
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA MOTRICIDADE

**APLICAÇÃO DO MODELO DE POTÊNCIA CRÍTICA NA CINÉTICA DO
CONSUMO DE OXIGÊNIO EM EXERCÍCIO SUPRAMAXIMO**

RODRIGO FERREIRA DE MOURA

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências do Câmpus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências da Motricidade.

Dezembro - 2006

APLICAÇÃO DO MODELO DE POTÊNCIA CRÍTICA NA CINÉTICA DO
CONSUMO DE OXIGÊNIO EM EXERCÍCIO SUPRAMÁXIMO

RODRIGO FERREIRA DE MOURA

Orientador: EDUARDO KOKUBUN

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências do Câmpus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências da Motricidade (Area de Motricidade Humana)

RIO CLARO
Estado de São Paulo-Brasil
2006

Dedicatória

Este trabalho é dedicado aos meus pais José e Cícera e aos meus irmãos Dimas e Danila, com os quais eu aprendi a força que brota do amor.

Em especial a Márcia Ito pelo carinho, amor e companhia.

Agradecimentos

Ainda que todas as palavras, de todas as línguas dos homens fossem ditas, não seriam suficientes para agradecer a Deus.

Agradeço em especial a Dr^a Márcia Casela, por me reconduzir ao que realmente tem valor. Ao Jean J. Silva pela mão amiga em todos os momentos e ao Nilson Dias, meu amigo e irmão. Ao Thiago Infosato pela amizade e presença nos momentos de dificuldade.

Agradeço ao professor Eduardo Kokubun pela orientação, à Clarice Sibuya pelo incentivo e aos colegas de laboratório pelas valiosas lições.

*“O Senhor dá força ao cansado
e multiplica a força ao que não
tem nenhum vigor.*

*Os jovens se cansarão e se
fatigarão, e os moços cairão.*

*Mas os que esperam no Senhor
renovarão suas forças, subirão
com asas como águias;
correrão, e não se cansarão;
caminharão, e não se
fatigarão.”*

(Isaías 40:29-31)

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	II
LISTA DE FIGURAS	III
RESUMO	IV
ABSTRACT.....	V
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS.....	4
1.2 HIPÓTESES.....	5
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	6
2.1. DOMÍNIOS DE INTENSIDADE E RESPOSTAS METABÓLICAS.....	6
2.1.1 <i>O componente lento da cinética do VO₂</i>	8
2.1.2 <i>Modelos que descrevem a Cinética do VO₂</i>	10
2.1.3 <i>Relação entre as cinética do VO₂ e da FC</i>	12
2.2 POTÊNCIA CRÍTICA.....	13
2.2.1 <i>Significado fisiológico do modelo da PCrit</i>	14
2.2.2 <i>Aplicação do modelo a partir de variáveis fisiológicas</i>	17
3. MATERIAIS E MÉTODOS	19
3.1. PARTICIPANTES.....	19
3.2 ERGÔMETRO	20
3.3 SISTEMA METABÓLICO DE COLETAS DE GASES	21
3.4 DESENHO EXPERIMENTAL.....	21
3.4.1 <i>Protocolo Incremental</i>	21
3.4.2 <i>Protocolo retangular</i>	22
3.5 DETERMINAÇÃO DO VO ₂ PICO E VO ₂ MAX.....	23
3.6 DETERMINAÇÃO DA PCRIT E CTA.....	24
3.7. MODELAGEM DA CINÉTICA DO VO ₂	25
3.8 COERÊNCIA INTERNA DO MODELO: PREDIÇÃO DO VO ₂ MAX E DA PCRIT	27
3.9. PREDIÇÃO DOS VALORES DE CTA ATRAVÉS DO VO ₂	28
3.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA	28
4. RESULTADOS.....	31
5. DISCUSSÃO	45
5.1 A DETERMINAÇÃO DA PCRIT E CTA	45
5.2 CAPACIDADE DE PREDIÇÃO DO MODELO	47
5.3 PRESSUPOSTOS E LIMITAÇÕES.....	49
5.3.1 <i>O custo da carga de trabalho</i>	50
5.3.2 <i>Sistema de espirometria</i>	51
5.4 SIGNIFICADO FISIOLÓGICO DO MODELO.....	51
6. CONCLUSÃO	55
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
APENDICE I.....	68
APÊNDICE II.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características dos participantes submetidos ao estudo.....	20
Tabela 2. Valores de Potencia pico e VO ₂ pico associado.....	31
Tabela 3. Valores reais de PCrit e relativos ao percentual do VO ₂ max.....	32
Tabela 4. Valores reais de CTA e relativos ao percentual do VO ₂ max.....	33
Tabela 5. Valores r de pearson para a relação entre os valores de PCrit e CTA relativos ao VO ₂ max.	34
Tabela 6. Valores estimados, erro padrão da estimativa e r ² dos parâmetros da equação 5.	38
Tabela 7. Valores de VO ₂ pico, VO ₂ max e VO ₂ max_pred.....	39
Tabela 8. Valores de PCrit, PCrit100 e PCrit_pred	41
Tabela 9. Valores de CTA, CTA100 e CTA_pred.....	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1A - Relação linear entre a Pcrit e o tempo para atingir a Fcalvo.....	18
Figura 1B - Relação linear entre a CTA e o tempo para atingir a Fcalvo.....	18
Figura 2A - Distribuição dos valores preditos de observados de PCrit.....	34
Figura 2B - Distribuição dos resíduos.	35
Figura 3B - Distribuição dos resíduos.....	36
Figura 4 - Ajuste da cinética do VO ₂ na intensidade 233w, ID 13.....	36
Figura 5 - Relação dos valores preditos e observados, ID 13.....	37
Figura 6 - Distribuição dos resíduos, ID 13.....	37

RESUMO

Manchado et al. (2002) determinaram os parâmetros do modelo da PCrit através dos valores submáximos da FC. Foi reportado a existência de uma relação linear da PCrit_{FC} e AWC_{FC} submáxima com seus respectivos valores máximos. Diante da correlação entre a FC e o VO₂, essas equações lineares foram re-inseridas no modelo hiperbólico da PCrit e deduzidas para prever a cinética do VO₂. O objetivo do presente estudo foi verificar a possibilidade de determinar os parâmetros da PCrit através da cinética do VO₂ de apenas uma sessão de exercício supramáximo. Para isso, foram analisadas a resposta do VO₂ de jovens universitários, 13 homens e 2 mulheres, submetidos a três ou quatro testes preditivos da PCrit e CTA. O VO₂ foi coletado a cada 3 ciclos respiratórios, interpolado a cada um segundo e alisado com médias móveis de 15 segundos. Foram determinados os tempos para se atingir, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95 e 100% do VO_{2max}. Esses tempos apresentaram uma relação hiperbólica com a intensidade de trabalho e possibilitaram determinar os valores de PCrit e CTA correspondentes aos valores abaixo e no VO_{2max}. Ancova demonstrou que esses valores de PCrit e CTA sub-VO_{2max} se relacionavam de maneira linear com os valores máximos correspondentes. As equações lineares foram deduzidas ao modelo hiperbólico $VO_2 = VO_{2rep} + \frac{E * P}{1 + \frac{k}{TVO_2}}$, o qual apresentou bom ajuste à cinética do VO₂ (0.90 < r² < 0.99). Os valores encontrados, para os termos da equação, possibilitaram prever os valores de PCrit (PCrit_{pred}) e CTA (CTA_{pred}). Esses valores foram comparados, através do intervalo de confiança (IC), com seus respectivos parâmetros reais, mas não foi encontrada diferença para a PCrit. Entretanto, as grandes amplitudes do IC para a CTA e CTA_{pred} não permitiram realizar determinações acuradas para este parâmetro. Conclui-se que o modelo de cinética adotado para o VO₂ possibilita a determinação dos valores de PCrit a partir de apenas um teste retangular.

ABSTRACT

Manchado et al. (2002) determined CP model parameters through heart rate (HR) submaximal values. The authors reported a linear relationship between submaximal CP_{HR} and AWC_{HR} to its respective maximal values. This work was based on the assumption that HR and VO_2 have a qualitative correlation. Thus, those linear equations were re-inserted in CP hyperbolic model and deduced to predict VO_2 kinetics. The main purpose of this study was test the use of VO_2 kinetics, of one supramaximal exercise session, to determine the CP parameters. Were submitted to the experiment 13 men and 2 women. They realized 3 or 4 CP and AWC prediction tests and, during the trials, the VO_2 response was collected every 3-breath cycle. It was interpolated to one-second values and smoothed by 15 s rolling average. The time to achieve 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95 and 100% of VO_{2max} was recorded. Those times fitted to a hyperbolic relationship with exercise intensity, thus the CP and AWC related to sub- and VO_{2max} were determined. ANCOVA revealed that each parameter sub- VO_{2max} value was linear related to its maximal value. These two linear equations

were deduced to the hyperbolic model $VO_2 = VO_{2rep} + \frac{E * P}{1 + \frac{k}{TVO_2}}$. The VO_2

response was good fitted ($0.90 < r^2 < 0.99$) and the equation term's values were used to determine predicted values of CP (CP_{pred}) and AWC (AWC_{pred}). These values were compared, by confidence intervals (CI), with its respective measured real values and no differences were found to CP. However, AWC and AWC_{pred} presented elevated CI ranges and does not allowed an accurate prediction of this parameter. In Summary, the kinetics model adopted to VO_2 makes possible determine CP values using just one rectangular test.

1. INTRODUÇÃO

O modelo teórico que norteia os princípios da fisiologia do esforço, preconiza uma interação de mecanismos anaeróbios e oxidativos durante o trabalho muscular. O fator determinante na taxa de mobilização dos recursos de cada sistema é a intensidade do exercício. As respostas metabólicas, mediante diferentes faixas de intensidade, demonstram estratégias peculiares para suprir a demanda energética imposta (GAESSER e POOLE, 1996).

A identificação das zonas de transição do comportamento metabólico, permite avaliar e prescrever treinamento, bem como, realizar predições do desempenho esportivo. Com esse propósito foram desenvolvidas diversas técnicas. Dentre as quais, a potência crítica (PCrit) (MONOD e SCHERRER, 1965) destaca-se como uma técnica não invasiva, de bons resultados e baixo custo operacional (HILL, 1993).

Esse modelo empírico, desenvolvido na década de 60, permite predizer índices de desempenho relacionados aos metabolismos oxidativo e anaeróbio. Foi demonstrado que a técnica permite determinar o limite da intensidade de trabalho que pode ser realizado às custas do metabolismo oxidativo. E também, possibilita estimar a quantidade de energia armazenada

que pode ser revertida em trabalho mecânico, a despeito da via metabólica oxidativa (MORITANI et al., 1981). Essa reserva complementar foi denominada de capacidade de trabalho anaeróbio (CTA), já a intensidade limítrofe da zona postulada como exclusivamente aeróbia, foi difundida como PCrit.

O modelo da PCrit é fundamentado na existência de uma relação hiperbólica entre a potência desenvolvida e o tempo até a exaustão (t_{lim}). Contudo, Hill e Smith (1999) relataram que o tempo até se atingir o VO_{2max} (TVO_{2max}) e a intensidade do exercício também se ajustam a uma hipérbole retangular.

Analogamente, Manchado et al. (2002) relataram um comportamento hiperbólico na relação entre o tempo para se atingir determinada FC submáxima (sub-FC) e a intensidade de exercício. Essa relação possibilitou encontrar diferentes valores de PCrit e CTA inerentes ao número de batimentos cardíacos estipulados como alvo. Foi relatado que os valores de PCrit e CTA sub-FC se relacionam, linearmente, com os valores associados à FC máxima (max-FC). Cada parâmetro se ajustou a uma equação linear $f(x) = ax + b$.

Mais tarde, Manchado (2004) substituiu as incógnitas, PCrit e CTA, do modelo hiperbólico de Monod e Scherrer (1965) pelas respectivas equações lineares. A equação hiperbólica reorganizada permitiu prever a cinética da FC e encontrar o valor de FC máxima.

Diante do pressuposto de similaridade entre as cinéticas da FC e do VO_2 (SCHNEIDER et al., 2002; PERREY et al., 2003; LEPRETRE et al., 2004), os achados de Manchado et al. (2002) e Manchado (2004) devem ser

constatados também ao se utilizar o $\dot{V}O_2$. Assim, valores de PCrit e CTA referentes ao tempo para se atingir os valores submáximos e máximo do $\dot{V}O_2$, também devem se relacionar linearmente. Essa relação pode permitir a construção de um modelo capaz de prever a cinética do $\dot{V}O_2$ e possibilitar a estimativa de valores de PCrit (PCrit_pred) e CTA (CTA_pred) com apenas um teste.

1.1 Objetivos

Os achados de Manchado et al. (2002) e Manchado (2004) demonstraram, a partir do modelo de PCrit, a possibilidade de predição da cinética da FC. Embasado em tal estudo e no pressuposto de que a FC e o VO_2 apresentam características cinéticas similares (Schneider et al., 2002), o presente trabalho tem por objetivos:

- a) Verificar se uma equação desenvolvida a partir da aplicação do modelo de PCrit se ajusta à cinética do VO_2 .

A confirmação da hipótese acima é condição imprescindível para a verificação do principal objetivo do estudo:

- b) Predizer os valores dos parâmetros da PCrit utilizando os dados de VO_2 de apenas um teste retangular supramáximo.

1.2 Hipóteses

O presente estudo é embasado no encadeamento das seguintes hipóteses:

- a) A exemplo dos achados de Hill e Smith (1999), o tempo decorrido até se atingir determinado percentual do VO_{2max} ajusta-se de maneira hiperbólica à intensidade do exercício;
- b) A PCrit e a CTA correspondentes aos valores percentuais do VO_{2max} (sub- VO_{2max}) se relacionam, de modo linear, com seus respectivos valores máximos;
- c) A relação linear dos parâmetros sub- VO_{2max} permite a dedução a um modelo hiperbólico, o qual descreve a cinética do VO_2 em exercícios supramáximos;
- d) O modelo hiperbólico de cinética permite estimar, com apenas uma sessão de teste, os valores de PCrit_pred e de CTA_pred;
- e) Os valores de PCrit_pred e CTA_pred não diferem, estatisticamente, dos valores reais de PCrit e CTA.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Domínios de intensidade e respostas metabólicas

Em exercício, o organismo responde de maneira diferenciada ao modo como a demanda energética é imposta. O comportamento de algumas variáveis fisiológicas fornece indicações sobre a atuação do metabolismo para atender as exigências motoras. Dentre essas variáveis, o VO_2 e o lactato sanguíneo destacam-se como representantes dos sistemas aeróbio e anaeróbio, respectivamente.

A observação da cinética do VO_2 e do lactato sanguíneo constituiu a base da teoria dos domínios de intensidade (GAESSER e POOLE, 1996). Na qual, descreve-se o comportamento padrão dessas respostas metabólicas para três diferentes faixas de intensidade, denominadas de moderada, intensa e severa.

Nas intensidades moderadas, a cinética do VO_2 apresenta estabilização em aproximadamente 3 minutos. Esse comportamento pode ser

descrito por uma equação mono-exponencial (WHIPP, 1972; BARSTOW e MOLÉ, 1991). O custo energético da atividade apresenta uma relação linear com a intensidade e, em cicloergômetro, estima-se cerca de $9 - 11 \text{ mlO}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{W}^{-1}$. As intensidades inerentes a esse domínio encontram-se abaixo do limiar de lactato (GAESSER e POOLE, 1996).

No domínio intenso a cinética do VO_2 ajusta-se melhor a um modelo bi-exponencial. O segundo parâmetro exponencial sobrepõe-se ao primeiro, por volta dos $80 - 200$ segundos de exercício e promove um atraso na estabilização do VO_2 (BARSTOW, 1994). Esse fenômeno representa um volume extra de O_2 consumido que não pode ser previsto através da relação linear, encontrada no domínio moderado. O custo relativo da tarefa motora pode aumentar para mais de $18 \text{ mlO}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{W}^{-1}$ (GAESSER e POOLE, 1996).

A característica do domínio severo é o aumento inexorável do VO_2 , FC e da concentração de lactato sanguíneo ($[\text{Lac}]_s$) até seus valores máximos. Esses eventos culminam com a ocorrência da exaustão e, conseqüentemente, o término do exercício. A cinética do VO_2 volta a assumir um perfil mono-exponencial (OZYENER, 2001) e não apresenta estabilização.

Hill et al. (2002) buscaram identificar os limites inferior e superior do domínio severo, pois sugeriram a existência de um quarto domínio, denominado extremo. Esse domínio caracterizar-se-ia pela interrupção da tarefa, devido à exaustão, antes de se atingir o $\text{VO}_{2\text{max}}$. O limite inferior foi caracterizado pela intensidade da PCrit. Entretanto, o limite da transição severo-extremo ainda necessita de comprovação experimental.

2.1.1 O componente lento da cinética do VO_2

O componente lento representa um aumento no volume consumido de O_2 após o terceiro minuto de exercício e pode chegar a 1,5 litros. A primeira técnica proposta para medir a magnitude do componente lento foi realizar a diferença, ou delta (?), do volume de VO_2 entre o sexto e o terceiro minutos (Δ_{6-3min}) (WHIPP e WASSERMAN, 1972). Algumas variações utilizam os volumes finais contra o segundo ou terceiro minutos (BILLAT et al., 1998). Técnicas mais precisas envolvem modelagem matemática em *softwares* computacionais (BARSTOW et al., 1996; CARTER et al., 2000).

São vários os mecanismos sugeridos para se explicar a ocorrência do componente lento. Incluindo os aumentos da $[Lac]_s$ e muscular, do trabalho cardíaco e ventilatório, dos níveis plasmáticos de catecolaminas e da temperatura corporal (WHIPP, 1994), além do recrutamento de fibras musculares de contração rápida (tipo II) (BARSTOW et al. 1996; COYLE et al. 1992; POOLE et al. 1991; XU e RHODES, 1999).

Jones et al. (1999) utilizaram o Δ de VO_2 entre 6.75 e 3.75min para analisar a relação do componente lento com o limiar de lactato. Foi reportada uma alta correlação com o início do acúmulo de lactato no sangue, o que, a princípio, sugere uma influência do lactato no componente lento. Porém, essa hipótese não foi confirmada por Poole (1994), que ao infundir lactato no músculo gastrocnêmio de cachorros, não observou alterações no componente lento da cinética do VO_2 .

Assim, alguns dos mecanismos apontados, para a ocorrência do componente lento, parecem descrever apenas uma relação coincidente e não de causalidade. O argumento que tem encontrado mais evidências experimentais é o recrutamento das fibras musculares tipo II.

Poole et al. (1991) analisaram a cinética do VO_2 pulmonar e, concomitantemente, acompanharam a cinética do VO_2 na musculatura das pernas exercitadas. Os autores reportaram que, durante exercício intenso em cicloergômetro, existe uma alta correlação ($r = 0,91$) entre as cinéticas do VO_2 pulmonar e do músculo ativo. Reportou-se que a influência do músculo em exercício correspondeu a 86% do aumento do VO_2 pulmonar. Ainda, a influência do lactato, adrenalina, noradrenalina e temperatura corporal, bem como, o custo da ventilação não apresentaram evidências de relação causal com o componente lento.

A influência das fibras do tipo II e da frequência de pedalagem na cinética do VO_2 foi estudada por Barstow et al. (1996).. Foi relatado um maior volume de O_2 , inerente ao componente lento, nos indivíduos com maior percentual de fibras tipo II. Resultado semelhante foi descrito por Schneider et al. (2002) ao observarem a cinética do VO_2 , para exercícios em ergômetros de braços e de pernas. O maior volume de componente lento foi encontrado nos membros superiores e atribuído à maior proporção de fibras de contração rápida.

Adicionalmente, Carter et al. (2000) compararam a magnitude do componente lento do VO_2 , durante o exercício em cicloergômetro e corrida,

em diferentes intensidades. Os autores reportaram um maior volume de \dot{Q}_2 para a tarefa realizada no cicloergômetro, o que, provavelmente, é devido à maior tensão muscular desenvolvida e conseqüente recrutamento das fibras tipo II.

As fibras de contração lenta (tipo I) e as fibras do tipo II são recrutadas ao mesmo tempo, no início de exercícios intensos e severos (POOLE, 1994). Porém, Kushmerick et al. (1992) reportaram que a constante de tempo (τ), da cinética do $\dot{V}O_2$, é mais lenta em fibras do tipo II em comparação com as fibras do tipo I. De acordo com essa informação, o componente lento parece representar um atraso no $\dot{V}O_2$, devido aos padrões de recrutamento e utilização de O_2 das fibras musculares.

2.1.2 Modelos que descrevem a Cinética do $\dot{V}O_2$

Pode-se observar 3 fases distintas na cinética do $\dot{V}O_2$ (WHIPP et al., 1982). Fase 1) componente cardiodinâmico, relacionado ao rápido ajuste do fluxo sanguíneo na perfusão alveolar, com duração entre 15 - 20 segundos; fase 2) na qual se reflete o processo adaptativo da oxidação muscular e o aumento no retorno venoso com maior extração de \dot{Q}_2 ; fase 3) componente adicional, que tende a carrear o $\dot{V}O_2$ para a demanda exigida pela carga de trabalho (WHIPP e WASSERMAN, 1972; WHIPP e WARD, 1990).

Hughson et al. (2000) submeteram indivíduos a exercícios, em cicloergômetro, com intensidades correspondentes a 57, 96 e 125% do $\dot{V}O_{2\text{pico}}$. A resposta do $\dot{V}O_2$ foi modelada por uma equação exponencial de três

parâmetros e através de uma transformação semi-logarítmica. Os autores reportaram que segundo o ajuste exponencial o τ para a fase 2 da cinética do VO_2 foi $29,4 \pm 4,1\text{s}$ (57%), $22,1 \pm 2,1\text{s}$ (96%) e $16,3 \pm 3,1\text{s}$ (125%). O que demonstraria uma velocidade de ajuste maior nas intensidades mais altas. Porém, ao aplicar o ajuste semi-logarítmico, nas intensidades próximas ao $\text{VO}_{2\text{pico}}$, constataram que em comparação com os resultados do modelo exponencial e da intensidade moderada, as cargas mais intensas apresentaram uma velocidade de cinética mais lenta, $\tau = 49,7 \pm 5,1\text{s}$ (96%) e $40,2 \pm 5,1\text{s}$ (125%). Os autores sugerem que as respostas do sistema cardiovascular atuam por *feedback* de sinais metabólicos, de modo que, uma demanda energética mais alta levaria mais tempo para ser atingida. Esse atraso no ajuste cinético do VO_2 representaria, então, uma limitação no transporte de O_2 em intensidades elevadas. Adicionalmente, o estudo demonstra a sensibilidade dos resultados da cinética aos diferentes tipos de modelagem matemática.

Justamente, com o objetivo de comparar os resultados do τ para a fase 2 e as magnitudes do componente lento da cinética do VO_2 , Bell et al. (2001) analisaram a cinética, em exercício intenso e moderado, através de 4 diferentes modelos exponenciais propostos na literatura. Os autores relataram que o τ variou de $18,9 \pm 6,4\text{s}$ até $38,6 \pm 10,4\text{s}$ para o domínio intenso e de $17,6 \pm 6,7\text{s}$ até $24,3 \pm 7,7\text{s}$ para o domínio moderado. Reportaram ainda que o componente lento calculado pela diferença entre o 6^o e o 3^o minuto de exercício (CASABURI et al. 1987; POOLE et al. 1991; ROSTON et al. 1987) subestimou o volume de O_2 predito pelos modelos exponenciais.

O trabalho permitiu demonstrar que, para se definir com exatidão qual o modelo mais adequado para a cinética do VO_2 , ainda são necessários mais estudos. Entretanto, a dificuldade encontrada é a não existência de um fator de comparação.

2.1.3 Relação entre as cinética do VO_2 e da FC

Bearden e Moffat (2001) analisaram as cinéticas do VO_2 e da FC em exercícios, de característica retangular e de alta intensidade com duração de 6 min, separados por sessões de recuperação ativa de 10 min. Estimou-se de forma indireta o Débito Cardíaco (\dot{Q}), e a cinética do VO_2 foi ajustada através de equações exponenciais. Os autores relataram que as sessões de alta intensidade, precedidas pelas sessões anteriores, apresentaram uma dissociação entre a cinética da FC e do VO_2 . Bem como, uma aceleração na cinética do VO_2 .

Entretanto, Perrey et al. (2003) reproduziram parte do experimento de Bearden e Moffat (2001) e analisaram o \dot{Q} através de impedância cardiográfica. Foi relatado que, na sessão de exercício intenso subsequente, houve um aumento na velocidade das cinéticas do \dot{Q} e do VO_2 . Esse aumento ocorreu devido a amplitude do parâmetro exponencial, mas sem alteração do τ . Relataram ainda, uma correlação positiva entre o \dot{Q} e o VO_2 ($r = 0,81$).

Com o intuito de comparar as cinéticas do VO_2 e da FC entre exercícios para membros superiores e inferiores, Schneider et al. (2002) analisaram a resposta cinética das duas variáveis. Foram reportadas constantes de tempo mais lentas para o VO_2 e para a FC, em exercícios realizados com o membro superior. Porém, também relataram uma baixa correlação ($r = 0.21$) entre o VO_2 e a FC nos membros superiores. Esse fato foi atribuído ao maior número de fibras do tipo II e sua menor eficiência oxidativa. Atribuição corroborada pelo maior volume relativo de componente lento encontrado, em comparação com os membros inferiores ($23.8 \pm 1.6\%$ vs $14.2 \pm 1.5\%$, respectivamente).

Manchado (2004) modelou a cinética da FC através de uma equação hiperbólica deduzida dos parâmetros da PCrit e CTA. O pressuposto do presente estudo é que existe uma relação direta entre o VO_2 e a FC. De modo que infere-se uma possível modelagem matemática similar para as duas variáveis.

2.2 Potência Crítica

Monod e Scherrer (1965) mediram o tempo até a exaustão de músculos, mono-articulares, submetidos a diferentes intensidades de trabalho mecânico. Foi reportado a existência de uma relação linear entre o trabalho máximo realizado e o tempo até a exaustão (T_{lim}). Em seguida, a equação representada por $\text{trabalho} = a + b * T_{\text{lim}}$ (equação 1) foi transformada em sua

forma hiperbólica correlata, $T_{\text{lim}} = \frac{a}{\text{Potência} - b}$ (equação 2).

A característica assintótica do termo b projetou uma intensidade que, teoricamente, poderia ser sustentada por um longo tempo sem a ocorrência da fadiga. Essa intensidade foi associada aos mecanismos oxidativos e testada mediante oclusão do fluxo sanguíneo local. A oclusão permitiu observar que o trabalho total realizado foi igual ao valor do intercepto a da equação 1, ou o grau de curvatura da assíntota na equação 2.

Diante dessas constatações a intensidade limítrofe para o trabalho “infinitamente longo” passou a ser denominada potência crítica. O exercício realizado acima dessa intensidade promoveria a exaustão pelo esgotamento da reserva anaeróbia a , a uma velocidade proporcional à diferença entre a carga imposta e a PCrit.

Moritani et al. (1981) estenderam os achados de Monod e Scherrer (1965), com músculos mono-articulares, ao relatarem a aderência da PCrit em exercícios no cicloergômetro. Que, embora, de característica multi-articular e altíssimo componente cardio-respiratório, o valor do coeficiente de determinação (r^2) encontrado variou de 0.982 a 0.998 ($p < 0.01$). Os autores confirmaram a PCrit como um índice aeróbio ao demonstrarem sua alta correlação com o limiar ventilatório ($r = 0.928$, $p < 0.01$). Adicionalmente, observaram uma diminuição nos valores preditos de PCrit mediante exercício sob condições de hipóxia. O termo a , por outro lado, não foi afetado, o que reforçou sua definição como a capacidade de trabalho anaeróbio (CTA).

2.2.1 Significado fisiológico do modelo da PCrit

Ao descrever o corpo humano através do modelo da PCrit, Bishop et al. (1998) entenderam o organismo como um compartimento bioenergético. O qual, além de possuir um estoque limitado de energia (CTA) é reabastecido, durante o exercício, a uma taxa constante (PCrit).

Em exercícios supra PCrit, a demanda energética é maior que a taxa de reabastecimento o que promove a depleção gradual da CTA. De modo que, sob esse ponto de vista, entende-se a exaustão como consequência do esgotamento total da CTA.

Entretanto, Housh et al. (1989) apesar de encontrarem boa predição para o tempo de ocorrência da exaustão, discordam da teoria de depleção da CTA. Os autores argumentam sobre a impossibilidade fisiológica de se depletar todo o substrato inerente ao sistema anaeróbio no período destinado aos exercícios supramáximos. Mas, embora o argumento fisiológico dado pelos autores seja coerente, a acurácia da equação, na previsão do tempo de exaustão, e a correlação da CTA com índices anaeróbios (Vandewalle et al., 1989) promovem o desafio de se entender seu real significado para o organismo.

Por outro lado, a PCrit tem apresentado correlação com o LV (MORITANI et al., 1981; WAKAYOSHI et al. 1992a; POOLE et al., 1988), Lan (KOKUBUN, 1996; HUGHSON et al, 1984; SID-ALI et al. 1991; CHASSAIN, 1986), Llac (HOUSCH et al., 1991) e com o IAT (MaCLELLAN e CHEUNG, 1992).

Adicionalmente, DeVries et al. (1982), retomando parte dos dados de seu estudo com Moritani et al. (1981), investigaram a fadiga a partir

da integral do sinal eletromiográfico. Os autores reportaram que embora as médias fossem diferentes, esse limiar de fadiga estava altamente correlacionado com a PCrit ($r = 0.88$).

O criticismo em relação ao modelo da PCrit se apóia no postulado sobre a capacidade de permanecer em trabalho muscular indefinidamente. Para verificar essa hipótese, MacClellan e Cheung (1992) demonstraram que indivíduos, em exercício, conseguiam permanecer, em média, 20.5 minutos na intensidade da PCrit. Brickley et al. (2002) também reportaram tempo médio de 20 minutos, adicionalmente, não encontraram estabilização da FC e lactato sanguíneo. Contrariamente, Poole et al. (1988) encontraram estabilização do VO_2 e do lactato e pH sanguíneos, em 24 minutos de exercício na intensidade da PCrit. Os indivíduos não se exercitaram até a exaustão, mas especulou-se a possibilidade de continuação da tarefa devido a estabilização metabólica observada.

Já Housch et al. (1989), reportaram tempo médio de 33 min. com variantes de 18 a 60 min. Adicionalmente, Jenkins e Quigley (1992) também reportaram tempos médios de 40 minutos em exercício na intensidade da PCrit. Por outro lado, Hill et al. (1991) reportaram que após treinamento na intensidade da PCrit houve aumento de 51.3 para 65 minutos, no tempo médio, até a exaustão. Em relação a essas diferenças encontradas na literatura, Hill (1993) argumentou que a resposta dos participantes tende a corresponder ao tempo de exaustão sugerido.

Também é válido ressaltar que a característica limítrofe da PCrit, em relação aos domínios de intensidade, pode afetar o tempo de

exaustão e a estabilização das variáveis fisiológicas. Nesse sentido, Morton e Billat (2000) encontraram estabilização do lactato sanguíneo e do VO_2 em 79% do VO_{2max} , mas, quando o exercício foi realizado com 5% a mais de intensidade, houve perda de estabilização no lactato sanguíneo e o VO_2 atingiu seu valor máximo. Pode-se inferir que, uma estimativa menos acurada do valor da PCrit pode levar a respostas metabólicas não condizentes com a teoria do modelo.

2.2.2 Aplicação do modelo a partir de variáveis fisiológicas

A estreita relação entre a intensidade de exercício e o VO_2 permitiu que Hill e Smith (1999) modelassem o tempo até se atingir o VO_{2max} de acordo com o modelo da PCrit, ou seja, uma hipérbole retangular. Embasados nessa relação, Manchado et al. (2002) constatou que o TLim para se atingir a FC alvo ($TLim_{FC}$) e a potência desenvolvida é similar à relação potência – $TLim_{VO_{2max}}$ (HILL e SMITH, 1999). Diante dessa constatação, os autores verificaram se essa relação também ocorria com o tempo até se atingir valores submáximos de FC. O resultado foi positivo e possibilitou verificar a eficácia de um protocolo não exaustivo para determinação da PCrit. Para isso, oito participantes foram submetidos aos testes padrões de determinação da PCrit. Nos quais, foi anotado o tempo decorrido para que a FC alvo de 150 e 170 bpm fosse atingida. Como a FC máxima estimada do grupo era em torno de 190 bpm, foi traçada uma regressão linear para esses três valores de FC. Observou-se uma hipérbole retangular na relação entre a

intensidade e o tempo para se atingir as FC submáximas. Foram encontrados valores de PCrit e CTA sub-FC, denominados de PCrit150, PCrit170, CTA150 e CTA170.

Demonstrou-se que a PCrit150 e PCrit170, bem como, a CTA150 e CTA170 relacionavam-se, linearmente, e projetavam para seus respectivos valores na FC máxima. Assim, através da extrapolação dos dados, foi possível estimar os valores de $PCrit_{FCmáx}$ e $CTA_{FCmáx}$. Os valores estimados foram comparados à PCrit e CTA reais, determinadas pelo método exaustivo. Não foi encontrada diferença significativa entre os dois métodos e o protocolo foi validado como uma opção submáxima de avaliação (MANCHADO, 2004). Diante desses achados e do pressuposto de semelhança cinética entre a FC e o VO_2 , pode-se esperar que a mesma relação seja observada nos dados de consumo de O_2 .

As figuras 1A e 1B ilustram as relações lineares encontradas por Manchado et al. (2002).

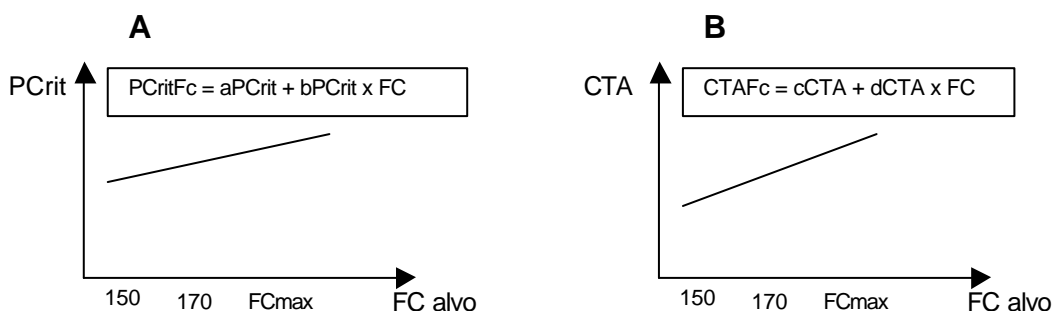


Figura 1A - Relação linear entre a Pcrit e o tempo para atingir a Fcalvo.

Figura 1B - Relação linear entre a CTA e o tempo para atingir a Fcalvo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Participantes

O presente estudo foi realizado a partir de um banco de dados do laboratório de Biodinâmica da Unesp campus de Rio Claro – SP, referentes aos estudos de Manchado (2004), Nakamura (2005) e dados não publicados de Almeida (2004). Os participantes envolvidos submetidos aos procedimentos do estudo foram 15 jovens universitários do gênero masculino e 3 do gênero feminino. O código (ID) e as características demográficas dos participantes estão expressos na tabela 1.

Todos os participantes eram fisicamente ativos, habituados com exercícios exaustivos e familiarizados com o ergômetro. Adicionalmente, assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido, no qual, foram informados dos objetivos, riscos e benefícios envolvidos no testes, bem como da liberdade de abandonar os testes a qualquer momento, conforme aprovado no Comitê de Ética do Instituto de Biociências.

Tabela 1. Características dos participantes submetidos ao estudo.

Identificação	Gênero	Idade (anos)	Massa (Kg)	Estatura (cm)
1	M	23	89.0	190
2	M	22	65.5	175
3	M	22	66.0	176
4	M	23	88.0	186
5	M	21	68.0	181
6	M	20	74.6	180
7	M	22	74.0	181
8	M	24	79.0	182
9	M	30	82.0	182
10	M	20	67.0	177
11	M	17	69.0	175
12	M	18	76.0	189
13	M	26	63.0	174
14	F	25	67.0	175
15	F	24	62.0	170
16	F	22	64.0	170
17	M	24	98.0	188
18	M	24	79.0	183
\bar{X}		22.61	74.12	179.67
s		± 2.97	± 10.05	± 6.11

3.2 Ergômetro

Todos os testes foram realizados em um cicloergômetro de frenagem mecânica da marca Monarck ® e com a intensidade medida em Kilopounds (Kp). A calibração foi realizada através de um peso de valor conhecido no sistema de pêndulo. A distância percorrida foi registrada através de um hodômetro e devidamente corrigida pela circunferência do volante (roda).

3.3 Sistema metabólico de coletas de gases

A coleta das trocas gasosas foi realizada através do aparelho de espirometria modelo VO2000[®] da MedGraphics (St. Paul MN, USA). O aparelho foi ajustado para o método de coletas a cada três ciclos respiratórios e operado via computador pelo software Aerograph[®]. O aparelho foi calibrado através dos procedimentos de auto-calibração pelo ar ambiente antes de cada coleta, conforme especificações do fabricante.

3.4 Desenho experimental

Os participantes realizaram de 4 a 5 visitas ao laboratório onde foram submetidos, inicialmente, a um teste de característica incremental. Adicionalmente, foram aplicados testes retangulares exaustivos preconizados para a determinação da PCrit e CTA.

3.4.1 Protocolo Incremental

O teste incremental foi aplicado no primeiro dia de coletas com a finalidade de determinar o $VO_{2\text{pico}}$ dos participantes. O protocolo foi caracterizado por 3 minutos de aquecimento, com carga correspondente a 60 W, seguidos de 5 minutos de intervalo. Período, no qual, o participante tinha a liberdade de fazer alongamentos, de acordo com seus hábitos de atividade física. Após esse período foi encaminhado ao ergômetro e submetido ao

procedimento para coleta dos valores de linha de base do VO_2 . Assumido como a média dos valores de VO_2 durante 2 ou 3 minutos, com os participantes em repouso no banco do próprio ergômetro, antes do início dos testes.

Dos participantes analisados 6 deles (ID: 13 a 18) foram instruídos a pedalar em uma velocidade média constante de 28,8 Km/h. Os estágios apresentaram duração de 3 minutos, com potência inicial de 60W e acréscimo de 20W por período (MANCHADO, 2004). Outros 4 (ID: 1 a 4) foram instruídos a pedalar em uma velocidade média constante de 22 Km/h. A potência inicial foi 30W durante 5 minutos, seguidos de acréscimos de 15W a cada 3 minutos (ALMEIDA, dados não publicados). Os 8 participantes (ID: 5 a 12) restantes foram instruídos a pedalar em uma velocidade média constante de 28.8 Km/h, com potência inicial de 20W e acréscimo de 20W a cada minuto (NAKAMURA, 2005). Para todos os participantes os incrementos foram aplicados até o indivíduo não mais ser capaz de manter a potência requerida.

3.4.2 Protocolo retangular

Após um intervalo mínimo de 24 horas depois do teste incremental, aplicou-se, randomicamente, mais 3 ou 4 testes retangulares. Os quais foram caracterizados pela execução de intensidades de esforço suficientes para promover a fadiga entre 3 e 10 minutos de exercício.

O protocolo foi constituído por 3 minutos de aquecimento a 60 W seguidos de 5 minutos de recuperação. Para determinação dos valores de

linha base foram seguidos os mesmos procedimentos do teste incremental. Ao iniciar os testes os participantes foram orientados a realizar o requerido esforço pelo maior tempo possível. A fadiga foi caracterizada como a impossibilidade de manutenção da velocidade pré-estabelecida, apesar de incentivo verbal, ou interrupção voluntária pelo participante. O tempo decorrido até a fadiga, também chamado tempo limite (Tlim) foi registrado, em segundos.

3.5 Determinação do $VO_{2\text{pico}}$ e $VO_{2\text{max}}$

Através de um algoritmo desenvolvido em Matlab 5.3[®] (Mathworks, Inc.), o VO_2 coletado foi interpolado linearmente a cada 1 segundo e alisado através de médias móveis de 15 segundos (HILL et al., 2002). O $VO_{2\text{pico}}$ foi definido como a maior média encontrada para janelas de 15 segundos. Adicionalmente, foram determinados seus limites inferior e superior, calculados através do intervalo de confiança (IC). Parte do algoritmo é apresentado no apêndice II.

A definição de $VO_{2\text{max}}$ com base em testes incrementais preconiza a ocorrência de um “platô” no VO_2 , apesar de aumento na intensidade do exercício (TAYLOR et al., 1955). Devida a dificuldade e raridade, na literatura, de se constatar esse fenômeno, optou-se pelo termo $VO_{2\text{pico}}$ para o teste incremental.

Segundo Gaesser e Poole (1996) o $VO_{2\text{max}}$ é específico para o modo como o exercício é realizado. No presente estudo, a exemplo de Hill e

Smith (1999) e Hill et al. (2002), o termo VO_{2max} foi adotado para os testes retangulares. E definido como a maior média e IC em janelas de 15 segundos em cada intensidade.

O algoritmo utilizado em Matlab[®] também possibilitou encontrar o tempo decorrido até se atingir determinados valores percentuais do VO_{2max} . São eles, 60 (T_{60}), 65 (T_{65}), 70 (T_{70}), 75 (T_{75}), 80 (T_{80}), 85 (T_{85}), 90 (T_{90}), 95 (T_{95}) e 100 % do VO_{2max} (T_{100}).

3.6 Determinação da PCrit e CTA

A PCrit e CTA individuais foram calculadas de acordo com a equação 1, através do método não linear do *software* Statistica 6.0 (Statsoft, Inc.). O ajuste foi considerado satisfatório ao apresentar um erro padrão da estimativa (epe) dos parâmetros, abaixo de 10 % (HILL, 1993). Apesar das considerações de Hill e Smith (1994) sobre a variabilidade entre as equações, apenas o modelo hiperbólico foi adotado. Essa opção se baseou no fato de que as hipóteses a serem testadas foram alicerçadas nesse modelo não linear. Adicionalmente, a equação e o exercício adotados caracterizam a potência como a variável independente, condição esta, preconizada para este tipo de análise de dados (LUDBROOK, 1997).

Verificou-se, ainda, a possibilidade de reproduzir com o VO_2 o ajuste linear da PCrit sub- VO_{2max} reportado por Manchado et al. (2002) em relação à FC. Com o intuito de que os resultados pudessem reproduzir às equações lineares 3 e 4.

$$PCrit_{VO_2} = aPCrit + bPCrit \times VO_2 \quad (\text{Equação 3})$$

$$CTA_{VO_2} = cCTA + dCTA \times VO_2 \quad (\text{Equação 4})$$

Para tal, a variável T_{lim} da equação 1 foi substituída por T_{60} , T_{65} , T_{70} , T_{75} , T_{80} , T_{85} , T_{90} , T_{95} e T_{100} . Dessa maneira, foram encontrados os valores de $PCrit_{60}$ e CTA_{60} ; $PCrit_{65}$ e CTA_{65} ; $PCrit_{70}$ e CTA_{70} ; $PCrit_{75}$ e CTA_{75} ; $PCrit_{80}$ e CTA_{80} ; $PCrit_{85}$ e CTA_{85} ; $PCrit_{90}$ e $PCrit_{95}$; $PCrit_{100}$ e CTA_{100} . Os critérios adotados para aceitação dos valores encontrados foram os mesmos preconizados para a $PCrit$ e CTA reais.

3.7. Modelagem da cinética do VO_2

As equações lineares 3 e 4 foram inseridas no modelo hiperbólico de Monod e Scherrer e deduzidas para a equação 5. A dedução completa encontra-se no apêndice I.

Para a modelagem do VO_2 foi usado o *software* Statistica 6.0[®], através do módulo de estimativa não linear com o método Quasi-newton. O VO_2 medido e a potência aplicada em todas as cargas retangulares foram usados para determinar a cinética do VO_2 , segundo a equação 5:

$$VO_2(t) = VO_{2rep} + \frac{E * P}{1 + \frac{k}{TVO_2}} \quad (\text{Equação 5}) - \text{modelo hipotético da cinético do } VO_2.$$

Onde,

VO_{2rep}: valor de repouso do VO₂, encontrado através de constrição imposta na sintaxe para calcular os primeiros 120 ou 180 segundos dos dados de entrada.

TVO₂: representa o tempo, em segundos, para atingir o VO_{2max};

P: potência, em watts, do exercício realizado. A intensidade é informada na sintaxe de entrada dos dados;

E: valor encontrado através do *software*, representa o custo do exercício, em O₂. min⁻¹. W⁻¹. ;

k: valor encontrado através do *software*, representa o tempo para atingir metade do ganho do VO₂.

A sintaxe para a estimativa através do método *quasi-newton* é representada, a seguir:

$$VO_2 = VO_{2rep} * (tempo \leq 180) + ((E * 233) / (1 + (k / (tempo - 180)))) * (tempo > 180)$$

Onde, o valor de 233 é a intensidade que representa carga correspondente aos dados de VO₂ informados. O valor de 180 é o tempo de linha base devidamente inserido na constrição.

A qualidade do ajuste foi avaliada de acordo com a homogeneidade na distribuição dos resíduos, na relação dos valores preditos e observados e no valor de r².

3.8 Coerência interna do modelo: predição do VO_{2max} e da PCrit

O modelo proposto traz implícito o pressuposto de que a PCrit eliciará o VO_{2max} quando o tempo for infinito. Apesar das limitações fisiológicas, matematicamente, o exercício realizado na PCrit poderia ser sustentado por tempo infinito (MONOD e SCHERRER, 1965). Adicionalmente, Gaesser e Poole (1996) e Hill et al. (2002) definiram a PCrit como o limite superior do domínio intenso. Limite este, ligeiramente inferior ao necessário para se atingir o VO_{2max} .

Assim, conjecturando o valor de TVO_2 na equação 5 como infinito, o denominador seria igual a 1. Ainda, substituindo a variável P pelo valor de PCrit, a equação 8 deve retornar o valor previsto de VO_{2max} (VO_{2max_pred}). Teoricamente, esse valor não deve ser diferente do VO_{2max} medido na carga.

$$VO_{2\ max_pred} = VO_{2rep} + E * P \quad (\text{Equação 8}) - \text{predição do } VO_{2max}.$$

Para testar a capacidade do modelo em prever a PCrit, a variável P foi isolada e assumida como correspondente à Pcrit ($Pcrit_pred$), conforme a equação 9.

$$PCrit_pred = \frac{VO_{2\ max} - VO_{2rep}}{E} \quad (\text{Equação 9}) - \text{predição da PCrit}.$$

3.9. Predição dos valores de CTA através do VO₂

Os valores de k , E e VO_{2rep} , estimados durante o ajuste, foram transformados nos parâmetros de inclinação e intercepção, das equações lineares, do seguinte modo:

$$k = \frac{dCTA}{bPCrit} \qquad E = \frac{1}{bPCrit} \qquad VO_{2rep} = \frac{cCTA}{dCTA} = \frac{aPCrit}{bPCrit}$$

Com os valores obtidos, pôde-se estimar a CTA_{pred} ao substituí-los na equação 4.

$$CTA_{pred} = cCTA + dCTA \times VO_2$$

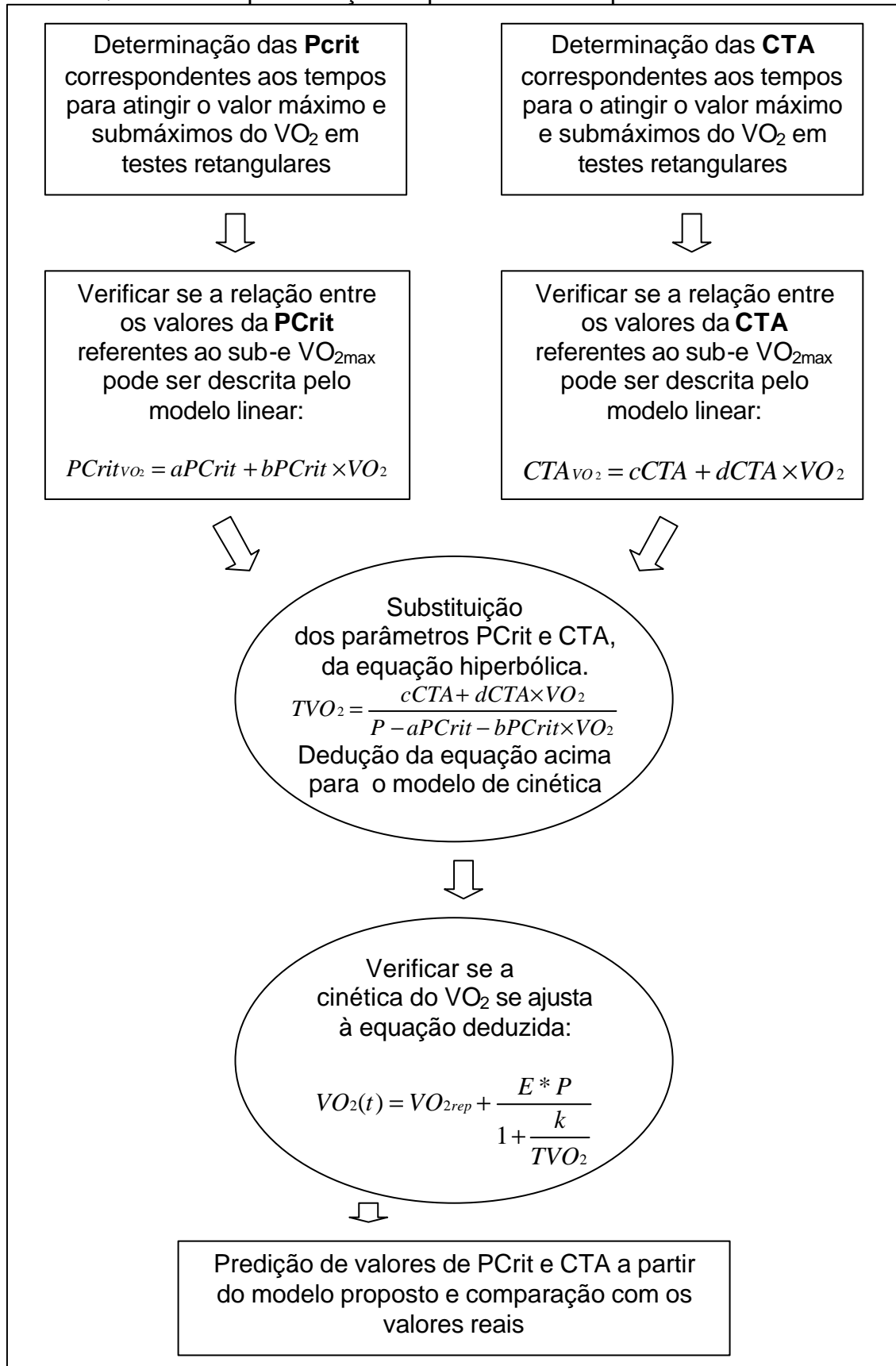
3.10 Análise estatística

Para verificar a linearidade na relação dos valores de PCrit ou CTA percentuais adotou-se a análise de covariância (Ancova) para inclinações separadas. Os valores percentuais da PCrit ou CTA foram fixados como a variável dependente e os índices sub-VO_{2max} como o fator contínuo. Os participantes foram alocados como a covariável e fator randômico. O nível de significância adotado foi $p < 0.05$, adicionalmente, foram observados as distribuições dos resíduos e dos valores preditos e observados.

Para analisar a modelagem da cinética do VO_2 foram inspecionados, graficamente, a distribuição dos resíduos e dos valores de VO_2 preditos e observados, bem como o r^2 e epe dos parâmetros.

Foi aplicada análise através do IC para testar a coerência interna do modelo em prever os valores de VO_{2max} , ou seja, entre os valores de VO_{2max} e VO_{2max_pred} , os valores de PCrit, PCrit₁₀₀ e PCrit_{pred} e entre os valores de CTA, CTA₁₀₀ e CTA_{pred}.

O quadro 1 apresenta a seqüência esquemática dos procedimentos adotados para investigação das hipóteses.

Quadro 1. Representação esquemática da seqüência de análises

4. RESULTADOS

A tabela 2 apresenta os valores de VO_2 pico e as potências correspondentes encontradas no teste incremental.

Tabela 2. Valores de Potencia pico e VO_2 pico associado

(ID)	Ppico (W)	VO_2 pico (l/min)	VO_2 pico (ml O_2 /kg/min)
1	106	4.17	46.83
2	106	3.50	53.37
3	91	2.78	42.13
4	122	4.01	45.56
5	260	3.40	49.94
6	280	3.99	53.48
7	320	4.00	54.05
8	180	2.99	37.82
9	300	4.33	52.77
10	260	4.56	68.04
11	220	3.92	56.75
12	240	3.05	40.11
13	200	4.19	66.57
14	140	2.57	38.28
15	140	2.36	38.11
16	180	3.27	51.13
17	240	4.54	46.28
18	240	4.92	62.33
\bar{X}	201.39	3.70	50.20
s	69.44	0.72	9.06

Os participantes ID: 1 a 4 obtiveram potências de pico (Ppico), bem abaixo dos valores alcançados por seus congêneres com VO_{2max} relativo

semelhante, o que pode ter sido protocolo dependente.

Nas tabelas 3 e 4 são apresentados, respectivamente, os valores encontrados para o ajuste do modelo da PCrit e CTA, em função dos tempos até os percentuais do VO_{2max} e fadiga. Os participantes 2, 8 e 15 foram excluídos do estudo por não apresentarem um bom ajuste dos Tlim para a predição da PCrit e CTA reais.

Tabela 3. Valores reais de PCrit e relativos ao percentual do VO_{2max} .

ID	Gen	PCrit ₆₀	PCrit ₆₅	PCrit ₇₀	PCrit ₇₅	PCrit ₈₀	PCrit ₈₅	PCrit ₉₀	PCrit ₉₅	PCrit ₁₀₀	PCrit
1	M				121.78		110.38	125.03	126.09	130.64	115.56
3	M	42.23	54.55	73.07	93.70	89.73	93.45	93.21	92.32	92.33	91.67
4	M	141.30	146.90	138.33	136.83	150.48	149.44	148.77	150.00	149.10	143.90
5	M	126.96	108.93	71.48	191.32	205.54	209.24	205.82	205.90	208.23	203.83
6	M	152.71	153.62	145.63	143.89	233.84	230.76	227.74	223.03	228.57	220.88
7	M								189.54	194.47	186.13
9	M		167.81	203.26	236.97	244.05	247.64	242.92	239.49	239.34	238.76
10	M						172.47	176.23	169.68	137.85	133.04
11	M				122.00	134.47	152.99			127.93	121.98
12	M		147.50	140.10		147.72	161.99	154.19	162.58	168.93	163.62
13	M	137.72	156.40	158.75	176.28	175.80	176.06	179.98	181.10	181.46	177.73
14	F							110.22	119.43	115.57	108.26
16	F									146.62	143.87
17	M									205.93	179.82
18	M		211.34	242.82	240.06	231.94	258.13	266.43	259.16	270.32	268.91
\bar{X}		118.5	139.4	146.7	162.5	171.5	172.5	169.5	170.8	168.6	166.5
s		36.6	41.8	54.5	49.0	52.9	52.6	54.7	50.3	50.6	49.3

Os valores médios de PCrit representaram 82 ± 14.5 % em relação à Ppico encontrada nos testes incrementais. Esses resultados são semelhantes ao de Vandewalle et al. (1989) que reportaram valores de 79% em relação à potência aeróbia máxima. Entretanto, os participantes ID 1, 3, 4 e 18 apresentaram Ppico menor do que a PCrit.

Tabela 4. Valores reais de CTA e relativos ao percentual do VO_{2max} .

ID	Gen	CTA ₆₀	CTA ₆₅	CTA ₇₀	CTA ₇₅	CTA ₈₀	CTA ₈₅	CTA ₉₀	CTA ₉₅	CTA ₁₀₀	CTA
1	M				9835.1		15774.9	16198.4	17399.5	18021.7	26093.7
3	M	4975.0	5497.0	5488.9	3813.2	7000.5	8023.5	9522.6	11233.6	11750.6	13153.3
4	M	3819.2	3831.3	6898.3	8619.6	7381.6	9384.5	11235.4	12013.4	13353.8	18407.3
5	M	4866.6	6321.5	9070.0	3169.5	3054.1	2855.5	4314.7	5420.2	5458.8	8909.5
6	M	5155.8	5675.1	6669.9	7460.9	3089.1	3731.0	6900.9	10444.7	12111.7	18477.0
7	M								13967.3	14449.9	26907.9
9	M		5496.0	4087.5	2822.8	3005.6	3362.2	6493.7	12978.0	12490.4	13431.3
10	M						5429.9	6608.8	11327.2	22562.4	29482.7
11	M				9280.0	10570.4	10470.2			25284.6	32911.2
12	M		4098.3	5028.8		9843.4	11149.4	14517.0	14751.7	13640.0	19973.0
13	M	5505.9	4833.0	5014.4	4166.2	4815.5	5318.7	5347.3	6894.8	7326.5	9755.8
14	F							6476.6	6335.7	7997.6	12076.4
16	F									7580.9	11559.0
17	M									11340.5	25615.3
18	M		4979.4	3929.2	5106.9	6237.4	4852.7	5236.5	7389.8	7079.0	9297.2
\bar{X}		4392.6	4929.2	5773.4	6030.5	6910.3	7764.0	9036.2	11524.7	13255.0	18403.4
s		1174.7	864.8	1596.5	2614.1	3515.1	3987.6	4113.7	4146.7	5742.0	7772.5

Os valores de PCrit e CTA comprovaram a heterogeneidade da amostra estudada, principalmente em evidenciar o sistema metabólico mais desenvolvido.

Ancova revelou que os valores de PCrit e CTA sub- VO_{2max} se relacionam de maneira linear com os valores reais dos respectivos parâmetros.

Esses achados confirmam os resultados de Manchado et al. (2002) a respeito dos parâmetros da PCrit e CTA determinados através da FC. A tabela 5 apresenta os valores do r de pearson estimados na relações das PCrit e CTA sub- VO_{2max} .

Tabela 5. Valores r de pearson para a relação entre os valores de PCrit e CTA relativos ao VO_{2max} .

ID	PCrit		CTA	
	R	P	r	P
1	0.587	0.2981	0.940	0.0174
3	0.825	0.0062	0.909	0.0007
4	0.630	0.0692	0.972	0.0000
5	0.776	0.0141	-0.236	0.5410
6	0.824	0.0064	0.604	0.0853
9	0.736	0.0375	0.738	0.0367
10	-0.806	0.1936	0.927	0.0729
11	0.061	0.9389	0.947	0.0528
12	0.872	0.0106	0.954	0.0008
13	0.883	0.0016	0.687	0.0410
14	0.578	0.6074	0.825	0.3820
18	0.882	0.0038	0.760	0.0287

A distribuição dos resíduos e dos valores observados e preditos, para a PCrit, são ilustradas nas figuras 2A e 2B.

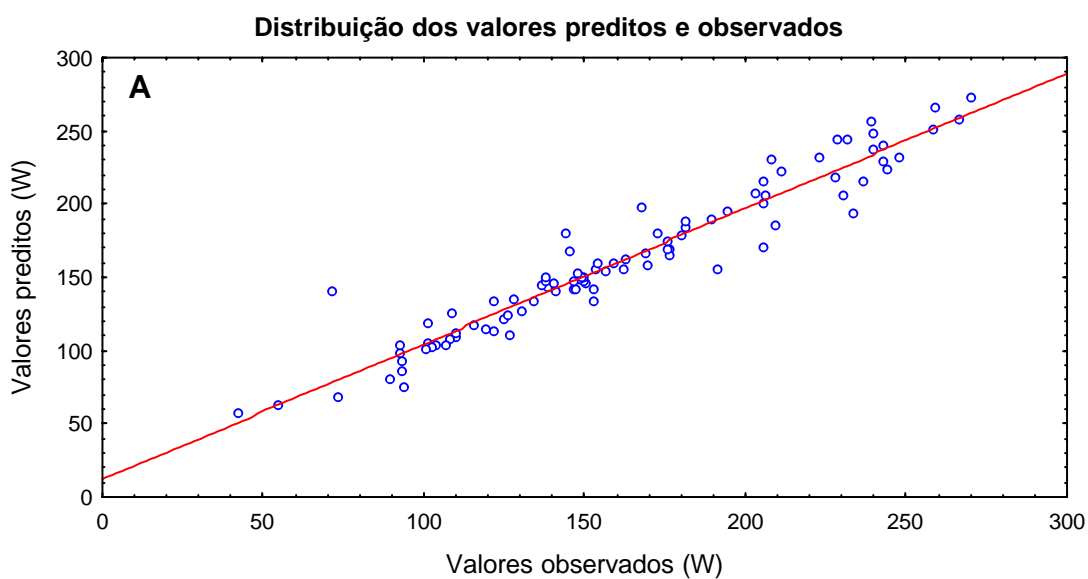


Figura 2A - Distribuição dos valores preditos de observados de PCrit.

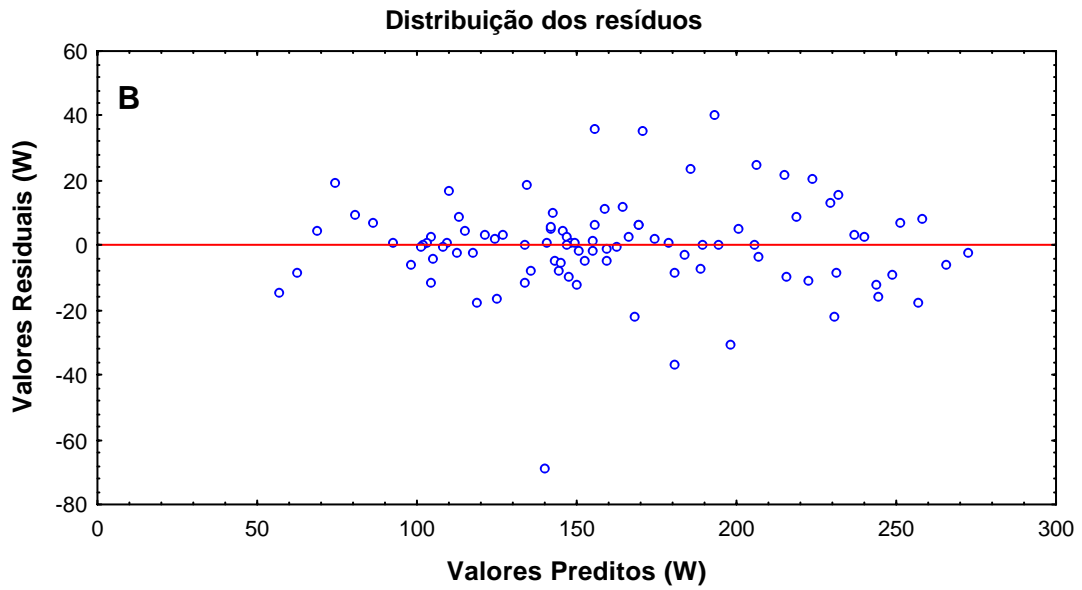


Figura 2B - Distribuição dos resíduos.

A distribuição dos resíduos e dos valores observados e preditos para a CTA são ilustradas nas figuras 3A e 3B.

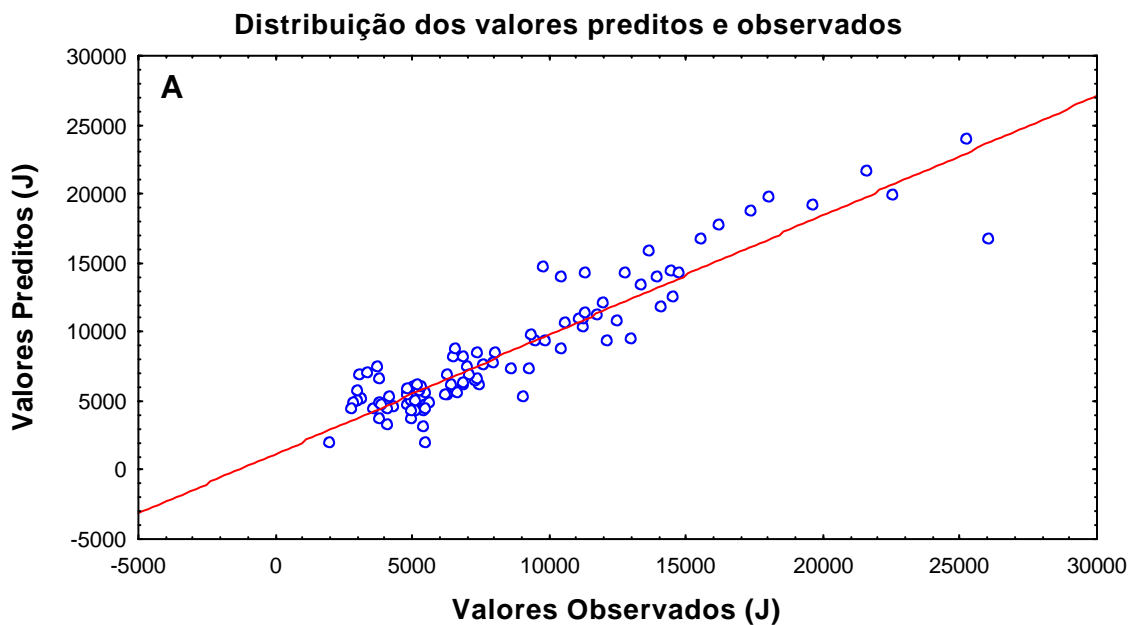


Figura 3A - Distribuição dos valores preditos e observados de CTA.

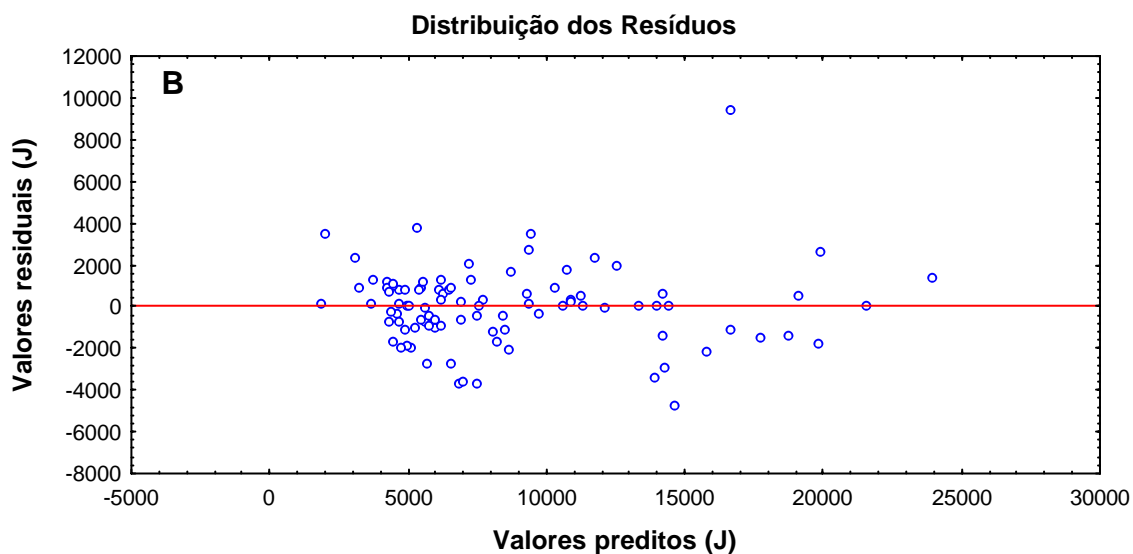


Figura 3B - Distribuição dos resíduos

Os valores da CTA ajustaram-se melhor a equação linear em comparação com os valores de Pcrit. Entretanto, a relação foi significativa em ambos os parâmetros.

A figura 4 ilustra o ajuste do VO_2 segundo o modelo proposto.

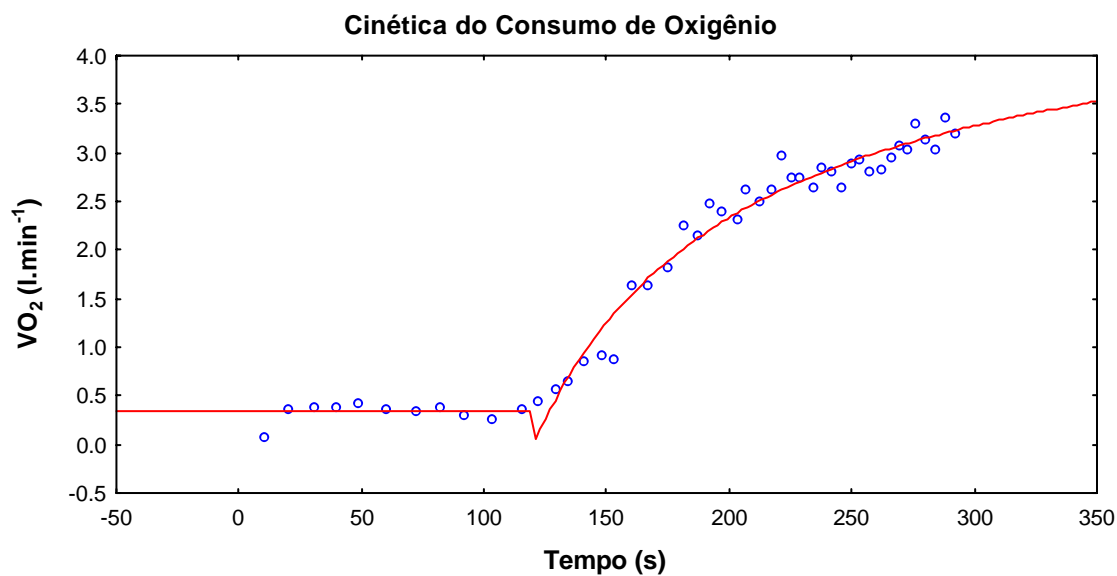


Figura 4 - Ajuste da cinética do VO_2 na intensidade 233w, ID 13.

A equação possibilitou um bom ajuste para a cinética do VO_2 . Os dados do participante 13, na intensidade 233 w obtiveram r^2 igual a 0.98.

A qualidade do ajuste é confirmada pela distribuição dos resíduos e pela relação entre os valores preditos e observados, apresentados nas figuras 5 e 6.

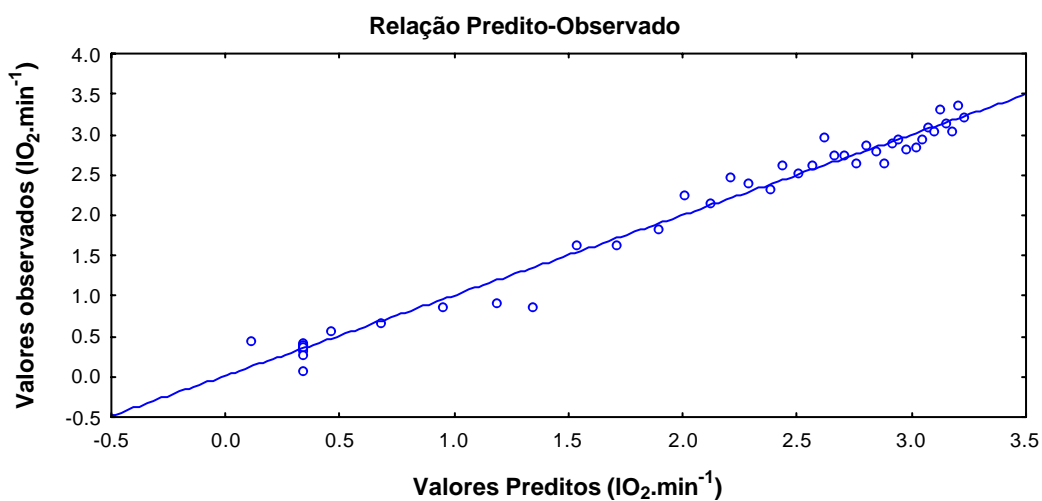


Figura 5 - Relação dos valores preditos e observados, ID 13.

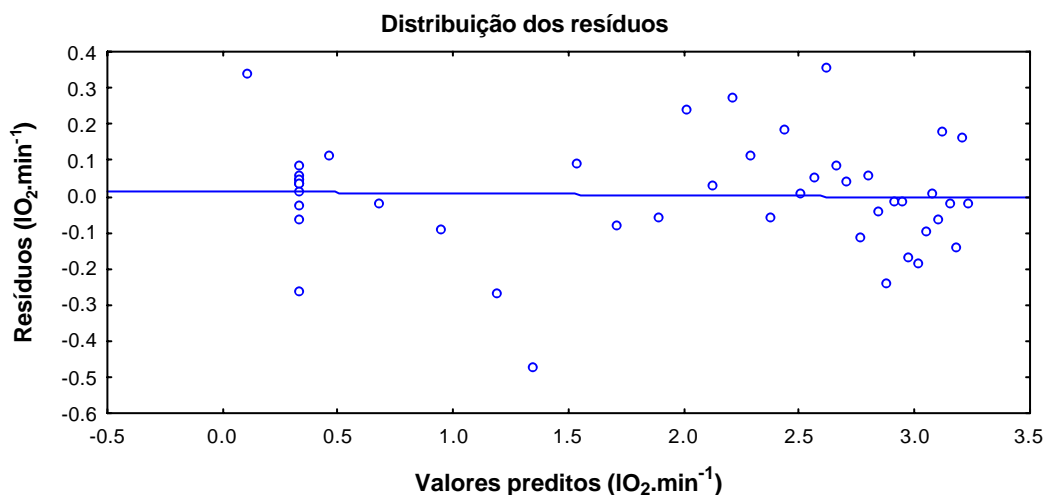


Figura 6 - Distribuição dos resíduos, ID 13.

Os valores de r^2 , que indicam a qualidade do ajuste do modelo, apresentaram média de 0.93 e amplitude entre 0.90 e 0.99. O epe médio das

estimativas foi aproximadamente 10% para o parâmetro VO_{2rep} , < 2% para o custo da atividade (E) e < 10% para o termo k . Os valores estimados e epe dos parâmetros da equação 5, são apresentados na tabela 6.

Tabela 6. Valores estimados, erro padrão da estimativa e r^2 dos parâmetros da equação 5.

ID	Carga (W)	VO_{2rep} (l.min ⁻¹)	epe (l.min ⁻¹)	E (l.w ⁻¹)	epe (l.w ⁻¹)	k (s)	epe (s)	r^2
1	176	0.3507	0.0448	0.0257	0.0004	68.6	4.1	0.98
	200	0.3585	0.0549	0.0279	0.0008	105.4	8.6	0.98
	233	0.3575	0.0538	0.0245	0.0007	75.2	6.4	0.98
3	106	0.2056	0.0430	0.0261	0.0003	61.5	4.4	0.93
	120	0.2729	0.0392	0.0243	0.0004	52.4	4.3	0.90
	163	0.1964	0.0351	0.0214	0.0005	46.5	3.9	0.98
4	166	0.4136	0.0594	0.0265	0.0003	125.4	7.2	0.95
	181	0.3746	0.0531	0.0265	0.0004	94.8	5.6	0.97
	210	0.3657	0.0483	0.0254	0.0007	97.5	7.5	0.98
5	220	0.3300	0.0573	0.0170	0.0003	59.6	4.5	0.95
	240	0.4095	0.0440	0.0154	0.0003	32.7	2.9	0.97
	260	0.2629	0.0624	0.0181	0.0007	39.5	4.8	0.97
6	250	0.3527	0.0774	0.0188	0.0002	44.0	3.2	0.94
	280	0.2711	0.0525	0.0166	0.0002	30.6	2.2	0.98
	300	0.3167	0.0884	0.0137	0.0003	19.6	2.7	0.94
7	340	0.3989	0.0640	0.0130	0.0004	19.3	2.6	0.97
	250	0.5055	0.1056	0.0152	0.0003	26.8	4.2	0.90
	320	0.4029	0.1036	0.0140	0.0009	49.4	10.2	0.93
9	350	0.4660	0.1050	0.0140	0.0012	55.0	13.5	0.95
	260	0.3350	0.0447	0.0171	0.0001	43.8	2.5	0.98
	270	0.2938	0.0386	0.0180	0.0002	49.0	2.7	0.98
10	300	0.3364	0.0512	0.0148	0.0004	31.2	3.6	0.99
	210	0.4747	0.0572	0.0200	0.0003	29.9	2.5	0.97
	230	0.3535	0.0492	0.0160	0.0003	31.5	3.1	0.97
11	250	0.3947	0.0527	0.0151	0.0003	18.0	1.9	0.97
	270	0.4245	0.0465	0.0132	0.0003	21.3	2.2	0.97
	210	0.3170	0.0554	0.0245	0.0004	46.6	3.5	0.97
12	230	0.3800	0.0410	0.0212	0.0004	51.3	3.7	0.98
	280	0.2024	0.0502	0.0178	0.0005	52.4	5.1	0.98
	300	0.2484	0.0623	0.0191	0.0007	36.8	4.5	0.98
13	190	0.3471	0.0527	0.0166	0.0002	59.7	4.8	0.94
	210	0.4123	0.0597	0.0154	0.0003	40.9	4.7	0.95
	230	0.5571	0.0511	0.0152	0.0005	41.4	5.6	0.96
14	250	0.2967	0.0641	0.0156	0.0004	30.9	3.8	0.97
	195	0.2390	0.0549	0.0199	0.0003	83.1	5.1	0.97
	233	0.3345	0.0476	0.0208	0.0010	86.1	9.5	0.98
16	271	0.4400	0.0711	0.0196	0.0026	73.8	19.7	0.94
	135	0.2515	0.0294	0.0155	0.0002	39.6	3.3	0.97
	155	0.2171	0.0533	0.0176	0.0011	111.5	16.8	0.94
16	174	0.3500	0.0471	0.0200	0.0010	60.0	8.6	0.97
	175	0.1800	0.0431	0.0152	0.0002	26.0	2.1	0.96
	195	0.1980	0.0610	0.0177	0.0004	37.9	3.7	0.96
	213	0.1875	0.0410	0.0163	0.0005	33.9	3.5	0.98

17	233	0.7290	0.0651	0.0201	0.0003	36.6	3.4	0.96
	252	0.5567	0.0820	0.0181	0.0004	34.7	4.4	0.94
	291	0.7271	0.0791	0.0187	0.0006	32.9	4.4	0.96
18	291	0.3986	0.0441	0.0171	0.0002	51.0	2.4	0.98
	310	0.6431	0.0421	0.0163	0.0003	45.8	2.9	0.99
	330	0.4091	0.0730	0.0167	0.0010	60.5	9.3	0.99
\bar{X}		0.3789	0.0402	0.0192	0.0003	55.5	3.9	0.93
s		0.1010	0.0118	0.0040	0.0002	24.4	2.7	0.001

Houve uma boa capacidade de predição do VO_{2max} pela variável VO_{2max_pred} . Fato que demonstra a coerência interna do modelo. A média percentual do IC foi 22% com valores mínimos de 3.5% e máximo de 71% em relação ao valor médio. Nesses casos quanto melhor o ajuste do modelo da PCrit real, menor a amplitude do IC.

A tabela 7 apresenta os valores medidos de VO_{2max} e os valores preditos para essa variável através das equação 8.

Tabela 7. Valores de VO_{2pico} , VO_{2max} e VO_{2max_pred} .

ID	Carga (W)	VO_{2pico} (l/min)	Vo_{2max} (l/min)	Vo_{2max_pred} (l/min)
1	176	4.17	4.06	3.32 ± 0.38 ^{a,b}
	200		4.11	3.59 ± 0.53
	233		3.12	3.19 ± 0.48 ^a
3	106	2.78	2.94	2.60 ± 0.34
	120		2.88	2.50 ± 0.35 ^b
	163		2.66	2.16 ± 0.35 ^b
4	166	4.01	4.13	4.23 ± 0.21
	181		4.12	4.18 ± 0.38
	210		4.11	4.02 ± 0.46
5	220	3.40	3.46	3.79 ± 0.21 ^{a,b}
	240		3.14	3.54 ± 0.22 ^b
	260		3.55	3.95 ± 0.41 ^a
6	250	3.99	4.65	4.50 ± 0.35 ^a
	280		4.25	3.94 ± 0.30
	300		4.01	3.35 ± 0.40 ^{a,b}
7	340	4.00	3.84	3.27 ± 0.39 ^{a,b}
	250		3.79	3.33 ± 0.58 ^a

	320		3.64	3.00 ± 0.79 ^a
	350		3.88	3.08 ± 0.91 ^a
9	260	4.33	4.41	4.43 ± 0.16
	270		4.52	4.59 ± 0.17 ^a
	300		3.76	3.88 ± 0.30 ^a
10	210	4.56	3.97	3.13 ± 0.88 ^a
	230		3.38	2.48 ± 0.73 ^{a,b}
	250		3.57	2.40 ± 0.70 ^{a,b}
	270		3.16	2.19 ± 0.62 ^{a,b}
11	210	3.92	4.52	3.31 ± 1.64
	230		4.30	2.97 ± 1.41
	280		3.87	2.37 ± 1.29 ^{a,b}
	300		4.51	2.57 ± 1.44 ^b
12	190	3.04	3.12	3.06 ± 0.35
	210		3.13	2.93 ± 0.39
	230		3.42	3.04 ± 0.42
	250		3.22	2.84 ± 0.44
13	195	4.19	3.55	3.77 ± 0.20 ^a
	233		3.03	4.03 ± 0.45 ^{a, b}
	271		2.88	3.93 ± 1.09
14	135	2.57	2.05	1.93 ± 0.25 ^a
	155		1.84	2.65 ± 0.52
	174		2.44	2.52 ± 0.52
16	175	3.27	2.56	2.37 ± 0.97
	195		2.96	2.74 ± 1.21
	213		2.76	2.53 ± 1.14
17	233	4.54	4.48	4.34 ± 2.87
	252		4.35	3.81 ± 2.73
	291		4.62	4.09 ± 2.91
18	291	4.92	4.36	5.32 ± 0.18 ^{a,b}
	310		4.05	5.02 ± 0.56 ^b
	330		3.66	4.90 ± 1.08 ^b

Valores expressos em média e intervalo de confiança. ^a Diferente do VO₂ pico; ^b Diferente do VO₂ max.

Os valores de PCrit real, PCrit100 e PCrit_pred para cada intensidade são apresentados na tabela 8.

Tabela 8. Valores de PCrit, PCrit100 e PCrit_pred

ID	Carga (W)	Pcrit(W)	PCrit100(W)	Pcritpred (W)
1	176			144 ± 8.4 ^a
	200	115 ± 7.8	130 ± 7.8	134 ± 12.9
	233			111 ± 12.0
3	106			104 ± 5.4
	120	91 ± 8.0	92 ± 3.1	107 ± 7.6 ^{a,b}
	163			114 ± 9.5 ^{a,b}
4	166			140 ± 8.2
	181	143 ± 5.9	149 ± 0.5	142 ± 9.3
	210			147 ± 13.1
5	220			184 ± 12 ^{a,b}
	240	203 ± 0.3	208 ± 11	177 ± 13.5 ^{a,b}
	260			182 ± 22.6
6	250			228 ± 13.1
	280	221 ± 6.2	228 ± 1.1	238 ± 13.0
	300			268 ± 25.7 ^{a,b}
	340			265 ± 26.8 ^{a,b}
7	250			216 ± 24.5
	320	186 ± 15.9	194 ± 44	232 ± 54
	350			243 ± 73
9	260			237 ± 9.3
	270	238 ± 0.13	239 ± 7.2	235 ± 10
	300			230 ± 21
10	210			175 ± 12
	230			188 ± 14 ^{a,b}
	250	133 ± 33	137 ± 3.9	209 ± 14.9 ^{a,b}
	270			204 ± 15.6 ^{a,b}
11	210			162 ± 10.3
	230			184 ± 10.6
	280	121 ± 56	127.9 ± 68	205 ± 18.7 ^{a,b}
	300			223 ± 27.5 ^{a,b}
12	190			166 ± 10.6
	210			176 ± 15.9
	230	163 ± 10.5	168 ± 13.5	187 ± 19.6
	250			185 ± 19.4
13	195			166 ± 10.2
	233	177 ± 7.20	181 ± 6.84	129 ± 23.2 ^{a,b}
	271			124 ± 57.9
14	135			116 ± 8.3
	155	108 ± 9.21	115 ± 0.58	92 ± 20.5
	174			104 ± 16.5
16	175			156 ± 8.8
	195	143 ± 52	146 ± 48.7	157 ± 13.6
	213			158 ± 15.3
17	233	179 ± 127	205 ± 9.6	187 ± 13.7

	252			209 ± 22.5
	291			205 ± 23.4
	291			232 ± 11.6 ^{a,b}
18	310	268 ± 19	270 ± 23.1	208 ± 12.9 ^{a,b}
	330			194 ± 38.5 ^{a,b}

Valores expressos em média e Intervalo de confiança. ^a Diferente de

PCrit; ^b Diferente de PCrit100.

Os valores de PCrit100 não diferiram dos valores de PCrit, corroborando os achados de Hill e Smith (1999) e Hill et al. (2002). A PCrit_pred apresentou igualdade estatística (IC 95%) com a PCrit, a média percentual de variação no IC foi 10% com os valores variando de 3.9% a 46.6%. Ao se considerar que a PCrit_pred envolve os erros da estimativa de VO_{2rep} e o termo E , confirma-se que a qualidade do ajuste é fundamental para a acurácia da predição. Entretanto, o ajuste não é o único fator a influenciar a predição da PCrit_pred, pois o participante ID 13, apesar do bom ajuste na intensidade 233 W, não apresentou igualdade com a PCrit. Adicionalmente, a PCrit real variou de 0.06% no valor mínimo até 70.6% no valor máximo, o que indica a diferença na qualidade da determinação da PCrit real.

Os valores de CTA, CTA100 e CTA_pred são apresentados na tabela 9.

Tabela 9. Valores de CTA, CTA100 e CTA_pred

ID	Carga (W)	CTA (J)	CTA100 (J)	CTA_pred (J)
1	176			11771 ± 1348 ^{a,b}
	200	26093 ± 3077	18021 ± 30.5	16862 ± 2157 ^a
	233			10657 ± 1552 ^{a,b}
3	106			7376 ± 1080 ^b
	120	13153 ± 7590	11750 ± 1032	6082 ± 1087 ^b
	163			6221 ± 906 ^b
4	166			21465 ± 2406 ^b
	181	18407 ± 4921	13353 ± 1610	16161 ± 1831
	210			17176 ± 2041 ^b

5	220	8909 ± 203	5458 ± 5137	13333 ± 1994 ^a
	240			7566 ± 1244 ^a
	260			8363 ± 1659
6	250	11559 ± 4420	12111 ± 2807	11723 ± 1821
	280			8291 ± 1186
	300			6185 ± 3144
	340			6317 ± 1509
7	250	26907 ± 8308	14449 ± 19297	7639 ± 2472 ^a
	320			14328 ± 4764
	350			17059 ± 6225
9	260	13431 ± 2041	12490 ± 8415	12142 ± 1391
	270			13131 ± 1409
	300			8667 ± 1738 ^a
10	210	29482 ± 11162	22562 ± 1740	6664 ± 1136 ^{a,b}
	230			7373 ± 1414 ^{a,b}
	250			4738 ± 1004 ^{a,b}
	270			5771 ± 1177 ^{a,b}
11	210	32911 ± 22666	25284 ± 24972	8777 ± 1261
	230			11310 ± 1451
	280			12016 ± 1963
	300			9194 ± 1645
12	190	19973 ± 7169	13640 ± 11770	10068 ± 1024 ^a
	210			9429 ± 2117 ^a
	230			10864 ± 2558
	250			6995 ± 1678 ^a
13	195	9755 ± 4390	7326 ± 4897	15781 ± 1902
	233			14104 ± 2226
	271			12498 ± 3375
14	135	12076 ± 4059	7997 ± 743	5915 ± 971
	155			13059 ± 2930
	174			8382 ± 1798
16	175	11559 ± 20537	7580 ± 11342	4698 ± 820
	195			6816 ± 1304
	213			6161 ± 1058
17	233	25615 ± 55395	11340 ± 4352	9509 ± 1699
	252			9409 ± 2548
	291			9327 ± 2127
	291			14263 ± 1413
18	310	9297 ± 7230	7078 ± 8325	13217 ± 1473
	330			14756 ± 3122

Valores expressos em média e intervalo de confiança. ^a Diferente de

CTA; ^b Diferente de CTA100.

Curiosamente, a CTA real apresentou média percentual do IC maior do que a predita, 57% com mínimo de 2% e máximo de 216%, contra

média de 18% da CTA_pred e variação de 9 a 36%. A grande amplitude do IC para a CTA não permitiu definir com segurança a capacidade de predição do modelo, em relação a este parâmetro.

5. DISCUSSÃO

Os participantes ID: 1 a 4 apresentaram potências de pico (P_{pico}), bem abaixo dos valores alcançados por seus congêneres com VO_{2max} relativo semelhante. Os mesmos também apresentaram valores de $PCrit$ maiores do que a P_{pico} , o que é, conceitualmente, inadequado. Esses fatos podem ter ocorrido em função do protocolo mais longo, ao qual os participantes foram submetidos. Sobre esse aspecto, Hughson et al. (2000) relataram menores valores de VO_{2pico} e P_{pico} ao comparar as respostas individuais, em testes incrementais de 3 contra 1 minuto. Assim, no presente estudo, a fadiga acumulada ao longo do teste pode ter subestimado o valor real de P_{pico} de alguns participantes.

Entretanto, os dados inerentes ao estudo de Manchado (2004), apesar da autora ter aplicado estágios de 3 minutos, não apresentaram grandes discrepâncias nos valores de P_{pico} . Porém, a carga inicial e a maior magnitude dos incrementos, juntamente com um menor tempo de permanência no primeiro estágio, quando comparados aos dados de Almeida (não publicados) e de Hughson et al. (2000), podem ter sido os responsáveis.

5.1 A determinação da $PCrit$ e CTA

A qualidade do ajuste dos tempos relativos ao percentual do VO_{2max} foi maior à medida que o VO_2 se aproximou dos valores máximos. Apenas cinco participantes apresentaram resultados correspondentes a todos os valores percentuais do VO_{2max} . Essa discrepância está associada à característica da curva de VO_2 . Pois, mesmo com interpolação e alisamento, a curva apresenta flutuações ao longo do exercício. Essas pequenas flutuações podem gerar alterações no tempo medido até determinado percentual do VO_2 . Isso ocorre ao longo de toda a curva e em todas as intensidades. Dessa maneira, o erro na medida temporal não é sistemático e aumenta a chance de erros no ajuste hiperbólico. Contudo, apenas 3 participantes não apresentaram ajuste hiperbólico nos tempos correspondentes a 95% do VO_{2max} . O que indica que esse problema parece ser maior no início do exercício, ou até se atingir cerca de 75 a 80% do VO_{2max} . Nesse período, o organismo depende da velocidade e qualidade em se atender a uma demanda energética maior do que a potência oxidativa.

O mesmo problema não foi reportado por Manchado et al. (2002) e Manchado (2004) na análise da FC. Provavelmente, devido ao fato da FC ser controlada diretamente pelo sistema nervoso autônomo e apresentar pouca flutuação. Já o VO_2 é regido pela Lei de Fick e depende da interação entre a FC, volume sistólico (VS) e diferença do conteúdo arterial e venoso de O_2 . Essa relação sofre, ainda, a influência da qualidade de captação do VO_2 , dada pela acurácia, calibração e ciclo de coletas do espirômetro utilizado.

Uma possibilidade de melhorar o ajuste hiperbólico nos tempos percentuais seria a repetição da mesma intensidade 3 ou 4 vezes. Dessa

forma, poder-se-ia filtrar os dados do VO_2 com melhor qualidade e, possivelmente, minimizar as flutuações na curva. Entretanto, esse desenho experimental apresenta alguns complicadores, como: a) os efeitos do treinamento ou aprendizagem, b) a diferença nos T_{lim} atingidos e c) queda de motivação dos participantes ao longo de vários testes exaustivos.

A despeito do número de observações reduzido, foi possível constatar que os valores de PCrit e CTA sub- VO_{2max} se relacionam de forma linear.

Outro fator que corrobora a relação linear sugerida, é o bom ajuste da equação proposta para descrever a cinética do VO_2 . Pois, matematicamente, essa relação linear seria pré-requisito para o sucesso na modelagem.

5.2 Capacidade de predição do modelo

A possibilidade de encontrar o VO_{2max} a partir dos valores de PCrit, demonstra a coerência interna do modelo em relação à hipótese testada. Adicionalmente, a equação proposta sugere que a PCrit pode ser uma maneira indireta de se determinar o VO_{2max} . Porém, faz-se necessário uma estimativa da eficiência do participante.

A capacidade de predição da PCrit, através do modelo proposto, foi evidenciada em 14 dos 15 participantes. Curiosamente, não foi possível estimar a PCrit_{pred} no participante 18 e os motivos ainda não são claros. Entretanto, o mesmo apresentou outras respostas incomuns, como valor de

PCrit real maior do que a Ppico e diminuição acentuada no VO_{2max} medido, nas cargas preditivas mais intensas.

De maneira geral, os participantes apresentaram flutuação no VO_{2max} medido nas cargas preditivas. Contrariamente, Hill e Smith (1999) não encontraram diferenças no VO_{2max} em três diferentes intensidades preditivas da PCrit. Existe, no presente estudo, a possibilidade de limitação na acurácia do aparelho, haja visto que, a calibração foi realizada pelo método automático, que utiliza o ar ambiente, ou ainda, o sistema de coletas a cada 3 ciclos respiratórios. Porém, o baixo número de participantes e os diferentes protocolos analisados, não possibilita uma triagem adequada da fonte de erro.

A capacidade de predição da PCrit é sensível a influência da variação do VO_{2max} medido. Pois, alguns participantes demonstraram diferença entre os valores estimados e reais com a mudança no valor de VO_{2max} . Essa necessidade do valor real do VO_{2max} para a acurácia na predição da PCrit_pred é uma limitação do modelo. Entretanto, com apenas um teste preditivo e uma boa coleta de dados do VO_2 é possível estimar a PCrit sem a necessidade de vários testes exaustivos.

A capacidade de predição da CTA pela CTA_pred não ficou evidenciada de modo satisfatório, pois a alta margem do IC na CTA real, pode influenciar na interpretação dos resultados. Cabe ressaltar que, Hill (1993) preconizou um epe abaixo de 10% para a determinação da CTA. Entretanto, quando a predição é realizada com apenas 3 cargas preditivas o intervalo de confiança gerado é cerca de 3 vezes maior do que com o uso de 4 cargas. Pois, o IC é dado por: $t_{(0.05, GL)} \times epe$, o valor de t em 3 cargas preditivas é

12,706 e com 4 cargas diminui para 4,303. Nesse sentido, uma CTA estimada em 20 KJ e epe de 1KJ (5%) gera um IC de 12KJ, de modo que, o valor real pode variar de 8 a 32KJ. De maneira interessante, os valores de CTA_pred estimados pelo modelo apresentaram menor IC do que a CTA real.

5.3 Pressupostos e limitações

O presente estudo foi baseado no pressuposto de que a cinética do VO_2 apresentaria uma resposta semelhante ao modelo aplicado na FC por Manchado (2004). Estudos futuros poderão utilizar esse modelo para comparar a constante de tempo K do VO_2 e FC. Porém, essa comparação exige o mesmo desenho experimental voltado para estudos de cinética do VO_2 .

A despeito das comparações temporais, pode-se afirmar que o modelo cinético aplicado à FC, nos estudos de Manchado (2004), adere também aos valores de VO_2 . Essa constatação confirma a teoria de uma relação direta entre as duas variáveis.

Nesse sentido, Schneider et al. (2002) demonstraram aderência das cinéticas da FC e do VO_2 na fase 2 do domínio intenso a um mesmo modelo mono-exponencial ($\tau_{FC} 55.6 \pm 3.5$ s e $\tau_{VO_2} 42 \pm 1.9$ s). No estudo de Perrey et al. (2003) foi reportado que a cinética do VO_2 e o débito cardíaco apresentam constantes de tempo próximas e aderem a um mesmo modelo. Pode-se inferir que a FC apresenta uma alta relação qualitativa e quantitativa com o VO_2 .

5.3.1 O custo da carga de trabalho

Na interpretação do modelo aplicado, o termo E apresenta uma relação direta com o VO_{2max} . Esse termo, correspondente ao custo da atividade, em $lO_2 \cdot w^{-1}$, é uma indicação da eficiência do indivíduo. Retomando-se a conjectura elaborada no capítulo materiais e métodos, quando o TVO_2 for igual ao infinito o VO_{2max} seria o produto de E pela $PCrit$, somado ao VO_2 de repouso.

Nevill et al. (1992) observaram o custo em O_2 da corrida, em 4 diferentes velocidades. Os participantes foram divididos em dois grupos, de acordo com o VO_{2max} mediano, a análise empregada revelou que as diferenças na economia de corrida (EC), dentro de certas proporções, são dependentes do VO_{2max} .

Entretanto, os achados de Paavolainen et al. (1999) contrariam a relação postulada por Nevill et al. (1992). Tais pesquisadores alocaram atletas de *cross-country* em dois diferentes grupos: experimental (GE), formado por 12 atletas e controle (GC) com 10 atletas. O grupo GE teve 32% do treinamento total substituído por treinamento de força explosiva e o GC apenas 3%. Foram reportados aumento na EC e melhora de performance para o teste de 5 km, mas não houve aumento do VO_{2max} . Já o GC apresentou aumento no VO_{2max} , entretanto, não foi constatada melhora na EC.

No presente estudo a maior influência no VO_{2max} vem da $PCrit$, pois as diferenças na eficiência do indivíduo não são capazes de discriminar os detentores de maior VO_{2max} , correlação de $r = 0.16$ ($p > 0.05$).

5.3.2 Sistema de espirometria

O sistema metabólico ideal para estudos com o propósito de descrever a cinética do VO_2 é o espectrômetro de massa. O qual, é capaz de distinguir a massa atômica dos isótopos e determinar o VO_2 , com grande precisão, a cada ciclo respiratório. Porém, devido ao alto custo desse aparelho, os espirômetros *breath-by-breath* são a opção menos dispendiosa. Sua calibração é realizada através de valores conhecidos de O_2 e CO_2 .

Além da questão tecnológica envolvida em estudos de cinética, recomenda-se que o desenho experimental envolva repetições da mesma sessão de exercício para aumentar a qualidade dos dados. Pois, para diminuir qualquer ruído, antes da modelagem, realiza-se a interpolação e média do VO_2 a cada segundo.

5.4 Significado Fisiológico do modelo

Não é a pretensão, do presente estudo, propor mais um modelo para descrever a cinética do VO_2 , em detrimento dos modelos clássicos. O equipamento utilizado e o desenho experimental não atenderiam às exigências preconizadas para tal fim. Por outro lado, o objetivo é encontrar um modo de prever a PCrit e CTA, a partir do monitoramento do VO_2 . Entretanto, implicitamente, a equação apresentada é uma descrição da cinética do VO_2 à luz do modelo da PCrit.

Descrever a cinética do VO_2 através dos parâmetros da PCrit

significa inferir que os sistemas aeróbios e anaeróbios estão envolvidos nesse controle. Embora o presente estudo não possa abarcar todo o significado fisiológico do modelo proposto, algumas elucubrações se fazem pertinentes. Primeiramente, deve-se atentar que, o coeficiente de inclinação da CTA ($dCTA$ - equação 3) dividido pelo correspondente na PCrit ($bPCrit$ - equação 3), sintetizadas no elemento K , representam a velocidade da cinética. Similarmente, à constante de Michaelis, o valor de K indica o tempo necessário para se atingir metade do ganho. Nesse sentido, teoricamente, ao se aumentar o valor de $bPCrit$ e mantendo-se fixo os outros parâmetros, o resultado seria um valor de K menor, ou seja, uma cinética do VO_2 mais rápida.

Uma vez que, a PCrit representa um índice aeróbio, isso significa que indivíduos aerobiamente treinados devem apresentar maior velocidade na cinética do VO_2 , o que de fato já é bem documentado na literatura (CASABURI et al., 1987; DEMARLE et al., 2001). Recentemente, Kilding et al. (2006), estudaram a cinética do VO_2 em corredores de longa (LD) (5 – 10 Km) e média distâncias (MD) (800 – 1500 m), em exercício no domínio intenso. Os autores reportaram maior velocidade na cinética de LD (τ 12.3 \pm 0.5), em comparação com MD (τ 16.4 \pm 1.0 s). Berger et al. (2006) compararam atletas *master* de *endurance* (800m a maratona) e velocidade (100 – 400m). Não foi reportada diferença entre os grupos para a faixa etária de 46 a 55 anos, porém, acima dessa faixa, os atletas de *endurance* apresentaram maior velocidade na cinética do VO_2 . Ainda, relatou-se que os atletas de velocidade, na faixa etária de 76 a 85 anos, apresentaram diminuição do τ em comparação com seus congêneres de menor idade. Contrariamente, os atletas de *endurance*

mantiveram o τ , estatisticamente, inalterado em relação à idade.

Essa relação entre a CTA e a PCrit como reguladores da velocidade da cinética apresenta outro aspecto importante. Pois matematicamente, o aumento do valor de dCTA e manutenção dos outros parâmetros da equação provocariam um atraso na cinética do VO_2 .

Cleziou et al. (2005) compararam a cinética do VO_2 em atletas de *endurance*, velocidade e de um grupo controle. Foram aplicados testes retangulares, em cicloergômetro, nas intensidades correspondentes ao domínio moderado (mod.) e intenso (int.). Os atletas de *endurance* apresentaram menor constante de tempo (mod. 21.0 ± 6.2 s e int. 17.4 ± 4.1 s) em comparação com os velocistas (mod. 32.2 ± 9.9 s e int. 23.4 ± 6.2 s). Comparado aos dois grupos de atletas, o grupo controle apresentou cinéticas ainda mais lentas (mod. 36.2 ± 7.0 s e int. 27.0 ± 5.9 s).

Esses resultados, apontam para uma especificidade da cinética do VO_2 em função do sistema metabólico priorizado no treinamento. Porém, de acordo com a hipótese da lentidão cinética provocada pela CTA, seria coerente supor que os atletas de velocidade também apresentariam cinéticas mais lentas do que o grupo controle. Entretanto, o treinamento anaeróbio, em função da relação intensidade e volume, também promove alterações nos mecanismos aeróbios. Ou seja, fisiologicamente, o treinamento é incapaz de reproduzir a situação hipotética proposta. Diante desse cenário, pode-se inferir que a razão entre dCTA e bPCrit será sempre menor em indivíduos treinados quando em comparação com sedentários.

Em contrapartida, a interpretação dos modelos clássicos

descreve a modulação da cinética do VO_2 através de sinais de erro (Hughson et al., 2000). Os quais, representam o *feedback* constante do sistema, dado pela diferença entre VO_2 atual e a demanda energética. Sob esse ponto de vista, o metabolismo anaeróbio não é coadjuvante no controle da cinética. É entendido apenas como o produto relativo ao tamanho do sinal de erro ao longo do tempo, dado pelo déficit de O_2 .

Alguns estudos reportaram aumento na velocidade da cinética do VO_2 quando precedidos por uma sessão supra- (MACDONALD et al., 1997) ou submáxima de exercício (CAMPBELL-O'SULLIVAN et al., 2002). Admite-se, nesses casos, a ocorrência de uma diminuição na inércia do sistema oxidativo. Segundo a teoria dos sinais de erro infere-se que o VO_2 aumentado, no início do exercício, provocaria menores erros entre a demanda e consumo. Conseqüentemente, menor déficit e maior rapidez para atender a demanda.

Diante dessas diferenças de paradigma, faz-se necessário estudos adicionais que possam investigar o real significado fisiológico do modelo proposto, em relação aos mecanismos da cinética do VO_2 .

6. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que, os valores de PCrit e CTA sub-VO₂max se relacionam linearmente e projetam para os respectivos valores máximos. Essa relação linear possibilitou o ajuste matemático do VO₂ segundo uma equação hiperbólica. Adicionalmente, demonstrou-se a possibilidade de estimativa dos valores de PCrit a partir de apenas um teste. Entretanto, o modelo se mostrou sensível ao valor do VO₂max medido. Por outro lado, os valores de CTA apresentaram grandes amplitudes no IC e não possibilitaram uma estimativa acurada através do cálculo da CTA_{pred}. Ainda, estudos adicionais são necessários para elucidar o real significado fisiológico do modelo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARSTOW, T. J.; JONES, A. M.; NGUYEN, P. H.; CASABURI, R. Influence of muscle fibre type and pedal frequency on oxygen uptake kinetics of heavy exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda. v. 81, p. 1642-50, 1996.

BARSTOW, T. J.; MOLÉ, P. A. Linear and nonlinear characteristics of oxygen uptake kinetics during heavy exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda. v.63, p. 2253-61, 1991.

BARSTOW, T. J. Characterization of VO_2 kinetics during heavy exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Hagerstown. v. 26, p. 1327-34, 1994.

BEARDEN, S. E.; MOFFAT, R. J. VO_2 kinetics and heart rate kinetics in cycling: Transitions from an elevated baseline. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda. v. 90, p. 2081-7, 2001.

BELL, C., PATERSON, D. H., KOWALCHUK, J. P., CUNNINGHAM, D. A. A comparison of modeling techniques used to characterize oxygen uptake kinetics during the on-transient of exercise. **Experimental Physiology**, Nova York. v. 86.5, p. 667-76, 2001.

BERGER, N. J. A.; RITTWEGER, J.; KWIET, A.; MICHAELIS, I.; WILLIAMS, A. G.; TOLFREY, K.; JONES, A. M. Pulmonary O₂ uptake on-kinetics in endurance and sprint trained master athletes. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart. Publicação online 11 de abril, 2006. Disponível em:<
<http://www.thieme-connect.com/ejournals/pdf/sportsmed/doi/10.1055/s-2006-923860.pdf>>.

Acesso em: 10 ago. 2006.

BILLAT, V.; RICHARD, R.; BINSSE, V., M.; KORALSZTEIN, J. P.; HAOUZI, P. The VO₂ slow component for severe exercise depends on type of exercise and is not correlated with time to fatigue. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda. v. 85, n. 6. p. 2118-24,1998.

BISHOP, D.; JENKINS, D. G.; HOWARD, A. The critical power function is dependent on the duration of predictive exercise test chosen. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart. v.19, p. 125-9, 1998.

BRICKLEY, G.; DOUST, J.; WILLIAMS, C. A. Physiological responses during exercise to exhaustion at critical power. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, Berlin. v. 88, p. 146-51, 2002.

CAMPBELL-O'SULLIVAN, S. P.; CONSTANTIN-TEODOSIU, D.; PEIRCE, N.; GREENHAFF, P. L. Low intensity exercise in humans accelerates mitochondrial ATP production and pulmonary oxygen kinetics during subsequent more intense exercise. **Journal of Physiology**, Paris. v. 538.3. p. 931-39, 2002.

CARTER, H.; JONES, A. M.; BARSTOW, T. J.; THOMAS J.; BURNLEY, M.; WILLIAMS C. A.; DOUST, J. H. Oxygen uptake kinetics in treadmill running and cycle ergometry: a comparison. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 89, p. 899-907, 2000.

CASABURI, R.; STORER, T. W.; BEN-DOV, I.; WASSERMAN, K. Effect of endurance training on possible determinants of $\dot{V}O_2$ during heavy exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda. v. 62, p. 199-207, 1987.

CHASSAIN, A. Méthode d'appréciation objective de la tolérance de l'organisme à l'effort: application à la mesure des puissances de la fréquence cardiaque et de la lactatémie. **Science & Sports**, Paris, v.1, p.41-48, 1986.

CLEZIOU, C.; PERREY, S.; LECOQ, A. M.; CANDAU, R.; COURTEIX, D.; OBERT, P. Oxygen deficit kinetics during moderate and heavy exercise in

humans: the influence of hypoxia and training status. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart. v. 26. p. 356-62, 2005

COYLE, E. F.; SIDOSSIS, L. S.; HOROWITZ J. F.; BELTZ, J. D. Cycling efficiency is related to the percentage of type I muscle fibers. **Medicine and Science of Sports and Exercise**, Hagerstown. v. 24, p. 782-8, 1992.

DEMARLE, A. P. et al. Decrease of O₂ deficit is a potential factor in increased time to exhaustion after specific endurance training. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda. v. 90, p. 947-53, 2001.

DeVRIES, H. A.; MORITANI, T.; NAGATA, A. e MEGNUSSEN, K. The relation between critical power and neuromuscular fatigue as estimated from eletromyographic data. **Ergonomics**, Basingstoke. v. 25, n. 8, p. 783-791, 1982.

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

HILL, D. W.; SMITH, J. C. A method to ensure the accuracy of estimates of anaerobic capacity derived using the critical power concept. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, Torino v. 34, p. 23-37, 1994.

HILL, D. W.; SMITH, J.C. Determination of Critical Power by Pulmonary Gas Exchange. **Canadian Journal of Applied Physiology**, Champaign. v. 24, n. 1, p. 74-86, 1999.

HILL, D. W. The critical power concept: A review. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.16, p. 237-254, 1993.

Hill, D. W.; POOLE, D. C.; SMITH, J. C. The relationship between power and the time to achieve VO_{2max} . **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Hagerstown, v. 34, n. 4, p. 709-14, 2002.

HOUSH, D. J.; HOUSH, T. J.; BAUGE, S. M. The accuracy of the critical power test for predicting time to exhaustion during cycle ergometry. **Ergonomics**, Basingstoke. v. 32, p. 997-1004, 1989.

HUGHSON, R. L. OROK, C. J.; STAUDT, L. E. A high velocity treadmill running test to assess endurance running potential. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, Torino, v. 5, p. 23-5, 1984.

HUGHSON, R. L., O'LEARY, D. D., BETIK, A. C., HEBESTREIT, H. Kinetics of oxygen uptake at the onset of exercise near or above peak oxygen uptake. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda. v. 88, p. 1812–9, 2000.

JENKINS, D. G.; QUIGLEY, B. M. Endurance training enhances critical power. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Hagerstown. v. 24, p. 1283-9, 1992.

JONES, A. M.; CARTER, H.; DOUST, J. M. A disproportionate increase in VO_2 coincident with lactate threshold during treadmill exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Hagerstown, v. 31, n. 9, p. 1299-1306, 1999.

KILDING, A. E.; WINTER E. M.; FYSH, M. A comparison of pulmonary oxygen uptake kinetics in middle- and long-distance runners. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart. v. 27, n. 5, p. 419-26, 2006.

KOKUBUN, E. Velocidade crítica como estimador do limiar anaeróbio na natação. **Revista Paulista de Educação Física**, São Paulo. v. 10, n. 1, p. 5-20, 1996.

KUSHMERICK, M. J.; MEYER, R. A.; BROWN, T. R. Regulation of oxygen consumption in fast- and slow-twitch muscle. **American Journal of Physiology**, Baltimore. v. 263, p. C598-C606, 1992.

LEPRETRE, P.M.; KORALSZTEIN J.-P.; BILLAT V. L. Effect of Exercise Intensity on Relationship between VO_{2max} . and Cardiac Output. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Hagerstown. v. 36, n.8, p. 1357-63, 2004.

LUDBROOK, J. Multiple inferences using confidence intervals. **Clinical Experimental Pharmacology and Physiology**, New York. v. 27, n. 3, p. 212-5, 2000.

MACDONALD, M.; PEDERSEN, P. K.; HUGHSON, R. L. Acceleration of VO_2 kinetics in heavy submaximal exercise by hiperoxia and prior high intensity exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda. v. 83, n. 4, p. 1318-25.

MANCHADO, F. B.; NAKAMURA, F. Y.; KOKUBUN, E. Determination of critical power model parameters from non-exhaustive test. **Proceedings of 7th Annual Congress of the European College of Sports Science**, Athenas, v.2, p. 340, 2002.

MANCHADO, F. B. **Validação de procedimento submáximo para a determinação dos parâmetros do modelo de potência crítica**. Dissertação (Mestrado), Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

MCLELLAN, T. M.; CHEUNG, K.S.Y. A comparative evaluation of the individual anaerobic threshold and critical power. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Hagerstown. v. 24, p. 543-550, 1992.

MONOD, H. SCHERRER, J. The work capacity of a synergic muscular group. **Ergonomics**, Basingstoke, v.8, p.329-337, 1965.

MORITANI, T; NAGATA, A.; DeVRIES, H.A.; MURO, M. Critical power as measure of physical work capacity and anaerobic threshold. **Ergonomics**, Basingstoke, v. 24, p.339-350, 1981.

MORTON, R. H.; BILLAT, V. Maximal endurance time at VO_{2max} . **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Hagerstown. v. 32, n. 8, p. 1496-504, 2000.

NAKAMURA, F. Y. **Validade e significado fisiológico dos parâmetros do modelo de potência crítica**. Tese (doutorado), Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.

OZYENER, F.; ROSSITER, H. B.; WARD, S. A.; WHIPP, B. J. Influence of exercise intensity on the on- and off- transient kinetics of pulmonary oxygen uptake in humans. **Journal of Physiology**, Paris. v. 533.3, p. 891-902, 2001.

PERREY, S.; SCOTT, J.; MOUROT, L.; ROUILLON, J. Cardiovascular and oxygen uptake kinetics during sequential heavy cycling exercises. **Canadian Journal of Applied Physiology**, Champaign. v. 28, n. 2, p. 283-298, 2003.

POOLE, D. C.; SCHAFFARTZIK, W.; KNIGHT, D. R.; DERION, T.; KENNEDY, B.; GUY, H. J.; PREDILETTO, R.; WAGNER, P. D. Contribution of exercising legs to the slow component of oxygen uptake kinetics in humans. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 4, n. 71, p. 1245-53, 1991.

POOLE, D. C. Role of exercising muscle in slow component of VO_2 . **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Hagerstown. v. 26, n. 11, p. 1335-1340, 1994.

POOLE, D. C. Letter to the editor in chief. **Medicine and Science in Sports and exercise**, Hagerstown. v. 18, p. 703-4, 1988.

ROSTON, W. L.; WHIPP, B. J.; DAVIS, D. A.; CUNNINGHAM, R.; EFFORS, M.; WASSERMAN, K. oxygen uptake kinetics and lactate concentration during exercise in humans. **American Review of Respiratory Disease**, Nova York. v. 135, p. 1080-4, 1987.

SID-ALI, B., VANDEWALLE, H., CHAIR, K.; MOREAUX, A.; MONOD, H. Lactate steady state velocity and distance-exhaustion time relationship in running. **Archives of Physiology and Biochemistry**, Lisse. v. 99, p. 297-301, 1991.

SCHNEIDER, D. A.; WING, A. N.; MORRIS, N. R. Oxygen uptake and heart rate kinetics during heavy exercise: a comparison between arm cranking and

leg cycling. **European and Journal of Applied Physiology**, Berlin. v. 88, p. 100-6, 2002.

TAYLOR, H. L.; BUSKIRK, E.; HENSCHL, A. Maximal oxygen intake as objective measure of cardiorespiratory performance. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda. v. 8, p. 73-80, 1955.

VANDEWALLE, H.; KAPITANIAK, B.; GRÜN, S.; RAVENEAU, S.; MONOD, H. Comparison between a 30-s all-out test and time-work test on a cycle ergometer. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, Berlin. v. 58, p. 375-81, 1989.

XU, F.; RHODES, E. C. Oxygen uptake kinetics. **Sports Medicine**, Auckland. v. 27, n. 5, p. 313-27, 1999.

WAKAYOSHI, K.; IKUTA, K.; YOSHIDA, T.; UDO, M.; MORITANI, T.; MUTOH, Y.; MIYASHITA, M. Determination and validity of critical velocity as an index swimming performance in the competitive swimmer. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, Berlin, v. 64, p. 153-7, 1992.

WASSERMAN, K.; KESSEL, A. L. V.; BURTON, G. G. Interaction of physiological mechanisms during exercises. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.22, p. 71-85, 1967.

WHIPP, B. J. The slow component of O₂ uptake kinetics during heavy exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Hagerstown. v. 26, p. 1319-26, 1994.

WHIPP, B. J., WARD, S. A. Physiological determinants of pulmonary gas exchange kinetics during exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Hagerstown. v. 22, p. 62 – 71, 1990.

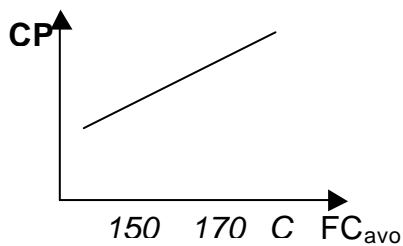
WHIPP, B. J., WARD, S. A., LAMARRA, N., DAVIS, J. A., WASSERMAN, K. Parameters of ventilatory and gas exchange dynamics during exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda. v. 52, p. 1506 – 13, 1982.

WHIPP, B. J., WASSERMAN, K. Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant-load work. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.33, n.3, p. 351-6, 1972.

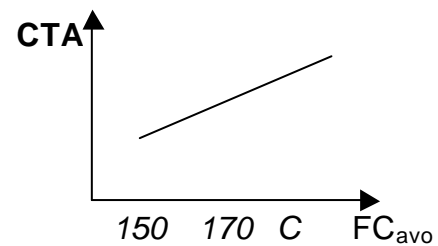
APÊNDICES

APENDICE I

As figuras abaixo ilustram a relação linear dos parâmetros P_{crit} e CTA para determinada FC alvo (MANCHADO, 2004):



$$P_{Critfc} = aP_{crit} + bP_{crit} \times FC$$



$$CTA_{fc} = cCTA + dCTA \times FC$$

Assumindo um comportamento similar para a cinética do VO_2 ,

temos:

$$P_{Crit_{VO_2}} = aP_{crit} + bP_{crit} \times VO_2$$

$$CTA_{VO_2} = cCTA + dCTA \times VO_2$$

Substituindo os parâmetros na equação 4:

$$T_{Lim} = \frac{CTA}{P - P_{crit}} \quad \longrightarrow \quad T_{VO_2} = \frac{CTA_{VO_2}}{P - P_{Crit_{VO_2}}}$$

ou ainda,

$$T_{VO_2} = \frac{cCTA + dCTA \times VO_2}{P - aP_{crit} - bP_{crit} \times VO_2}$$

Isolando a variável VO_2 :

$$P \times TVO_2 - (aPCrit \times TVO_2) + [(bPCrit \times TVO_2) \times VO_2] = cCTA + dCTA \times VO_2$$

$$P \times TVO_2 - (aPCrit \times TVO_2) + [(bPCrit \times TVO_2) - dCTA]VO_2 = cCTA$$

$$[(bPCrit \times TVO_2) - dCTA]VO_2 = cCTA - (P \times TVO_2) + (aPCrit \times TVO_2)$$

$$VO_2 = \frac{cCTA - (P \times TVO_2) + (aPCrit \times TVO_2)}{(bPCrit \times TVO_2) - dCTA} \rightarrow \text{Para estimar o } VO_2 \text{ de repouso:}$$

$$VO_2 = \frac{cCTA - (P - aPCrit) \times TVO_2}{dCTA - (bPCrit \times TVO_2)} \text{ (Equação A)}$$

Dividindo a Equação A por $\frac{1}{TVO_2}$, temos:

$$VO_2 = \frac{\frac{cCTA}{TVO_2}}{\frac{dCTA}{TVO_2} - \frac{(P - aPCrit)}{bPCrit}}$$

Na equação A, ao considerar:

$$TVO_2 = 0$$

$$P = 0$$

$$VO_2 = VO_{2\text{repouso}}$$

$$VO_{2\text{repouso}} = \frac{cCTA}{dCTA} \text{ (Equação B)}$$

$$\frac{cCTA}{dCTA} = \frac{aPCrit}{bPCrit} = VO_{2\text{rep}}$$

ou para o Δ do VO_2 ($VO_{2\text{final}} - VO_{2\text{repouso}}$), temos que:

$$\Delta VO_2 = \frac{-P \times TVO_2}{dCTA - bPCrit \times TVO_2}$$

$$\Delta VO_2 = \frac{P}{\frac{dCTA}{TVO_2} + bPCrit}$$

$$\Delta VO_2 = \frac{1 + P}{\frac{dCTA}{bPCrit} \times \frac{1}{TVO_2} + 1}$$

$TVO_2 \rightarrow \infty$:

$$\Delta VO_2 = \frac{E \times P}{1 + \frac{k}{TVO_2}}$$

$$\left. \begin{array}{l} cCTA = 0 \\ aPCrit = 0 \end{array} \right\} \text{Interceptos} = 0$$

$$\Delta VO_2 = \frac{0 - [P - 0] \times TVO_2}{-dCTA - bPCrit \times TVO_2}$$

Supondo que o tempo é infinito

$$\Delta VO_2 = \frac{P}{bPCrit}$$

$$\frac{1}{bPCrit} = E$$

$$\Delta VO_2 = E \times P$$

$$\frac{dCTA}{bPCrit} = k$$

E finalmente, para o VO_{2max} , temos a equação 5:

$$VO_{2max} = VO_{2rep} + \frac{E \times P}{1 + \frac{k}{TVO_2}}$$

APÊNDICE II

```

continua=input('Deseja analisar testes retangulares do mesmo participante? s ou n: ','s');
if continua=='s' | continua=='S';
% solicitando informação da segunda parte do nome do arquivo
carga = input('Entre com o valor da intensidade em watts - i.e. 210: ', 's');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Concatenando as informações para constituir o nome completo
name = [sujeito,"carga"];
name_arq = [name, '.txt'];
eval(['load ' name_arq]);
eval(['time = ' name ' (:,1) ; ']);
eval(['VO2r = ' name ' (:,2) ; ']);

t_ir=time(1,1);
if t_ir==0;
    t_ir=1;
end

t_fr=time(end);
t_intr=(t_ir:1:t_fr)'; % Criando valores a cada 1 segundo
VO2_yyr=interp1(time,VO2r,t_intr); % Interpolação linear

VOr=smooth(VO2_yyr,15); % Realizando a media movel a cada 15 pontos

for i=1:fix(length(VOr)/15)-1; %Loop para determinar os valores medios de VO2 a cada 15 s
    in=1+(15*(i-1));
    med_tr(i)=i*15+15;
    med_vor(i)=mean(VOr(in:in+15)); % Conjunto dos valores medios de VO2
end

```

```

    std_vor(i)=std(VOr(in:in+15));

end

figure(3)
plot(med_tr,med_vor,'ob')
title(['media do VO2 a cada 15 segundos'])
xlabel('Tempo (s)')
ylabel('VO2 (l/min)')
pause

linha_base=input('digite o tempo de duracao da linha de base (s):');
% media_15r=[med_vor];
std_15r=[std_vor];
[wr tr]=max(med_vor);
t_VO2pico=med_tr(tr);%Retornando o tempo bruto, em segundos, ate o VO2max
TVO2pico=t_VO2pico-linha_base %Retornando o tempo para atingir o VO2 pico
VO2_maxr=wr; %Retornando o valor do VO2max
Desvpadr=std_15r(tr);%Calculo do Desvio Padrao da media

%%%%%%%%Calculando o Intervalo de Confianca

ICr=1.96*(Desvpadr/(sqrt(15)));
ICinfr=VO2_maxr-ICr;
ICupr=VO2_maxr+ICr;
VO2maxret=[ICinfr VO2_maxr ICupr]

```