desportivos.

Num estudo realizado por Breese *et al.* (2010) mediu-se a resposta ao esforço intenso em jovens de 14.1 ± 0.2 anos ($N=14$) e nesses mesmos jovens após 2 anos. O protocolo experimental incluiu um teste PP com 25 ou $40 W \cdot \text{min}^{-1}$ num cicloergómetro (de modo a que o tempo até à exaustão fosse aproximadamente de 8-10 minutos), com cadência de pedalada pré-definida de $70 \pm 5 \text{ rpm}$. Os resultados desse estudo, respectivamente para os 14 e 16 anos desses jovens, foram: $\dot{V}O_{2\text{max}} = 3.14 \pm 0.46$ e $3.78 \pm 0.41 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ (dentro da média $\pm D.P.$ da Tabela III.1) $\dot{V}O_2\text{-LV1} = 1.56 \pm 0.25$ e $1.91 \pm 0.33 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ (abaixo dos resultados médios da Tabela III.1), e $\dot{V}O_2\text{-LV1}$ em % do $\dot{V}O_{2\text{max}} = 50 \pm 5$ e $49 \pm 3 \%$ (abaixo dos apresentados na Tabela III.1). No que respeita ao $\dot{V}O_{2\text{max}}$, os resultados apresentados nesse estudo foram inferiores aos valores médios do presente estudo, mas dentro do desvio padrão. No entanto, relativamente aos valores medidos no LV1, esses jovens tiveram valores bastante inferiores aos do presente estudo. Uma vez que os jovens do estudo de Breese *et al.* (2010) são apenas referidos como jovens saudáveis, depreende-se que não praticassem desporto de competição, o que contrasta com os ciclistas do presente estudo e poderá explicar as diferenças obtidas no LV1.

Como foi já referido, existem poucas referências com valores fisiológicos de atletas de ciclismo nas faixas etárias correspondentes às aqui estudadas, contribuição que este trabalho procura complementar. Contudo, existem bastantes dados relativos a ciclistas

de elite e profissionais, nas faixas etárias dos 20 e 30 anos, os quais são apresentados em seguida.

Num artigo de revisão, Mujika e Padilla (2001) avaliaram os dados de 24 ciclistas masculinos profissionais, com idade média de 26 anos. Estes atletas apresentavam os seguintes valores médios: $PO_{max} = 439 \text{ W}$ e 6.4 W.kg^{-1} , $\dot{V}O_{2max} = 5.4 \text{ L.min}^{-1}$ e $78.8 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ (variando entre 69.7 e $84.8 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$), PO no LL (limiar láctico, sensivelmente correspondente ao LV1) = 334 W , $\dot{V}O_2$ no LL em % do $\dot{V}O_{2max} = 77 \%$. Estes valores, que foram medidos em cicloergómetro com um protocolo progressivo com patamares de 4 minutos, são francamente superiores aos dos jovens atletas aqui avaliados, o que não surpreende dada a maior idade e experiência dos ciclistas profissionais.

Lee *et al.* (2002) avaliaram 7 ciclistas de estrada profissionais, com idades de 24.2 ± 4.9 anos num teste PP em cicloergómetro começando a 100 W e com incrementos de 50 W . 5 min^{-1} até à exaustão, e também um teste de CR com 30 minutos de duração. Os resultados obtidos foram $\dot{V}O_{2max} = 5.4 \pm 0.1 \text{ L.min}^{-1}$ e $73.0 \pm 3.4 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$; $PO_{max} = 431 \pm 12 \text{ W}$ e $5.8 \pm 0.3 \text{ W.kg}^{-1}$. O $\dot{V}O_{2max}$ destes ciclistas profissionais é superior ao dos jovens atletas aqui avaliados, principalmente quando se comparam os valores em L.min^{-1} . Quando esse parâmetro é apresentado por unidade de peso, os jovens atletas têm valores menores, mas dentro do desvio padrão dos valores dos ciclistas profissionais. Relativamente à PO_{max} , esta também foi superior nos ciclistas profissionais. Contudo, quando se comparam os resultados por unidade de peso, os jovens atletas do presente estudo têm valores médios inferiores aos dos profissionais, mas dentro dos desvios padrão, o que denota potencialidade ciclistas nestes jovens. No CR, a PO média atingida foi $370 \pm 11 \text{ W}$ e $4.9 \pm 0.3 \text{ W.kg}^{-1}$, o que foi bastante superior ao obtido neste estudo, mesmo quando reportado por unidade de peso.

Lucia *et al.* (2004) analisaram os resultados dos contra-relógios no Tour de France de 1998 e 1999, relativo a 5 e 6 ciclistas, respectivamente, e mediram esses mesmos ciclistas profissionais em teste incrementais de laboratório, para obter o seu $\dot{V}O_2\text{max}$, $PO\text{max}$ e LV2. Estes autores obtiveram valores de LV2 correspondentes a 90% do $\dot{V}O_2\text{max}$, o qual foi de $73. \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$. Comparando esses resultados com os apresentados na Tabela III.1 deste trabalho, pode concluir-se que os jovens atletas avaliados têm um bom potencial ciclista, dado que o LV2 correspondeu em média a 89% ($\pm 3\%$) do seu $\dot{V}O_2\text{max}$. Contudo, o $\dot{V}O_2\text{max}$ destes jovens atletas é bastante inferior ao dos atletas profissionais do Tour de France ($67.5 \pm 7.6 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, como se pode ver na Tabela III.1).

Lamberts *et al.* (2009b) avaliaram 16 ciclistas bem treinados (com 30 ± 6 anos de idade), com o objectivo de estudar o efeito do treino intensivo (durante 28 dias) nos indicadores de desempenho. Antes e após os 28 dias de treino, estes ciclistas fizeram um teste progressivo num simulador de treino, começando com uma PO de 2.5 W.kg^{-1} , com incrementos de 20 W.min^{-1} até à exaustão, e um teste de simulação de CR de 40 km. O $\dot{V}O_2\text{max}$, antes e após os treinos, foi de 60.3 ± 7.2 e $61.7 \pm 6.5 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, respectivamente, e a $PO\text{max}$ foi de 376 ± 32 e $389 \pm 34 \text{ W}$, respectivamente. No que se refere ao $\dot{V}O_2\text{max}$, estes resultados são inferiores, mas dentro do desvio padrão, ao dos atletas deste estudo e são superiores na $PO\text{max}$. A $PO\text{max}$ é mais elevada nestes 16 ciclistas, muito provavelmente por se tratar de adultos, em comparação com jovens ainda em fase de desenvolvimento das suas potencialidades atléticas.

Aagaard *et al.* (2011) estudaram ciclistas de elite ($N= 14$) com 19.5 ± 0.8 anos de idade, tendo obtido $\dot{V}O_2\text{max}$ de $5.1 \pm 0.64 \text{ L.min}^{-1}$ e de $73.5 \pm 8.2 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$. Estes valores são superiores aos dos jovens atletas do presente estudo, mas ainda se encontram dentro do desvio padrão, o que seria de esperar, dado que se tratava de atletas mais velhos e que pertenciam à equipa nacional dinamarquesa de sub-23, o que provavelmente implica atletas com mais tempo de treino e mais experiência que os jovens deste estudo.

Costa *et al.* (2011a) avaliaram 170 ciclistas de elite com idades de 36.9 ± 7.8 anos e com 12.4 ± 6.6 anos de treino num teste progressivo com incrementos de 15W a cada 30 segundos. Estes atletas atingiram um $\dot{V}O_2\text{max}$ de $54.7 \pm 9 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ e produziram uma PO_{max} de $367.4 \pm 28.6\text{W}$. Os $\dot{V}O_2$ no LV1 e LV2 foram, respectivamente, 32.8 ± 5.4 e $44.4 \pm 7.3 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$. À excepção da PO_{max} , cuja média foi superior à dos jovens atletas aqui estudados, os restantes valores, referentes ao $\dot{V}O_2$, são todos inferiores.

Nimmerichter *et al.* (2011) mediram o $\dot{V}O_2\text{max}$ ($66.5 \pm 7 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) em 10 ciclistas adultos de elite (com 29.1 ± 6.7 anos de idade média) obtido num teste de protocolo incremental de 25 W.min^{-1} . Estes resultados são equivalentes aos dos jovens aqui estudados.

Hill *et al.* (2003) avaliaram a cinética do $\dot{V}O_2$ em 6 mulheres (21 ± 1 anos de idade) e 6 homens (24 ± 2 anos de idade) em cicloergómetro, com esforços de intensidade severa. O τ médio da fase II foi $25 \pm 4 \text{ s}$, valor este bastante superior ao obtido com os jovens do presente estudo. De referir que os sujeitos avaliados por Hill *et al.* (2003) são recreativamente activos, mas não competem em provas, pelo que deverão ter menor preparação física que os jovens do presente estudo, e conseqüentemente, uma maior constante temporal.

Sabapathy *et al.* (2004) avaliaram 9 adultos não treinados (idades: 21.7 ± 0.9 anos) num teste de 7 minutos de duração em cicloergómetro a carga constante, acima do LL, na intensidade de esforço pesada. O τ da fase II foi $27 \pm 4 \text{ s}$, valor este bastante superior ao dos jovens aqui avaliados, o que se poderá explicar pelas diferenças de idade e de nível de treino dos sujeitos avaliados.

Egaña *et al.* (2010) estudaram o desempenho ciclista e a cinética do $\dot{V}O_2$ em 10 adultos saudáveis e fisicamente activos (21.6 ± 2.1 anos de idade). O protocolo consistiu em 3

esforços a intensidade constante (85% da PO obtida num teste progressivo efectuado anteriormente), sendo que o primeiro esforço foi até à exaustão, e os dois esforços subsequentes tiveram a duração de 7 minutos cada. O τ foi de 24.3 ± 7.3 s, ou seja, significativamente mais lento que nos jovens do presente estudo, o que poderá dever-se às diferenças etárias entre os sujeitos estudados, uma vez que Carter *et al.* (2005) obtiveram diferenças significativas no τ de testes all-out de 90 s entre adolescentes e adultos. A amplitude do $\dot{V}O_2$ medida por Egaña *et al.* (2010) foi 2670 ± 480 mL.min⁻¹, valor este que está dentro da amplitude média do presente estudo.

Em resumo (Tabela IV.1), os jovens aqui analisados têm um $\dot{V}O_{2max}$ um pouco acima dos ciclistas de idades semelhantes, e uma PO_{max} dentro da média. Se compararmos com jovens que praticam outras modalidades desportivas, o $\dot{V}O_{2max}$ é também superior nos nossos jovens, mas ainda dentro do desvio padrão, e o $\dot{V}O_{2-LV1}$ mais alto mas dentro da média e desvio padrão. Em relação a jovens saudáveis mas sedentários, os nossos atletas têm um $\dot{V}O_{2max}$ superior mas, geralmente, dentro do desvio padrão dos valores a comparar, uma PAM dentro da média e desvio padrão, ou superior, um $\dot{V}O_{2-LV1}$ superior e uma $PO-LV1$ bastante superior. Assim, conclui-se que os jovens ciclistas deste estudo apresentam valores de $\dot{V}O_{2max}$, e PO_{max} semelhantes a outros desportistas (ciclistas ou não) da mesma faixa etária, mas têm valores superiores de $\dot{V}O_2$ e $PO-LV1$ em relação aos jovens sedentários. Estes resultados levam a supor que o LV1 está bem treinado nos jovens deste estudo.

Tabela IV.1 – Resumo dos dados apresentados no texto. Na última linha apresentam-se os dados referentes a este estudo, para comparação.

N	Idade (anos)	VO ₂ max (L.min ⁻¹) mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹	POmax (W) (W.kg ⁻¹)	VO ₂ no LVI (L.min ⁻¹) mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹	PO no LVI (W)	Ciclistas = C Outros desportos = O Não desportistas = N	Referência
8	15.7±0.7	59.7±5.8 3.95±0.4	372±42 5.6±0.4			C	Montford-Steiger <i>et al.</i> (2005)
23	18.7±2.4	61.9±4.1	280±34			C	Courteix <i>et al.</i> (1995)
8	15.9±1.4	57.4±6.1				O	Thevenet <i>et al.</i> (2007)
73	10.5 – 15.4	50.7±3.8				O	Guvenç <i>et al.</i> (2011)
15	15±0.8	54.9±6.4 3.1±0.6		36.6±6.2 2.1±0.5		O	Marwood <i>et al.</i> (2011)
13	15±0.5	2.7±0.4 44.0±4.6		1.7±0.2 29.0±3.2			Marwood <i>et al.</i> (2011)
10	13.2±0.3	57.9±3.8				O	Zafeiridis <i>et al.</i> (2011)
8	14.6±0.3	2.91±0.4	235±34	1.32±0.19	116±14	N	Carter <i>et al.</i> (2005)
9	15.8±1.1	3.1±0.5	218±29	1.5±0.39	113±23	N	Lai <i>et al.</i> (2008)
14	14.1±0.2	3.14±0.5		1.56±0.25		N	Breese <i>et al.</i> (2010)
14	15.1±0.2	3.78±0.4		1.91±0.33			
24	26	5.4 78.8	439±6		334	C profissionais	Mujika & Padilla (2001)
7	24.2±4.9	73.0±3.4 5.4±0.1	431±12 5.8±0.3			C profissionais	Lee <i>et al.</i> (2002)
5		73				C profissionais	Lucia <i>et al.</i> (2004b)
16	30±6	60.3±7.2	376±32			C	Lambert <i>et al.</i> (2009)
14	19.5±0.8	73.5±8.2 5.1±0.6				C	Aagaard <i>et al.</i> (2011)
170	36.9±7.8	54.7±9	367±29	32.8±5.4		C	Costa <i>et al.</i> (2011a)
10	29.1±6.7	66.5±7				C	Nimmrichter <i>et al.</i> (2011)
14	15.9±1.1	67.5±7.6 4.0±0.8	307±59	46.6±5.0 2.8±0.6	192±37	C	Dados deste estudo

Comparando com ciclistas mais velhos e experientes (Tabela IV.1), a situação altera-se, com os ciclistas profissionais a apresentarem $\dot{V}O_2\text{max}$ e $PO\text{max}$ superiores aos dos jovens ciclistas deste estudo, sendo que a diferença é mais acentuada na $PO\text{max}$. Em relação aos ciclistas não profissionais, mas experientes e adultos, os nossos atletas têm $\dot{V}O_2\text{max}$ comparável ou mesmo superior e uma $PO\text{max}$ comparável. Assim, pode deduzir-se que os jovens ciclistas aqui estudados estão bem treinados, principalmente no que respeita ao treino de resistência aeróbia, com valores relativamente elevados de $\dot{V}O_2\text{max}$ e $PO\text{max}$, comparáveis a jovens ciclistas da mesma faixa etária e a ciclistas adultos experientes.

IV.2 Indicadores de Desempenho

De acordo com os resultados das regressões lineares significativas, apresentados na Tabela III.2, os melhores indicadores de desempenho, em que este é contabilizado pela distância percorrida no teste de contra-relógio, são a PAM (W), o $\dot{V}O_2\text{max}$ ($L\cdot\text{min}^{-1}$), o $\dot{V}O_2\text{-LV1}$, o $\dot{V}O_2\text{-LV2}$ (ambos em $L\cdot\text{min}^{-1}$), e a $PO\text{-LV2}$ (W). Estas variáveis apresentaram uma regressão linear significativa com a distância percorrida no CR. Destes indicadores, o de mais fácil medição é a PAM, a qual requer apenas um simulador de treino (vulgarmente chamado de “rolos”) que meça a potência gerada ou um potenciómetro acoplado à bicicleta. Este tipo de simuladores de treino e de potenciómetros está a tornar-se cada vez mais acessível e popular nos treinos de ciclismo. Os restantes indicadores de desempenho aqui apresentados requerem a utilização de medidores de gases, no caso do $\dot{V}O_2$, assim como a detecção dos limiares ventilatórios LV1 ou LV2, o que torna a sua utilização mais difícil por requerer equipamento caro e sofisticado e por ser necessário ter conhecimentos suficientes para se definir os limiares ventilatórios. Além disso, a PAM foi a variável com o coeficiente de correlação mais elevado (71%), em contraste com 48%, 52%, 56% e 65% dos outros

indicadores. Consequentemente, a PAM foi selecionada neste estudo como o melhor e mais simples indicador de desempenho para CR de 20 min de duração.

A PAM (potência aeróbia máxima) corresponde à potência mínima necessária para se atingir o $\dot{V}O_2$ max. Este valor obtém-se num teste de protocolo progressivo, em que é necessário manter-se uma dada potência durante um determinado período de tempo. É comum referir-se a potência máxima que se consegue atingir num protocolo progressivo como P_{Omax}, a qual se pode confundir com a potência máxima gerada num teste all-out. Nas publicações referidas neste trabalho é muito usual referir a P_{Omax} como o valor de potência máxima atingida num teste de protocolo progressivo, o qual corresponde à PAM e que será tratada como tal neste trabalho.

Além deste indicador de desempenho de fácil medição (tendo o equipamento adequado), a transição aeróbia-anaeróbia do exercício foi determinada com os limiares ventilatórios LV1 e LV2, os quais permitiram conhecer a fracção de $\dot{V}O_2$ utilizada em cada limiar, que se pode aplicar também na prescrição do treino.

Num trabalho de revisão sobre o ciclismo, Faria *et al.* (2005a) examinaram diversos indicadores de desempenho e concluíram que a PO no limiar láctico (acima de 4 mmol.L⁻¹, que se pode considerar semelhante ao LV2), constituía um estimador válido do potencial ciclista. O LV2 é considerado por estes autores como sendo a mais elevada intensidade de esforço que se consegue manter por um período de tempo relativamente prolongado, pelo que se poderá confundir com a PAM. No presente estudo, a PO-LV2 correspondeu a uma média de 81% da PAM. Coyle *et al.* (1991) também obtiveram uma elevada correlação entre a P_Omédia de um CR simulado de 1h de duração e o $\dot{V}O_2$ no LL. Também Balikian Júnior e Denadai (1996) concluíram que o LL determinado em testes de campo poderia ser usado para prever o desempenho de provas de ciclismo com predomínio aeróbio. De igual modo, Lucia *et al.* (2004) relacionaram significativamente a PO-LV1 e a duração de um CR de 50 km em campo, sendo essa

uma relação negativa. Da mesma forma, Amann *et al.* (2004 e 2006) também concluíram que a PO-LV1 proporcionava o melhor indicador de desempenho para um CR de 40 km.

Os autores acima citados sugeriram que os indicadores de desempenho no ciclismo estão directamente relacionados com os limiares ventilatórios ou lácticos. De facto, no estudo aqui efectuado, também se obtiveram bons indicadores de desempenho relacionados com os limiares ventilatórios, nomeadamente, o $\dot{V}O_2$ -LV1 e o $\dot{V}O_2$ -LV2 (ambos em $L \cdot \text{min}^{-1}$), e a PO no LV2 (W). Mas dada a maior dificuldade em se medir estes indicadores, sugerimos que se utilize a PAM ou a P_{Omax} obtida num teste incremental, como indicador de desempenho.

Outros autores sugeriram que a P_{Omax} fosse considerada um bom indicador de desempenho ciclista. Por exemplo, Hawley e Noakes (1992) obtiveram correlações elevadas entre a P_{Omax} num teste incremental e um CR de 20 km em estrada. Por sua vez, Balmer *et al.* (2000) também obtiveram correlações elevadas entre a PAM obtida num teste incremental e um CR de 16 km em estrada. Num trabalho de revisão, Faria *et al.* (2005a) também concluíram que a P_{Omax} obtida num teste incremental em laboratório poderia ser utilizada como indicador de desempenho ciclista. Balmer *et al.* (2005) e McNaughton *et al.* (2006) chegaram a semelhantes conclusões.

Em suma, diversos autores tentaram obter indicadores de desempenho ciclista com base em testes laboratoriais com protocolos progressivos até à exaustão. Estes testes, de fácil aplicação, permitem medir variáveis relacionadas com os limiares láctico e ventilatórios, assim como variáveis relacionadas com a potência gerada durante os testes. Tanto os limiares láctico e ventilatórios, como a potência gerada foram considerados bons indicadores de desempenho. A medição do limiar láctico requer a recolha de amostras de sangue para medir a concentração de lactato sanguíneo durante os testes incrementais, sendo um teste invasivo e, por vezes, doloroso para os sujeitos a serem avaliados. Além disso, a medição do lactato sanguíneo também requer

equipamento especializado e conhecimentos próprios para a sua correcta utilização, sem riscos para os operadores e sujeitos avaliados. Por sua vez, a medição dos limiares ventilatórios em laboratório requer equipamento caro e sofisticado de medição de gases, cuja utilização carece de experiência e conhecimentos. Contudo, além de algum desconforto que este equipamento possa gerar nos sujeitos avaliados (devido à imposição de uma máscara para captura dos gases respiratórios), este tipo de medições não tem riscos nem é dolorosa. Finalmente, a medição da potência gerada num teste laboratorial requer a utilização de simuladores de treino nos quais se encaixam quaisquer bicicletas. Este equipamento está a tornar-se cada vez mais acessível e é de muito fácil utilização, não sendo necessário mais do que seguir as instruções do construtor para calibrar o aparelho no início de cada teste. Existem também potenciómetros que se colocam directamente nas pedaleiras das bicicletas, permitindo a medição constante, em campo ou no laboratório, das potências geradas. Contudo, este último equipamento ainda é bastante caro e só algumas equipas profissionais e de elite os possuem. A tendência será para aumentar a acessibilidade deste equipamento à medida que ele se for popularizando.

Uma vez que parece ser relativamente indiferente a utilização de indicadores de desempenho baseados nos limiares láctico e ventilatório ou nas potências geradas, faz todo o sentido que se utilize preferencialmente a potência gerada porque é de muito mais fácil medição e não requer qualquer adaptação ou desconforto por parte dos sujeitos avaliados. Além disso, a potência gerada pode ser medida em qualquer situação de treino ou competição, se o potenciómetro estiver integrado na bicicleta, como vem sendo a tendência dos últimos tempos.

Finalmente, é importante referir que os trabalhos publicados sobre indicadores de desempenho no ciclismo incidem essencialmente sobre atletas adultos, não se conhecendo trabalhos publicados nesta temática com atletas mais jovens. Nesse sentido, o presente trabalho contribui para aumentar o conhecimento sobre indicadores de

desempenho em jovens atletas de ciclismo, e parece claro que os indicadores de desempenho encontrados por outros autores para atletas adultos também podem ser utilizados com atletas mais jovens.

IV.3 Cinética do $\dot{V}O_2$

Modelou-se a variação do $\dot{V}O_2$ com a duração do teste PAM, a qual foi, em média, bastante curta (inferior a 2 minutos) e, por isso, não permitiu que se atingisse a componente lenta, específica de esforços de intensidade pesada e severa. As duas variáveis mais relevantes desta cinética são a constante temporal, τ , e a Amplitude do $\dot{V}O_2$. De acordo com dados publicados por outros autores, estas variáveis encontram-se, de um modo geral, dentro dos valores medidos em outros sujeitos e em condições diferentes. O τ em jovens é tendencialmente menor, ou seja, mais rápido que em adultos (Carter *et al.*, 2005). Esta variável tem sido usada como indicador de desempenho, uma vez que se demora menos tempo a atingir um $\dot{V}O_2$ de equilíbrio em esforços de intensidades elevadas quando se tem um maior nível de treino (Ferri, 2012, Hughson, 2009). No entanto, no caso concreto deste estudo, tal não se verificou: a regressão linear entre τ e Distância percorrida no CR não teve significância ao nível dos 5%, mas a sua significância foi de 6% ($R^2 = 0.62$). Como o nº de sujeitos neste estudo com dados passíveis de simulação da cinética do oxigénio foi 11, ou seja, inferior ao nº de sujeitos avaliados e ao nº de outros parâmetros relevantes obtidos, poder-se-á aventar que um maior nº de dados disponíveis poderia ter levado a uma regressão significativa (com significância superior a 95%, $p < 0.05$). Assim, dado o nível de significância entre o τ e o desempenho ter sido próximo de 0.05, e uma vez que os dados disponíveis foram inferiores aos medidos (11 em vez de 14), sugere-se que o τ possa ser um bom indicador de desempenho. Para se confirmar esta hipótese, seria necessário efectuarem-se mais testes com jovens ciclistas.

Ainda no que respeita ao τ , verificaram-se regressões lineares negativas significativas com a Velocidade média do teste PAM, ou seja, quanto menor for a Velocidade ou quanto menor for a Cadência, maior será o tempo necessário para se atingir o $\dot{V}O_2$ de equilíbrio. Estes resultados sugerem que uma menor Velocidade média do teste PAM esteja relacionada com um maior tempo em atingir o equilíbrio do $\dot{V}O_2$, que reflecte uma menor adaptação aeróbia ao treino, o que faz todo o sentido

Por sua vez, a Amplitude do $\dot{V}O_2$ esteve positivamente relacionada ($p < 0.05$) com o $\dot{V}O_{2max}$ ($L \cdot \text{min}^{-1}$), com o LV2 ($L \cdot \text{min}^{-1}$) e com a PO-LV2 (W). De facto, um $\dot{V}O_{2max}$ mais elevado permite, necessariamente uma maior Amplitude do $\dot{V}O_2$. A Amplitude da cinética do $\dot{V}O_2$ tem sido usada como característica da tolerância ao esforço (Ozyener 2011) e este aspecto é reflectido pela relação significativa positiva entre a Amplitude e o LV2 (em volume por unidade de tempo e em potência). Seria de esperar que também ocorresse uma relação significativa da Amplitude com o LV1, mas tal não se verificou com os dados deste estudo. Se um atleta tem um LV2 elevado e potência elevada nesse limiar ventilatório (PO-LV2) isso reflecte-se na sua tolerância ao esforço, que é caracterizada por uma elevada Amplitude do $\dot{V}O_2$. Os resultados aqui apresentados sugerem que é o $\dot{V}O_{2max}$ que determina, em última análise, a Amplitude do $\dot{V}O_2$, que por sua vez, se reflecte na sua relação positiva e significativa com o LV2.

IV.4 Influência do Peso do Atleta

A análise de regressões que se fez para obter indicadores de desempenho mostrou que não houve uma única variável que tivesse uma regressão significativa e que fosse, simultaneamente, expressa por unidade de peso. Este facto poderia levar à inferência, que o peso dos atletas teria pouco efeito no desempenho desportivo, mas a conclusão é exactamente o oposto. Quando as variáveis fisiológicas ou de potência são expressas

por unidade de peso, está-se a uniformizar o valor de cada variável, retirando o efeito do peso do atleta, o que representa a eficiência do atleta no que respeita a essa variável, e que pode ser visto como a eficiência do esforço. Por exemplo, quando se apresenta o $\dot{V}O_2\text{max}$ em $\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, ou seja, por unidade de peso, está-se a retirar o efeito do peso, e a uniformizar esta variável para todos os sujeitos, independentemente do seu peso corporal. Contudo, e como já foi referido anteriormente, neste estudo não se registou uma única variável que tivesse influência no desempenho ciclista e que fosse apresentada por unidade de peso. Assim, estes resultados levam a supor que a eficiência do esforço não teve qualquer efeito no desempenho desportivo.

Por outro lado, o peso dos atletas teve uma regressão linear significativa com o desempenho (Tabela III.2) e correlações significativas muito elevadas com todas as variáveis que podem ser usadas como indicadores de desempenho (Tabela III.3). Estes resultados mostram a elevada influência do peso do atleta no desempenho e nas variáveis que determinam o desempenho. Poderá concluir-se que o peso dos atletas teve uma influência elevada no desempenho desportivo, independentemente de quaisquer outras variáveis, pelo que nestas idades jovens a eficiência do esforço será menos importante do que o resultado absoluto desse esforço, o qual está intimamente relacionado com o peso corporal.

Pelo acima exposto, tudo leva a crer que, nestas idades, os jovens ciclistas ainda não desenvolveram boas eficiências de esforço, pelo que os resultados absolutos têm mais importância no desempenho do que os resultados relativos ou uniformizados. Assim, atletas de maiores dimensões estarão sempre em vantagem competitiva, em relação aos atletas mais pequenos, independentemente dos valores fisiológicos ou de potência uniformizados (pelo menos quando se trata de atletas adolescentes). Este resultado leva a concluir que as competições ciclistas poderão estar a criar situações pouco justas no que se refere à igualdade de oportunidades, uma vez que os escalões competitivos dos atletas se baseiam apenas na sua idade e nunca no peso. Como a maturação biológica dos adolescentes varia muito de caso para caso, haverá sempre atletas muito jovens e

bem desenvolvidos fisicamente e atletas mais velhos e ainda pouco amadurecidos biologicamente. Esta situação pode levar à desistência desportiva dos atletas com menor maturação biológica, pois o seu menor peso será sempre uma grande desvantagem para o resultado competitivo.

Lucía *et al.* (2001) registaram as características antropométricas de ciclistas de estrada profissionais, as quais se mostraram bastante variadas, e associaram essas características às especialidades de cada atleta (rolador, trepador, e contra-relogista ou sprinter). Assim, os ciclistas roladores (terreno relativamente plano) e os sprinters são, por norma, mais altos e pesados que os trepadores. Estes autores concluem que as características morfométricas dos campeões, os quais têm de vencer em todo o tipo de terrenos e provas, aproximam-se mais dos contra-relogistas (mais altos e pesados).

Mujika e Padilla (2001) também avaliaram as características físicas de ciclistas profissionais de estrada e concluíram que estas tinham influência no desempenho desportivo: a massa corporal tem grande influência no desempenho dos trepadores, porque determina a resistência causada pela gravidade, enquanto a área frontal do atleta afecta o desempenho de ciclistas individuais, devido à sua influência na resistência aerodinâmica. Estes autores salientam a importância de apresentar as variáveis fisiológicas em relação aos valores antropométricos para prever o desempenho dos ciclistas nos diversos tipos de terreno.

Nos dois estudos acima citados salienta-se a importância das características físicas dos ciclistas no seu desempenho em vários tipos de terrenos e de provas, destacando o facto de os campeões (que competem e ganham em todo o tipo de terrenos) serem relativamente altos e pesados. Esta conclusão está de acordo com os resultados obtidos no presente estudo, no que se refere à influência do peso no desempenho. Contudo, Mujika e Padilla (2001) apontam a necessidade de apresentar as variáveis fisiológicas de desempenho em termos relativos (por unidade de peso, por exemplo), o que não

coincide com os resultados do presente estudo. O facto de os autores citados terem avaliado ciclistas adultos e profissionais, com elevada experiência e treino, poderá levar a essa conclusão, dado que são atletas cuja eficiência de esforço estará maximizada pelos treinos e competições. Por sua vez, os jovens ciclistas do presente estudo terão menor eficiência de esforço e, por isso, a uniformização das variáveis fisiológicas para determinar o seu desempenho não funciona. Supõe-se que, com o tempo, estes jovens atletas venham a melhorar a sua eficiência ciclista e, numa fase de maturação biológica mais avançada, se poderão utilizar variáveis uniformizadas.

Enquanto se está a lidar com jovens atletas, cujas idades de maturação biológica nem sempre coincidem com as idades cronológicas, talvez se devesse rever os critérios de atribuição de classes competitivas e incluir o peso corporal como uma das variáveis a considerar, em vez de ser apenas a idade. Este tipo de critério é o utilizado em desportos de combate e poderia ser também usado no ciclismo e, eventualmente, noutros desportos de resistência. Esta sugestão permitiria reduzir as injustiças decorrentes das diferentes maturações biológicas que dão grande vantagem aos ciclistas de maiores dimensões, numa fase em que a eficiência do esforço ainda não se encontra maximizada.

IV.5 Efeito da Cadência de Pedalada

Um resultado interessante deste trabalho decorreu da medição contínua da cadência de pedalada durante os testes laboratoriais. Os resultados obtidos mostraram uma regressão quadrática significativa entre a Cadência média no CR e a Distância percorrida no mesmo CR (ver Gráfico 9), com a cadência óptima próxima das 107 rpm, sendo que a cadência óptima foi aquela que originou uma maior distância percorrida no CR e, consequentemente, uma maior PO.

Coast e Welch (1985) mediram a cadência de pedalada para diferentes PO em 5 ciclistas de competição (dos 22 aos 31 anos de idade). Estudaram cadências pré-definidas de 40, 60, 80, 100 e 120 rpm, aplicadas em testes progressivos de patamares de 3 minutos em cicloergómetro até à exaustão. Concluiu-se que a cadência óptima aumentava com a PO, sendo que a cadência óptima foi definida como aquela que induz uma FC mais baixa ou um $\dot{V}O_2$ mais baixo, para uma dada PO.

Foss e Hallén (2005) estudaram o efeito da cadência de pedalada no desempenho de ciclistas em provas de 30 minutos de duração em cicloergómetro. Os testes efectuados em 7 ciclistas de elite foram feitos a cadências pré-determinadas de 60, 80 100 e 120 rpm, e também com cadência livre. Cada teste começou com 5 min de PO equivalente ao MLSS (*maximum lactate steady-state*) de cada sujeito, seguindo-se 25 minutos em que os sujeitos foram instruídos para percorrerem a máxima distância possível à cadência pré-estabelecida. Os resultados obtidos mostraram melhor desempenho nas cadências de 80 e 100 rpm, em relação às cadências de 60 e 120 rpm, mas não mostraram diferenças significativas de desempenho entre essas cadências de 80 e 100 rpm, pelo que os autores fizeram novos testes com estas cadências e com um novo grupo de atletas ($N = 7$), e assim estas cadências tiveram uma amostragem de 14 sujeitos, melhorando o poder estatístico dos resultados. No segundo teste, apenas com as cadências de 80 e 100 rpm, o desempenho foi 1,7% superior ($p < 0.05$) na cadência de 80 rpm. Nos dois testes o $\dot{V}O_2$ foi cerca de 2,5% superior a 60 rpm, 100 rpm e cadência livre e 13% superior a 120 rpm, em comparação com 80 rpm ($p < 0.05$), mas não se encontraram diferenças significativas no lactato sanguíneo entre cadências. A energia despendida nos testes (em kilojoules) seguiu o mesmo padrão que o $\dot{V}O_2$. O trabalho realizado foi o mesmo em todas cadências de pedalada, e a eficiência bruta teve uma curva em forma de U-invertido, com a maior eficiência coincidindo com as 80 rpm. No segundo teste, com as cadências de 80 e 100 rpm, a PO foi superior nas 100 rpm. De um modo geral, a cadência aumentou à medida que aumentou a PO. Assim, os autores concluíram que os ciclistas tinham melhor desempenho no teste de 30 minutos com

cadência de 80 rpm, comparando com 60, 100 e 120 rpm. A eficiência energética foi superior nas 80 rpm, mas a taxa de produção de energia foi superior nas 100 rpm. A cadência mais eficiente (80 rpm) foi diferente da preferida pelos ciclistas (100 rpm), a qual era energeticamente menos eficiente.

Num trabalho de revisão sobre a eficiência energética no ciclismo, concluiu-se que as variáveis que mais afectavam essa eficiência eram a cadência e a taxa de produção de trabalho (PO), com esta última a ter um peso claramente superior (mais de 90%) em relação à cadência (Ettema & Loras, 2009). Contudo, para PO elevadas, em que os sujeitos pedalarão acima do seu limiar anaeróbio, esta relação alterou-se e o aumento da taxa metabólica tornou-se superior ao aumento da PO, ou seja, o impacto da PO na eficiência energética diminuiu drasticamente para potências mais elevadas (acima de 150 W, segundo este autores). Em resumo, a PO determina não só a taxa metabólica, mas também a eficiência energética mais consistentemente que a cadência. Annaheim *et al.* (2010) também concluíram que a cadência energeticamente óptima aumentava com a taxa de produção de trabalho. Similarmente, Leirdal e Ettema (2009) concluíram que a cadência energeticamente óptima muda com a PO.

Geralmente, os ciclistas adoptam uma cadência que não é aquela teoricamente mais eficiente na produção de potência, mas sim superior a essa. De um modo geral, a cadência de 80 rpm foi a considerada energeticamente mais favorável aos ciclistas, se bem que essa cadência tenha tendência a aumentar com a taxa de produção de trabalho. Contudo, os ciclistas têm tendência em escolher cadências mais elevadas, próximas das 100 rpm. No presente estudo, a cadência que permitiu um melhor desempenho no CR foi 107 rpm, acima da cadência considerada energeticamente óptima por outros autores, mas semelhante à cadência normalmente adoptada pelos ciclistas. No presente estudo, não se fez uma avaliação da eficiência energética da cadência de pedalada, pelo que não se pode concluir sobre este aspecto específica. Contudo, uma cadência de 107 rpm é bastante elevada e foi a que permitiu melhor o desempenho dos jovens atletas.

V. CONCLUSÕES

O potencial de um atleta de ciclismo pode ser avaliado, em primeiro lugar pelo seu $\dot{V}O_2\text{max}$ (Faria *et al.*, 2005a). Contudo, o $\dot{V}O_2\text{max}$ quase nunca é suficiente para estabelecer as diferenças entre atletas de resistência bem treinados, dado que eles podem ter $\dot{V}O_2\text{max}$ semelhantes entre si e desempenhos diferentes (Bosquet *et al.*, 2002, Faria *et al.*, 2005a, Ferri, 2012, Joyner & Coyle, 2008). Nesse sentido, procura-se um indicador de desempenho que seja de fácil medição e que proporcione resultados que permitam selecionar os melhores atletas e que permitam a um treinador decidir qual o treino mais adequado para cada um. São inúmeros os trabalhos publicados com o objectivo de encontrar indicadores de desempenho para ciclistas de estrada. No entanto, não se conhecem estudos para obtenção de indicadores de desempenho em atletas ciclistas adolescentes, pelo que se desconheciam se os testes actualmente utilizados em adultos também poderiam ser utilizados em jovens.

Fizeram-se 3 testes em laboratório, utilizando as bicicletas de cada ciclista num simulador de treino. Os resultados obtidos foram comparados com os dados publicados relativos a outros ciclistas da mesma classe etária, assim como com outros jovens praticantes de outros desportos ou sedentários, e com dados de ciclistas mais velhos, mais experientes e, por vezes, profissionais. Esta comparação permitiu concluir que, de um modo geral, os jovens ciclistas deste estudo têm bom treino de resistência aeróbia, confirmado por valores relativamente elevados de $\dot{V}O_2\text{max}$ e uma PAM dentro da média, ou um pouco abaixo, dos valores publicados para desportistas da mesma idade. Os jovens aqui estudados também têm valores elevados de $\dot{V}O_2\text{-LV1}$ e PO-LV1 , denotando um bom treino neste limiar ventilatório. Em relação a ciclistas mais velhos, os nossos jovens apresentam valores comparáveis de $\dot{V}O_2\text{max}$ e PAM quando comparados com não-profissionais, mas valores claramente inferiores aos dos profissionais, principalmente no que respeita à potência gerada (PO). Pela comparação com valores publicados, também se conclui que os testes feitos no laboratório forneceram resultados nos quais se pode ter confiança.

O principal objectivo deste trabalho foi a obtenção de indicadores de desempenho ciclista para jovens adolescentes. Tentou-se obter um ou mais indicadores simples e, preferencialmente, de fácil medição, recorrendo a regressões lineares. Os resultados obtidos sugerem 5 possíveis indicadores de desempenho: PAM (W), $\dot{V}O_2\text{max}$ ($L\cdot\text{min}^{-1}$), o $\dot{V}O_2\text{-LV1}$, $\dot{V}O_2\text{-LV2}$ (ambos em $L\cdot\text{min}^{-1}$), e PO-LV2 (W). Destes, aquele que é de mais fácil medição é a PAM, bastando para isso o recurso a equipamento, cada vez mais disseminado, de medição da potência.

Convém referir que a relação entre o desempenho obtido em laboratório e o desempenho em competição real ainda não se encontra convenientemente estudada (Faria *et al.* 2005a), pelo que os resultados obtidos neste estudo devem ser vistos com cautela. Além disso, o contra-relógio feito em laboratório, para obtenção do desempenho, teve a duração de 20 minutos, e a extrapolação dos resultados para durações diferentes da estudada também deve ser feita com cautela. Contudo, há evidência de que a PAM obtida num teste incremental em laboratório (com cicloergómetro ou com simuladores de treino) proporciona um bom indicador do $\dot{V}O_2\text{max}$ dos atletas e do seu desempenho ciclista (Coyle *et al.*, 1991, Hawley & Noakes, 1992).

A cinética do $\dot{V}O_2$ descreve a evolução do consumo de oxigénio em esforços físicos que, no caso presente, foram de intensidade pesada a severa. A componente lenta do $\dot{V}O_2$, que costuma desenvolver-se em esforços intensos, não se verificou no presente estudo dada a curta duração do respectivo teste (com uma média de 87 seg), quando são necessários cerca de 2 min para começar a ocorrer a componente lenta. Os valores do τ e da Amplitude do $\dot{V}O_2$ encontram-se dentro dos valores normalmente obtidos para situações semelhantes, mas houve 3 medições que se revelaram de modelação impraticável, pelo que o número de modelações disponíveis foi de apenas 11, reduzindo assim o peso estatístico dos resultados. A constante temporal não se mostrou um bom indicador de desempenho, quando comparada com os outros indicadores encontrados e apresentados acima. Além disso, a obtenção deste parâmetro exige conhecimentos de

modelação de equações exponenciais de 2^a e 3^a ordem, o que torna a sua utilização como indicador de desempenho pouco prática e acessível.

A Amplitude do $\dot{V}O_2$ esteve significativamente relacionada com o $\dot{V}O_{2max}$, o que se entende dado que uma depende directamente da outra. Além disso, verificaram-se relações significativas positivas com o limiar ventilatório 2 (LV2) ao nível do consumo de O_2 e da potência gerada neste limiar. Este facto reflecte a importância da Amplitude na tolerância ao esforço físico.

Os indicadores de desempenho que foram apurados neste estudo estão todos em unidades não uniformizadas ao peso dos atletas e apenas se conclui que os indivíduos mais corpulentos tiveram melhor desempenho. Ou seja, se os atletas estudados tivessem todos o mesmo peso, não se teriam encontrado indicadores de desempenho. Concluiu-se assim que, em atletas adolescentes, cuja idade biológica nem sempre coincide com a idade cronológica, o peso tem muita influência no desempenho, ao contrário do que parece acontecer em idades posteriores (e também coincidentes com maior experiência ciclista). Sugere-se que os critérios de atribuição de classes competitivas nos jovens, os quais são baseados apenas nas idades, deveriam ser revistos para incluir também o peso dos atletas, de modo a tornar as competições mais justas.

A cadência média de pedalada que proporcionou o melhor desempenho neste estudo foi de 107 rpm, valor este considerado acima duma cadência energeticamente óptima. Contudo, está bem documentado que os ciclistas, mesmo profissionais, adoptam geralmente uma cadência de pedalada superior à considerada teoricamente óptima. Os atletas deste estudo não fogem a esta regra.

VI. BIBLIOGRAFIA

Balmer, J., Davison, C. R., & Bird, S. R., 2000. Peak Power Predicts Performance Power During an Outdoor 16.1 km Cycling Time Trial. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, **32(8)**, 1485-1490.

Aagaard P, Andersen J, Bennekou M, Larsson B, Olesen J, Cramer R, Magnussen S, Kjaer M., 2011. Effects of Resistance Training on Endurance Capacity and Muscle Fiber Composition in Young Top-Level Cyclists. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* **24**: 298-307.

Amann M, Subudhi A, Foster C., 2004. Influence of Testing Protocol on Ventilatory Threshold and Cycling Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise* **36**: 613-622.

Amann M, Subudhi A, Foster C., 2006. Predictive Validity of Ventilatory and Lactate Thresholds for Cycling Time Trial Performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* **16**: 27-34.

Annaheim S, Boutellier U, Kohler G., 2010. The Energetically Optimal Cadence Decreases After Prolonged Exercise. *European Journal of Applied Physiology* **109**: 1103-1110.

Aunola S, Rusko H., 1984. Reproducibility of Aerobic and Anaerobic Thresholds in 20-50 Year Old Men. *European Journal of Applied Physiology* **53**: 260-266.

Balikian Júnior P, Denadai BS., 1996. Aplicações do Limiar Anaeróbio Determinado em Teste de Campo para o Ciclismo: Comparação com Valores Obtidos em Laboratório. *Motriz* **2**: 26-32.

Balmer J, Davison CR, Bird SR., 2000. Peak Power Predicts Performance Power During an Outdoor 16.1 km Cycling Time Trial. *Medicine & Science in Sports & Exercise* **32**: 1485-1490.

Balmer J, Potter C, Bird SR, Davison R., 2005. Age-Related Changes in Maximal Power and Maximal Heart Rate Recorded During a Ramped Test in 114 Cyclists Aged 15-73 Years. *J Aging & Physical Activity* **13**: 75-86.

Barstow T, Molé P., 1991. Linear and Nonlinear Characteristics of Oxygen Uptake Kinetics During Heavy Exercise. *J Applied Physiology* **71**: 2099-2106.

- Barstow T, Jones A, Nguyen P, Casaburi R., 1996. Influence of Muscle Fiber Type and Pedal Frequency on Oxygen Uptake Kinetics of Heavy Exercise. *J Applied Physiology* **81**: 1642-1650.
- Bearden S, Moffat R., 2000. VO₂ Kinetics and the O₂ Deficit in Heavy Exercise. *J Applied Physiology* **88**: 1407-1412.
- Bearden S, Henning P, Bearden T, Moffat R., 2004. The Slow Component of VO₂ Kinetics in Very Heavy and Fatiguing Square-Wave Exercise. *European Journal of Applied Physiology* **91**: 586-594.
- Beaver W, Wasserman K, Whipp B., 1986. A New Method for Detecting Anaerobic Threshold by Gas Exchange. *J Applied Physiology* **60**: 2020-2027.
- Bosquet L, Léger L, Legros P., 2002. Methods to Determine Aerobic Endurance. *Sports Medicine* **32**: 675-700.
- Bouchard C, Godbout P, Mondor J, Leblanc C., 1979. Specificity of Maximal Aerobic Power. *European Journal of Applied Physiology* **40**: 85-93.
- Breese B, Williams C, Barker A, Welsman J, Fawkner S, Armstrong N., 2010. Longitudinal Changes in the Oxygen Uptake Kinetics Response to Heavy-Intensity Exercise in 14- to 16-Year Old Boys. *Pediatric Exercise Science* **22**: 69-80.
- Burnley M, Jones A., 2007. Oxygen Uptake Kinetics as a Determinant of Sports Performance. *European Journal of Sport Science* **7**: 63-79.
- Caiozzo V, Davis, JA, Ellis, JF, Azus, JL, Vandagridd, R, Prietto, CA, McMaster, WC., 1982. A Comparison of Gas Exchange Indices Used to Detect the Anaerobic Threshold. *J Applied Physiology* **53**: 1184-1189.
- Cannon D, White A, Andriano M, Kolkhorst F, Rossiter H., 2011. Skeletal Muscle Fatigue Precedes the Slow Component of Oxygen Uptake Kinetics During Exercise in Humans. *J Physiol* **589**: 727-739.
- Carter H, Pringle J, Jones A, Doust J., 2002. Oxygen Uptake Kinetics during Treadmill Running Across Exercise Intensity Domains. *European Journal of Applied Physiology* **86**: 347-354.
- Carter H, Dekerle J, Brickley G, Williams CA., 2005. Physiological Responses to 90 s All Out Isokinetic Sprint Cycling in Boys and Men. *J Sports Science and Medicine* **4**: 437-445.
- Coast J, Welch H., 1985. Linear Increase in Optimal Pedal Rate with Increases Power Output in Cycle Ergometry. *European Journal of Applied Physiology* **53**: 339-342.

Costa V, Matos D, Pertence L, Martins J, Lima J., 2011a. Reproducibility of Cycling Time to Exhaustion at VO_{2max} in Competitive Cyclists. *J Exercise Physiology* **14**: 28-34.

Costa VP, Pertence L, Paton C, Matos D, Martins J, Lima J., 2011b. Physiological Correlates of 10-Km Up-hill Cycling Performance in Competitive Cyclists. *J Exercise Physiology* **14**: 26-33.

Courteix D, Obert P, Lecoq A, Demenois J., 1995. Indice d' Adaptation Cardiaque et Évaluation du Cycliste lors d' un Test Rectangulaire. *Science & Sports* **10**: 219-221.

Coyle E., 2005. Improved Muscular Efficiency Displayed as Tour de France Champion Matures. *J Applied Physiology* **98**: 6.

Coyle E, Feltner M, Kautz S, Hamilton M, Baylor A, Abraham L, Petrek G., 1991. Physiological and Biomechanical Factors Associated with Elite Endurance Cycling Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise* **23**: 93-107.

Doherty M, Balmer J, Davison R, Robinson L, Smith P., 2003. Reliability of a Combined 3-min Constant Load and Performance Cycling Test. *Int. J. Sport Med* **24**: 366-371.

Egaña M, O'Riordan D, Warmington S., 2010. Exercise Performance and VO_2 Kinetics During Upright and Recumbent High-Intensity Cycling Exercise. *European Journal of Applied Physiology* **110**: 39-47.

Ettema G, Loras H., 2009. Efficiency in Cycling: A Review. *European Journal of Applied Physiology* **106**: 1-14.

Faria E, Parker D, Faria I., 2005a. The Science of Cycling: Physiology and Training - Part 1. *Sports Medicine* **35**: 285-312.

Faria E, Parker D, Faria I., 2005b. The Science of Cycling. Factors Affecting Performance - Part 2. *Sports Medicine* **35**: 313-337.

Fawkner S, Armstrong N., 2004. Modelling the VO_2 Kinetic Reponse to Heavy Intensity Exercise in Children. *Ergonomics* **47**: 1517-1527.

Ferri A, Adamo, S, La Torre, A, Marzorati, M, Bishop, DJ, Miserocchi, G., 2012. Determinants of Performance in 1,500-m Runners. *European Journal of Applied Physiology* **112**: 3033-3043.

Foss O, Hallén J., 2005. Cadence and Performance in Elite Cyclists. *European Journal of Applied Physiology* **93**: 453-462.

- Guvenç A, Açıkada C, Aslan A, Ozer K., 2011. Daily Physical Activity and Physical Fitness in 11- to 15- Year-Old Trained and Untrained Turkish Boys. *J Sports Science and Medicine* **10**: 502-514.
- Hawley JA, Noakes TD., 1992. Peak Power Output Predicts Maximal Oxygen Uptake and Performance Time in Trained Cyclists. *European Journal of Applied Physiology* **65**: 79-83.
- Hill D, Halcomb J, Stevens E., 2003. Oxygen Uptake Kinetics During Severe Intensity Running and Cycling. *European Journal of Applied Physiology* **89**: 612-618.
- Hughson R., 2009. Oxygen Uptake Kinetics: Historical Perspectives and Future Directions. *Applied Physiol. Nutr. Metab.* **34**: 840-850.
- Jeukendrup AE, Saris WHM, Brouns F, Kester ADM., 1996. A New Validated Endurance Performance Test. *Medicine & Science in Sports & Exercise* **28**: 266-270.
- Jones A, Carter H., 2000. The Effect of Endurance Training on Parameters of Aerobic Fitness. *Sports Medicine* **29**: 373-386.
- Joyner MJ, Coyle EF., 2008. Endurance Exercise Performance. the Physiology of Champions. *J Physiol* **586**: 35-44.
- Kenney WR, Wilmore JH, Costill DL., 2011. "Physiology of Sports and Exercise". Champaign: Human Kinetics.
- Lai N, Nasca M, Silva M, Silva F, Whipp B, Cabrera M., 2008. Influence of Exercise Intensity on Pulmonary Oxygen Uptake Kinetics at the Onset of Exercise and Recovery in Male Adolescents. *Applied Physiol. Nutr. Metab.* **33**: 107-117.
- Lamberts RP, Swart J, Noakes TD., 2009a. A Novel Submaximal Cycle Test to Monitor Fatigue and Predict Cycling Performance. *Br J Sports Med*: 1-25.
- Lamberts RP, Swart J, Noakes TD, Lambert MI. 2009b. Changes in Heart Rate Recovery After High-Intensity Training in Well-Trained Cyclists. *European Journal of Applied Physiology* **105**: 705-713.
- Lee H, Martin D, Anson J, Grundy D, Hahn A., 2002. Physiological Characteristics of Successful Mountain Bikers and Professional Road Cyclists. *J Sports Sciences* **20**: 1001-1008.
- Leirdal S, Ettema G., 2009. Freely Chosen Pedal Rate During Free cycling on a Roller and Ergometer Cycling. *European Journal of Applied Physiology* **106**: 799-805.
- Lucia A, Hoyos J, Pérez M, Santalla A, Earnest C, Chicharro J., 2004. Which Laboratory Variable is Related with time Trial Performance Time in the Tour de France. *Br J Sports Med* **38**: 636-640.

- Lucía A, Hoyos J, Chicharro JL., 2001. Physiology of Professional Road Cycling. *Sports Medicine* **31**: 325-337.
- Marwood S, Roche D, Garrard M, Unnithan V., 2011. Pulmonary Oxygen Uptake and Muscle Deoxygenation Kinetics During Recovery in Trained and Untrained Male Adolescents. *European Journal of Applied Physiology* **111**: 2775-2784.
- McNaughton LR, Roberts S, Bentley DJ. ,2006. The Relationship Among Peak Power Output, Lactate Threshold, and Short-distance Cycling Performance. *J Strength and Conditioning Research* **20**: 157-161.
- Montfort-Steiger V, Williams CA, Armstrong N., 2005. The Reproducibility of an Endurance Performance Test in Adolescent Cyclists. *European Journal of Applied Physiology* **94**: 618-625.
- Mujika I, Padilla S., 2001. Physiological and Performance Characteristics of Male Road Cyclists. *Sports Medicine* **31**: 479-487.
- Nimmerichter A, Eston R, Bachl N, Williams C., 2011. Longitudinal Monitoring of Power Output and Heart Rate Profiles in Elite Cyclists. *J Sports Sciences* **29**: 831-839.
- Norris SR, Petersen SR., 1998. Effects of Endurance Training on Transient Oxygen Uptake Responses in Cyclists. *J Sports Sciences* **16**: 733-738.
- Ozyener F, Rossiter, HB, Ward, SA, Whipp, BJ., 2011. Oxygen Uptake Kinetics During Incremental- and Decremental-Ramp Cycle Ergometry. *J Sports Science and Medicine* **10**: 584-589.
- Richard R, Lonsdorfer-Wolf E, Dufour S, Doutreleau, S, Oswald-Mammosser M, Billat V, Lonsdorfer J., 2004. Cardiac Output and Oxygen Release During Very High-Intensity Exercise Performed Until Exhaustion. *European Journal of Applied Physiology* **93**: 9-18.
- Sabapathy S, Schneider D, Comadira G, Johnston I, Morris N., 2004. Oxygen Uptake Kinetics during Severe Exercise: A Comparison Between Young and Older Men. *Respiratory Physiology & Neurobiology* **139**: 203-213.
- Schabert E, Hawley J, Hopkins W, Mujika I, Noakes T., 1998. A New Reliable Laboratory Test of Endurance Performance for Road Cyclists. *Medicine & Science in Sports & Exercise* **30**: 1744-1750.
- Thevenet D, Tardieu-Berger M, Berthoin S, Prioux J., 2007. Influence of Recovery Mode (Passive vs. Active) on Time Spent at Maximal Oxygen Uptake During Intermittent Session in Young and Endurance-Trained Athletes. *European Journal of Applied Physiology* **99**: 133-142.

Watt K, Hopkins W, Snow R., 2002. Reliability of Performance in Repeated Sprint Cycling Tests. *J Science & Medicine in Sport* **5**: 354-361.

Zafeiridis A, Rizos S, Sarivasiliou H, Kazias A, Dipla K, Vrabas S., 2011. The Extent of Aerobic system Activation During Continuous and Interval Exercise Protocols in Young Adolescents and Men. *Applied Physiol. Nutr. Metab.* **36**: 128-136.

ANEXO I

Dados pessoais dos atletas avaliados neste estudo

Sujeito	Idade (anos)	Altura (cm)	Peso (kg)	Tempo de treino ciclista (meses)
1	17,3	175	67,0	24
2	16,2	171	65,0	17
3	17,5	176	56,0	2
4	15,8	183	67,0	17
5	15,2	160	53,0	29
6	15,9	172	62,0	60
7	14,8	179	63,0	5
8	16,1	165	55,0	12
9	14,7	160	43,5	2
10	14,3	163	49,0	2
11	16,8	183	65,0	9
12	16,4	182	75,0	14
13	17,5	177	59,0	2
14	14,5	170	52,0	2
Média	15,8	172,2	59,4	15,0
D.P.	1,05	8,36	8,80	16,16

ANEXO II

Resultados dos testes efectuados aos atletas

Tabela 1 – Resultados do teste PAM para cada sujeito avaliado, média e desvio padrão (DP).

Sujeito	PAM (W)	PAM (W kg ⁻¹)	Duração do teste PAM (seg)	Velocidade média (km h ⁻¹)	Cadência média (rpm)
1	330,1	4,93	64	41,0	113
2	324,0	4,98	65	29,0	102
3	239,7	4,28	60	50,1	127
4	360,3	5,38	42	45,6	116
5	295,9	5,58	84	27,0	101
6	300,3	4,84	35	58,2	159
7	299,1	4,75	108	42,9	124
8	328,7	5,98	56	41,2	122
9	229,3	5,27	102	48,7	123
10	*	*	*	*	*
11	280,6	4,32	174	62,8	137
12	459,5	6,13	126	42,5	108
13	299,6	5,08	148	57,8	130
14	241,1	4,64	72	48,3	130
Média	306.8	5.10	87.4	45.8	122,5
D.P.	60.06	0.57	41.97	10.48	15,55

* Este sujeito não fez o teste PAM

Tabela 2 – Resultados do teste PAM obtidos com o medidor de gases, para cada sujeito avaliado, média e desvio padrão (DP).

Sujeito	VO ₂ max (L.min ⁻¹)	VO ₂ max (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)
1	4,3	64,3
2	4,2	65,3
3	3,5	62,8
4	5,5	82,3
5	3,5	66,2
6	4,0	64,2
7	4,3	68,9
8	4,4	79,2
9	2,7	62,2
10*	3,1	63,4
11	3,4	52,3
12	5,6	74,9
13	4,2	70,8
14	3,6	68,3
Média	4,0	67,5
D.P.	0,82	7,59

Tabela 3 - Valores no LV1 para cada sujeito, média e desvio padrão.

Sujeito	LV1 (L.min ⁻¹)	LV1 (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	LV1 (% VO ₂ max)	PO-LV1 (W)	PO-LV1 (% da PAM)
1	2,9	42,7	66,3	255	75,0
2	2,9	45,1	69,1	210	65,6
3	2,4	42,2	67,2	180	66,7
4	3,7	54,9	66,7	235	65,3
5	2,5	46,3	69,9	200	64,5
6	2,7	43,5	67,8	170	54,0
7	2,9	45,4	65,9	180	60,0
8	3,0	55,3	69,7	185	56,1
9	1,8	41,1	66,0	135	58,7
10*	2,3	46,6	73,4	165	68,8
11	2,8	43,0	82,2	195	69,6
12	3,8	50,6	67,6	250	54,3
13	3,2	53,6	75,7	195	65,0
14	2,2	42,1	61,7	135	56,3
Média	2,8	46,1	68,7	191,9	62,7
<i>D.P.</i>	<i>0,56</i>	<i>4,73</i>	<i>4,87</i>	<i>38,33</i>	<i>6,61</i>

* Os valores de VO₂max deste sujeito foram obtidos no teste PP.

Tabela 4 - Valores no LV2 para cada sujeito, média e desvio padrão.

Sujeito	LV2 (L.min ⁻¹)	LV2 (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	LV2 (% VO ₂ max)	PO-LV2 (W)	PO-LV2 (% PAM)
1	3,8	56,7	88,2	315	92,6
2	3,9	60,0	91,9	290	90,6
3	2,9	52,1	83,0	225	83,3
4	4,7	70,1	85,2	290	80,6
5	3,2	60,2	90,9	230	74,2
6	3,6	57,6	89,7	255	81,0
7	3,9	62,7	90,9	270	90,0
8	4,0	73,6	92,9	255	77,3
9	2,5	57,6	92,6	170	73,9
10	2,7	54,9	86,6	180	75,0
11	3,1	47,0	89,8	215	76,8
12	4,9	65,0	86,8	360	78,3
13	3,8	63,6	89,8	230	76,7
14	3,1	60,5	88,6	195	81,3
Média	3,6	59,8	89,0	250,0	81,1
D.P.	0,73	7,07	2,98	55,19	6,35

Tabela 5 – Resultados do teste CR (contra-relógio) de 20 minutos para cada sujeito, média e desvio padrão.

Sujeito	Distância (km)	Vel. média (km.h ⁻¹)	PO média (W)	PO média (W.kg ⁻¹)	Cadência média (rpm)	FC média (bpm)	FC máx (bpm)
1	10,43	31,5	216,5	3,2	100		
2	10,22	30,8	208,4	3,2	95	179	194
3	8,41	25,5	145,6	2,6	83		
4	9,66	29,0	190,1	2,8	92	*	
5	9,87	29,8	192,8	3,6	107	184	198
6	10,03	30,3	203,3	3,3	107	179	189
7	10,49	31,4	217,2	3,4	98	182	195
8	10,49	31,3	215,3	3,9	110	184	204
9	8,41	25,2	143,8	3,3	89	188	198
10	8,79	26,9	159,0	3,2	91	194	211
11	10,49	31,8	221,6	3,4	93	192	200
12	12,12	36,9	292,4	3,9	99	182	194
13	9,50	28,6	180,2	3,2	109	178	199
Média	9,90	29,9	198,9	3,3	97,9	184,2	198,2
D.P.	1,01	3,07	38,93	0,37	8,40	5,43	6,07

* Este atleta não se sentia bem no dia do teste CR.

Tabela 6 – Resultados da cinética do $\dot{V}O_2$, incluindo as variáveis de controlo (correspondentes aos resíduos) para cada sujeito avaliado, média e desvio padrão (D.P.).

Sujeito	τ (s)	Amplitude (mL.min ⁻¹)	R	R resíduo	Soma dos resíduos
1	14,41	2882,54	0,97	0,02	7,56
2	15,67	3498,81	0,95	0,08	18,90
3	5,99	2076,45	0,76	-0,54	272,33
4					
5	15,39	2189,78	0,98	-0,12	-21,61
6	6,79	2451,00	0,82	0,11	0,25
7	14,43	3612,63	1,00	0,38	213,95
8	10,64	2581,23	0,95	-0,09	-159,47
9					
10					
11	9,83	1434,13	0,60	0,06	2,24
12	15,86	3373,31	0,97	-0,08	-13,57
13	10,75	1494,47	0,66	0,30	9,74
14	10,43	1099,67	0,59	0,21	7,72
Média	11,84	2.427	0,84	0,03	30,73
D.P.	3,537	864,8	0,161	0,249	116,709

Nota: os sujeitos que não apresentam resultados não tiveram curvas passíveis de serem modeladas.