

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

**LUCAS DALLA VECCHIA LANZARINI**

**CORRELAÇÃO ENTRE RESERVAS DE VELOCIDADE E A CAPACIDADE DE  
TRABALHO ACIMA DA VELOCIDADE CRÍTICA EM CORREDORES**

Florianópolis

2022

Lucas Dalla Vecchia Lanzarini

**CORRELAÇÃO ENTRE RESERVAS DE VELOCIDADE E A CAPACIDADE DE  
TRABALHO ACIMA DA VELOCIDADE CRÍTICA EM CORREDORES**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Educação Física do Centro de Desportos da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Educação Física.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Dantas de Lucas.

Coorientador: Prof. Me. Diego Antunes.

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Dalla Vecchia, Lucas

Correlação entre reservas de velocidade e a capacidade de trabalho acima da velocidade crítica em corredores / Lucas Dalla Vecchia ; orientador, Ricardo Dantas de Lucas, coorientador, Diego Antunes, 2022.

49 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Desportos, Graduação em Educação Física, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Educação Física. I. de Lucas, Ricardo Dantas. II. Antunes, Diego. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Educação Física. IV. Título.

Lucas Dalla Vecchia Lanzarini

**Correlação entre reservas de velocidade e a capacidade de trabalho acima da velocidade crítica em corredores**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Educação Física” e aprovado em sua forma final pelo Centro de Desportos da Universidade Federal de Santa Catarina, com a nota 10.

Florianópolis, 13 de dezembro de 2022.

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Ricardo Dantas de Lucas, Dr.  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Diego Antunes, Me.  
Coorientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Tiago Turnes, Dr.  
Avaliador  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Thiago Pereira Ventura  
Avaliador  
Universidade Federal de Santa Catarina

À família que compreende e aos amigos que torcem.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à minha família, minha base firme para todas as coisas. À minha mãe, Ivani Fleck Dalla Vecchia, minha referência em tudo que faço, não cabem em palavras para expressar o que você significa na minha vida. Mulher batalhadora, que sempre lutou pela sua família e para o bem das pessoas que ama, é digna de uma admiração sem tamanho pela sua força e pelo seu caráter. Quero que saiba que sua história é admirável e é um orgulho para mim te chamar de mãe. O que sou hoje, devo a ti. Te amo mãe!

À minha namorada, Isadora Dalla Lana. Meu apoio, amor diário e incondicional. Incontáveis vezes foi meu porto seguro em momentos que as dúvidas, cansaço e desânimo apareciam. Faz parte de todos meus momentos, bons ou ruins, das minhas falhas ou dos meus acertos e, acima de tudo, faz com que todo o caminho fique mais leve. Além disso, sem ela este TCC não teria acontecido, sua ajuda foi de extrema importância ao longo desse processo, seja me ajudando nas coletas ou entendendo minha ausência ou ainda me incentivando. Te amo!

A todos meus colegas de graduação, que ao longo dos anos estivemos juntos e aprendemos muito uns com os outros. Gostaria de citar todos, mas destaco principalmente os amigos Artur Dilli, ao Murilo Henrique e ao Alessandro Miranda por toda a parceria ao longo da graduação, que contribuiu para que a jornada fosse mais rica e muito mais fácil. Nossas conversas sempre serviram para crescimento de todos, seja em momentos de descontração ou de aprendizado. Tenho certeza que serão amizades para a vida toda.

Ao meu orientador, professor Ricardo Dantas, que me guiou ao longo de boa parte da graduação com seu admirável conhecimento e caráter, sendo uma pessoa que com certeza tenho como espelho para o profissional e ser humano que quero ser. A paciência e o carinho ao ensinar, dizem muito sobre quem você é. Não cabe em palavras expressar o quanto aprendi com você ao longo dessa jornada e tenho certeza que tenho muito mais a aprender. Muito obrigado!

Meu muito obrigado também a todos os amigos do LAEF, em especial meu coorientador, professor Diego Antunes, que sempre me incentivou a estudar essa paixão que temos em comum, a corrida. Também ao professor Fernando Borszcz, que nunca mediu esforços para me ajudar nas mais diversas tarefas e dúvidas, tendo papel fundamental no meu desenvolvimento ao longo deste último ano. Agradeço por tudo, desde o cafézinho até as orientações no PIBIC e as coletas no TCC. Muito obrigado!

Não poderia deixar de mencionar os professores Jolmerson de Carvalho e Érico Vivaz, que me acolheram no projeto de atletismo logo na 1ª fase, e a professora Cíntia de La Rocha pela parceria, conversas e pelo ser humano extraordinário e encantador que é.

Enfim, me sinto abençoado e feliz por ter tantas pessoas boas perto de mim e sou muito grato a todos!

Only the discipline ones are free in life.  
(Eliud Kipchoge)



## RESUMO

**Introdução:** A corrida nos domínios severo e extremo de exercício vem se mostrando desafiadora para treinadores e pesquisadores devido a complexa interação de requerimentos energéticos, mecânicos e neuromusculares. A capacidade de trabalho acima da velocidade crítica (D'), a reserva anaeróbia de velocidade (RAV) e a reserva máxima de velocidade (RMV) vêm se mostrando como alternativas, individualmente, eficientes para predição e entendimento dos desempenhos em intensidades acima da velocidade crítica (VC). Apesar disto, pouco se sabe sobre a correlação existente entre estes parâmetros e dos possíveis mecanismos que cercam estas variáveis. O objetivo do presente estudo foi verificar a correlação entre do D' com a RAV e a RMV. **Métodos:** Dezesesseis participantes (idade:  $32,9 \pm 8,3$  anos; altura:  $1,70 \pm 0,10$  m; massa corporal:  $70,0 \pm 10,5$  kg; e IMC:  $24,1 \pm 3,3$  kg/m<sup>2</sup>) treinados em corrida de *endurance* realizaram um teste incremental em laboratório e quatro testes de desempenho nas distâncias de 40-m, 800-m, 1500-m e 3000-m em uma pista sintética de 400 m, em 4 visitas distintas. Com estas avaliações, foi possível determinar a VC, D', RAV, RMV, velocidade máxima de *sprint* (VMS) e o consumo máximo de oxigênio (VO<sub>2</sub>max) dos participantes. Para verificar a correlação, foi utilizado o teste de correlação de Pearson, sendo adotado o nível de significância estatística de  $p < 0,05$ . **Resultados:** Uma correlação significativa ( $r = 0,72$  [intervalo de confiança de 95% =  $0,31 - 0,90$ ];  $p < 0,01$ ) foi encontrada entre o D' e a RAV, assim como entre o D' e a RMV ( $r = 0,79$  [ $0,48 - 0,92$ ];  $p < 0,001$ ). Ainda, foi encontrada uma correlação significativa entre a VMS e o D' ( $r = 0,58$  [ $0,12 - 0,83$ ];  $p < 0,01$ ). **Conclusão:** Com os valores de correlação verificou-se que estes parâmetros podem possuir mecanismos em comum. Apesar disto, ainda não está totalmente claro quais são eles. Algumas hipóteses são a tipologia de fibras, as adaptações neuromusculares, os estoques de fosfocreatina e/ou glicogênio muscular. Com estas hipóteses em mente, futuros estudos buscando intervenções acerca destes parâmetros podem dar maiores esclarecimentos a respeito desta temática.

**Palavras-chave:** Reserva Anaeróbia de Velocidade; Reserva Máxima de Velocidade; Velocidade Crítica; D'; Velocidade Máxima de *Sprint*.

## ABSTRACT

**Introduction:** Running in severe and extreme exercise intensity domains has been challenging for coaches and researchers due to a complex interaction between energetics, mechanical, and neuromuscular requirements. The work capacity above critical speed ( $D'$ ), anaerobic speed reserve (ASR), and maximal speed reserve (MSR) have been shown, individually, as effective tools for prediction and understanding performances at intensities above critical speed (CS). Nevertheless, little is known about the correlation between these parameters and what possible mechanisms surround these approaches. Therefore, the main objective of this study was to verify the correlation between the  $D'$  with the ASR and the MSR. **Methods:** Sixteen subjects (age:  $32.9 \pm 8.3$  years; height:  $1.70 \pm 0.10$  m; body mass:  $70.0 \pm 10.5$  kg; and BMI:  $24.1 \pm 3.3$  kg/m<sup>2</sup>) trained in endurance running performed one incremental test in laboratory and four performances in the distances of 40-m, 800-m, 1500-m, and 3000-m on a 400 m track, over four separated occasions. With these tests was possible to determine the CS,  $D'$ , ASR, MSR, maximal sprint speed (MSS), and maximal oxygen uptake ( $VO_{2max}$ ). For the determination of the correlation between these dependent variables, the Pearson correlation coefficient was used. Statistical significance was accepted at  $p < 0,05$ . **Results:** A very large correlation ( $r = 0.72$  [95% confidence interval = 0.31 - 0.90];  $p < 0.01$ ) between the  $D'$  and ASR was found and a very large correlation ( $r = 0.79$  [0.48 - 0.92];  $p < 0.001$ ) between the  $D'$  and MSR. Also, a moderate correlation ( $r = 0.58$  [0.12 - 0.83];  $p < 0.01$ ) was found between the  $D'$  and MSS. **Conclusion:** With these results, we verified that these running parameters possibly share similar mechanisms. Despite this, still not clear what are these similarities. Some hypotheses are fiber typology, neuromuscular adaptations, phosphocreatine stores, and/or muscular glycogen. With these hypotheses in mind, future studies aiming for interventions around these parameters can give further clarification around this theme.

**Keywords:** Anaerobic Speed Reserve; Maximal Speed Reserve; Critical Speed;  $D'$ ; Maximal Sprint Speed.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Respostas do consumo de oxigênio nos diferentes domínios de intensidade.....	23
Figura 2- Reservas de velocidade e seus respectivos limites inferiores e superiores.....	27
Figura 3- Gráficos de dispersão e correlação entre as reservas de velocidade, VMS e o D' ...	35
Figura 4- Matriz de correlação entre todas as variáveis analisadas no estudo. ....	36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Variáveis de caracterização e de desempenho dos participantes do estudo (n = 16).....	34
---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

[La<sup>-</sup>]: concentração de lactato.

%RAV: percentual utilizado da reserva anaeróbia de velocidade.

%RMV: percentual utilizado da reserva máxima de velocidade.

ATP: adenosina trifosfato.

CO<sub>2</sub>: dióxido de carbono.

Cr: creatina.

D': capacidade de trabalho acima da velocidade crítica.

EC: economia de corrida.

FC: frequência cardíaca.

H<sup>+</sup>: íons de hidrogênio.

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>: bicarbonato de sódio.

IC: intervalo de confiança.

LA: limiar anaeróbio.

LL: limiar de lactato.

O<sub>2</sub>: oxigênio.

PC: potência crítica.

PCr: fosfocreatina.

Pi: fosfato inorgânico.

RAV: reserva anaeróbia de velocidade.

RAeV: reserva aeróbia de velocidade.

RFV: reserva funcional de velocidade.

RMV: reserva máxima de velocidade.

TE: tempo de exaustão.

TI: treino intervalado.

v: velocidade.

VC: velocidade crítica.

VM<sub>3mt</sub>: velocidade máxima do teste de 3 minutos *all-out*.

VMS: velocidade máxima de *sprint*.

VO<sub>2</sub>: consumo de oxigênio.

VO<sub>2</sub>max: consumo máximo de oxigênio.

VO<sub>2</sub>pico: consumo pico de oxigênio.

vVO<sub>2</sub>max: primeira velocidade que o indivíduo atinge o VO<sub>2</sub>max em um teste incremental.

W': capacidade de trabalho acima da potência crítica.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.1	OBJETIVOS .....	19
1.1.1	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>19</b>
1.1.2	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>20</b>
1.2	JUSTIFICATIVA .....	20
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>22</b>
2.1	DOMÍNIOS DE INTENSIDADE .....	22
2.2	CAPACIDADE DE TRABALHO ACIMA DA VC (D'), A RESERVA ANAERÓBIA DE VELOCIDADE (RAV) E A RESERVA MÁXIMA DE VELOCIDADE (RMV) .....	23
2.2.1	<b>Capacidade de trabalho acima da VC (D') .....</b>	<b>23</b>
2.2.2	<b>Reserva Anaeróbia de Velocidade (RAV) e Reserva Máxima de Velocidade (RMV) .....</b>	<b>26</b>
2.3	CORRELAÇÃO ENTRE O D' com A RAV E A RMV .....	29
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>31</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA .....	31
3.2	PARTICIPANTES.....	31
3.3	PROCEDIMENTOS.....	32
3.3.1	<b>Delineamento experimental .....</b>	<b>32</b>
3.3.2	<b>Determinação do <math>\dot{V}O_{2max}</math> e da <math>v\dot{V}O_{2max}</math>.....</b>	<b>32</b>
3.3.3	<b>Determinação da Velocidade Máxima de <i>Sprint</i> (VMS) .....</b>	<b>33</b>
3.3.4	<b>Determinação da VC e D' .....</b>	<b>33</b>
3.3.5	<b>Determinação da RAV e RMV:.....</b>	<b>34</b>
3.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	34
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>35</b>
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>38</b>

<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>43</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>44</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Os exercícios nos domínios severo e extremo de intensidade vem se mostrando desafiadores para treinadores e pesquisadores, dado os diferentes requerimentos energéticos, neuromusculares e mecânicos para estes tipos de esforços (SPENCER; GASTIN, 2001; SANDFORD et al., 2019; SANDFORD et al., 2021). No domínio severo, o consumo de oxigênio ( $\dot{V}O_2$ ) não atinge um estado estável e segue aumentando até ser atingido o valor máximo de  $\dot{V}O_2$  ( $\dot{V}O_{2max}$ ) (BURNLEY; JONES, 2007). Já no domínio extremo, o tempo de exaustão (TE) é muito curto para permitir o atingimento do  $\dot{V}O_{2max}$  (HILL; POOLE; SMITH, 2002). Por serem domínios de intensidade com diferentes demandas fisiológicas e mecânicas, algumas abordagens vêm sendo utilizadas para compreensão do desempenho em provas que abrangem estes domínios.

Uma destas abordagens é a velocidade crítica (VC) em conjunto com a capacidade de trabalho acima da VC ( $D'$ ). A VC foi primeiramente descrita por Monod e Scherrer (1960) e posteriormente aplicada em ciclo ergômetros por Moritani et al. (1981), sendo derivada da relação hiperbólica de potência-tempo (para a corrida, velocidade-tempo). A assíntota desta relação seria uma intensidade na qual, matematicamente, poderia ser sustentada infinitamente (*i.e.*, VC), pois depende exclusivamente do metabolismo aeróbio, que é ilimitado em capacidade. Ainda, em estudos posteriores foi encontrado que a intensidade relativa à VC é a última intensidade na qual o  $\dot{V}O_2$ , a concentração de lactato sanguíneo ( $[La^-]$ ), bicarbonato de sódio ( $HCO_3^-$ ), íons de hidrogênio ( $H^+$ ), fosfocreatina (PCr) e fosfatos inorgânicos (Pi) se mantêm estáveis (CHORLEY; LAMB, 2020; VANHATALO, 2010). Acima desta intensidade (+5 a 10%), há um maior acionamento dos mecanismos relacionados a produção de energia por vias anaeróbias, gerando maior instabilidade nessas reservas energéticas e fazendo com que o  $\dot{V}O_2$  continue a aumentar até atingir o  $\dot{V}O_{2max}$ . Por demarcar estas diferenças entre respostas fisiológicas estáveis e não estáveis, a VC é considerada como limite superior do domínio pesado (BURNLEY; JONES, 2007).

Dessa forma, em intensidades acima da VC há uma capacidade finita de produção de energia, chamada de  $D'$ . O  $D'$  possui limitação em sua capacidade pois depende, principalmente dos estoques de oxigênio na musculatura, de fosfatos de alta energia e da glicólise anaeróbia, mas apesar desta limitação em capacidade, possui grande taxa de utilização (CHORLEY; LAMB, 2020; JENKINS; QUIGLEY, 1993). Apesar de, inicialmente, o  $D'$  ter sido atribuído a uma reserva anaeróbia (BULBULIAN; JEONG; MURPHY, 1996), atualmente este termo é

utilizado com cautela, visto que em estudos com hipóxia e alta altitude houve redução significativa do D' (MORITANI et al., 1981; VALLI et al., 2011).

Além disso, a taxa de utilização do D' é intensidade-dependente, de modo que quanto mais distante a intensidade do exercício está da VC, maior será a taxa de depleção do D'. Por fim, na teoria, quando o D' é completamente depletado, o indivíduo entra em exaustão. Com isso, é possível afirmar que a tolerância ao exercício no domínio severo de intensidade irá depender da interação entre a VC e o D' e, sabendo estas variáveis, é possível estimar o TE em cargas constantes através da seguinte fórmula:

$$TE = D' / (v - VC) \quad (1)$$

Onde,  $v$  é a velocidade do exercício. Com estas informações, tem-se um panorama da tolerância dos atletas em desempenhos acima da VC, ou seja, no domínio severo de intensidade.

Outra abordagem para compreender o exercício nos domínios severo e extremo, leva em conta a menor velocidade em que se atinge o  $VO_2max$  durante um teste de cargas incrementais ( $vVO_2max$ ) – sendo esta uma variável determinada, principalmente, pelo metabolismo aeróbio – e a velocidade máxima de *sprint* (VMS) – que é determinada principalmente pelas forças de reação do solo e pouco limitada pelo metabolismo. A diferença entre estas duas variáveis é chamada de reserva anaeróbia de velocidade (RAV). A RAV, portanto, nada mais é que uma amplitude de velocidades que o atleta possui acima da  $vVO_2max$  (SANDFORD; LAURSEN; BUCHHEIT, 2021).

Esta abordagem foi primeiramente descrita por Blondel e colaboradores (2001) que buscaram alternativas para justificar variações no tempo de exaustão entre indivíduos se exercitando em intensidade de exercícios próximos a  $vVO_2max$ . Em seus resultados, houve menor variação no desempenho dos participantes nas intensidades de 120% e 140% da  $vVO_2max$ , quando as velocidades foram normalizadas pelo percentual utilizado da RAV (%RAV). Com isto, mostrou-se que a RAV pode ser utilizada para estimar o TE em exercícios acima da  $vVO_2max$  (*i.e.*, domínios de intensidade do exercício severo e extremo) com uma boa precisão e menor variabilidade entre sujeitos, do que quando utilizando apenas a  $vVO_2max$ .

Neste mesmo estudo de Blondel et al. (2001), também foi proposta a reserva máxima de velocidade (RMV). Esta reserva, é a diferença entre a VMS e a VC, abrangendo, portanto, todas as velocidades do domínio severo e extremo de intensidade. Apesar do percentual utilizado da RMV (%RMV) obter correlações semelhantes do %RAV com os TE nas

intensidades de 120% e 140% da  $vVO_{2max}$  ( $r = -0,79$  versus  $-0,83$  e  $r = -0,91$  versus  $-0,94$ , respectivamente), a RMV também apresentou correlações de  $-0,82$  e  $-0,75$  com os TE nas intensidades de 90% e 100% da  $vVO_{2max}$ , respectivamente. Mesmo com correlações que, de certa forma, ajudam a explicar as variações no TE através de uma grande amplitude de intensidades (*i.e.*, 90% a 140% da  $vVO_{2max}$ ), a RMV não foi mais explorada em estudos posteriores.

A RAV, por outro lado, recebeu uma atenção considerável nos anos seguintes. Por exemplo, Sandford et al. (2018) buscaram compreender o papel da RAV na prova de 800-m em atletas de elite (800-m  $\leq$  1 min: 47.5 s). Em seus resultados, encontraram que o desempenho nesta prova foi melhor correlacionado com a VMS do que com a  $vVO_{2max}$ . Ainda, quando se olha para os atletas com VMS semelhantes, possuir valores de  $vVO_{2max}$  superiores não distinguiu alterações no desempenho nos 800-m. Em contrapartida, quando se olhou apenas para os atletas com  $vVO_{2max}$  semelhantes, aqueles com maior VMS foram os que obtiveram melhores performance nesta distância. Isso indica que, para esta população e nesta distância de corrida, a VMS é o maior determinante para a performance (*i.e.*, maior RAV), levando em consideração que todos os atletas já possuíam valores relativamente elevados de  $vVO_{2max}$  ( $\geq$  22.4 km/h).

Contudo, apesar de haver bons indicativos que estas 3 abordagens (*i.e.*, D', RAV e RMV) possam estar relacionadas com o desempenho nos domínios de intensidade severo e extremo, pouco se sabe se estas variáveis estão correlacionadas entre si. Ainda, apesar da VMS ser o limite superior das duas reservas de velocidade, não se sabe se esta variável está correlacionada com o D'. Estas correlações podem nos dar dicas sobre possíveis mecanismos fisiológicos e neuromusculares que cercam estas variáveis. Desta forma, o principal problema a ser respondido pelo presente estudo foi se existe correlação entre o D' com a RAV e a RMV.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Correlacionar as magnitudes do D' com a reserva anaeróbia de velocidade e reserva máxima de velocidade.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Correlacionar a VMS com o D', RAV e RMV; e
- Verificar, a partir da correlação, se é possível determinar quais parâmetros (aeróbios ou a VMS) foram mais determinantes para a magnitude da RAV e da RMV na amostra do presente estudo;

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O desempenho em corridas de média e longa distância, é tradicionalmente estudado a partir de alguns índices fisiológicos como o  $\dot{V}O_2\text{max}$ , a VC e a economia de corrida (EC) (DAL PUPO et al., 2011; DENADAI; ORTTIZ; MELLO, 2004; MC LAUGHLIN et al., 2000). Em corredores treinados, variáveis como o  $\dot{V}O_2\text{max}$ , possuem valores muito semelhantes e acabam não sendo capazes de diferenciar a performance neste tipo de atleta. Por isso, índices como a  $v\dot{V}O_2\text{max}$  e o TE na  $v\dot{V}O_2\text{max}$  parecem possuir maior relevância para determinação dos tempos de prova para estas populações (DENADAI; ORTTIZ; MELLO, 2004). Ainda, e principalmente nas provas de meio fundo, a  $v\dot{V}O_2\text{max}$  vem se mostrando como um dos principais determinantes do desempenho (DAL PUPO et al., 2011; DE SOUZA et al., 2011). Algumas outras abordagens como a RAV, RMV e o modelo velocidade-tempo, vem obtendo uma boa precisão na predição de desempenho em provas com duração de 2 a 6 min, tendo menor variabilidade entre sujeitos que os métodos clássicos (BLONDEL et al., 2001; SANDFORD et al., 2018; HOUSH; HOUSH; BAUGE, 1989; CHIDNOK et al., 2013; JULIO et al., 2020). Apesar destes parâmetros de corrida serem, individualmente, boas alternativas para estimativas de desempenho no domínio severo e extremo, pouco se sabe a correlação entre estes parâmetros de corrida, de modo que esta compreensão pode facilitar o entendimento desses conceitos, bem como os mecanismos que os cercam.

Além disso, com minha experiência como corredor de provas de meio fundo, sempre tive curiosidade em entender algumas questões que o presente trabalho aborda. Uma destas questões, que sempre me intrigou na prática, é compreender o papel da VMS no treinamento e nos resultados em provas. No ambiente prático, algumas situações são percebidas pelas treinadas e acabam sendo aplicadas empiricamente, como por exemplo a “divisão” entre atletas com perfil de maior resistência e atletas com perfil de maior velocidade, mas isto não é explícito, o que dificulta a difusão deste conceito. Portanto, estas ferramentas excepcionais (*i.e.*,

RAV, RMV e a relação velocidade-tempo), tanto em precisão para planejamento do treino, quanto em praticidade de aplicação, devem ser mais exploradas e levadas à um maior número de treinadores e atletas, pois grande parte ainda não as conhece ou não dá a devida importância para sua utilização.

É comum observarmos prescrições de treinos intervalados com base no tempo de provas de 1500-m, 3000-m ou 5000-m, mas sem considerar a VMS (*i.e.*, magnitude da RAV/RMV) ou o D' do atleta. Isto pode levar a grandes erros, visto que a maioria das sessões intervaladas ocorrem em intensidades próximas da  $vVO_2\text{max}$  (BUCHHEIT; LAURSREN; 2013) e temos evidências de que sessões normalizadas por um percentual da  $vVO_2\text{max}$  tendem a gerar grandes variações nos TE entre corredores (BLONDEL et al., 2001; JULIO et al., 2020). Além disso, o perfil do atleta pode determinar não só a resposta aos estímulos dentro da sessão de treino, mas determinar a relação entre as cargas (quão volumoso e o quão intenso) ao longo dos ciclos de treinamento (BELLINGER et al., 2020; SANDFORD; LAURSEN; BUCHHIT, 2021).

Por estes motivos, considero a temática de grande relevância, apesar de pouco explorada. No contexto prático, poderá auxiliar atletas e treinadores compreenderem a influência destes parâmetros para prescrição do treinamento. No contexto acadêmico, auxiliará os pesquisadores a entenderem as possíveis correlações entre a RAV, RMV e D', o que permitirá o surgimento de novas hipóteses acerca dos mecanismos responsáveis por estes parâmetros. Isto pode criar cada vez mais clareza dentro da literatura para esta temática. Portanto, acredito que este estudo será capaz de adicionar conhecimento, contribuindo para os campos acadêmico e prático.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

A presente revisão de literatura terá três tópicos principais. No primeiro tópico serão abordados os domínios de intensidades do exercício, como e por que são divididos desta maneira e quais indicadores fisiológicos demarcam seus limites inferiores e superiores. No segundo tópico, serão apresentados e discutidos os conceitos de três métricas de corrida que buscam entender o exercício nos domínios de intensidades do exercício severo e extremo. Por fim, se buscará trazer o que há na literatura que correlacione estes parâmetros.

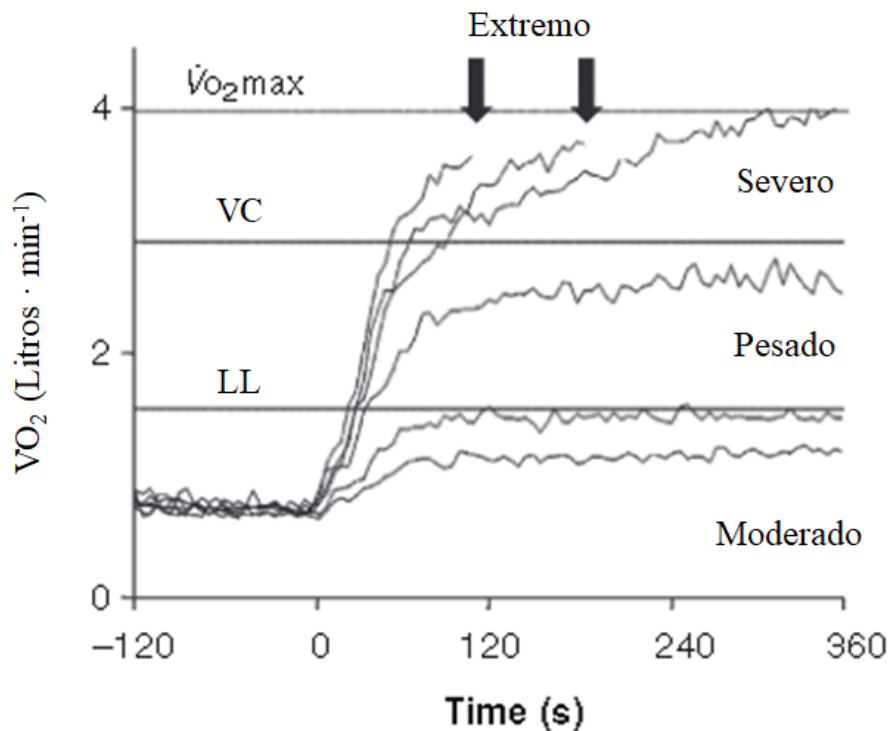
### 2.1 DOMÍNIOS DE INTENSIDADE

Tradicionalmente, dividimos os exercícios cíclicos em 3 diferentes domínios de intensidades (HILL; POOLE; SMITH, 2002). O domínio moderado inclui todas as intensidades abaixo do primeiro limiar de lactato (LL). Nesta intensidade, o  $\dot{V}O_2$  atinge um estado estável em aproximadamente 3 minutos e há pouco ou nenhum aumento na  $[La^-]$ . Já no domínio pesado, são inclusas as intensidades acima do LL, em que a  $[La^-]$  está mais elevado que no domínio anterior, mas continua estável. Além disso, o  $\dot{V}O_2$  demora mais para atingir um estado estável (10-20 min), pois há presença de um componente lento na cinética do  $\dot{V}O_2$ . No componente lento, o  $\dot{V}O_2$  aumenta lentamente, fazendo com que haja maior demora para atingir um estado estável. Nisto, há um consumo adicional de oxigênio, que acaba utilizando os estoques energéticos mais rapidamente (BURNLEY; JONES, 2007). Apesar de existirem hipóteses (POOLE et al., 1991; ROSSITER et al., 2002), os motivos para este comportamento na cinética de  $\dot{V}O_2$  permanecem sendo estudados e discutidos.

O terceiro domínio de intensidade, o domínio severo, compreende intensidades acima da VC. Nestas intensidades, o  $\dot{V}O_2$  segue aumentando até atingir o  $\dot{V}O_{2max}$ . A  $[La^-]$  também tem um comportamento parecido, em que ele segue aumentando com o tempo de exercício, sem atingir um estado estável. Ainda, é proposto por Hill, Poole e Smith (2002) um quarto domínio de intensidade, o denominado domínio extremo. Neste domínio, o limite inferior seria a intensidade mais alta que é possível atingir o  $\dot{V}O_{2max}$ . Os autores encontraram o domínio inferior sendo em esforços de até ~2 minutos. Todas estas respostas de  $\dot{V}O_2$  frente as diferentes intensidades estão ilustradas na figura 1.

A título de conhecimento do leitor, os parâmetros de corrida que serão abordados (*i.e.*, RAV, RMV e D') podem nos ajudar a compreender o exercício nos domínios severo e extremo de intensidade.

Figura 1 – Respostas do consumo de oxigênio nos diferentes domínios de intensidade.



Legenda:  $\dot{V}O_2$ : consumo de oxigênio.  $\dot{V}O_{2max}$ : consumo máximo de oxigênio. VC: velocidade crítica. LL: limiar de lactato.

Fonte: Traduzido e adaptado de Poole e Jones (2012).

## 2.2 CAPACIDADE DE TRABALHO ACIMA DA VC (D'), A RESERVA ANAERÓBIA DE VELOCIDADE (RAV) E A RESERVA MÁXIMA DE VELOCIDADE (RMV)

Esta seção é destinada para conceituar o D' e as duas reservas de corrida.

### 2.2.1 Capacidade de trabalho acima da VC (D')

Uma abordagem utilizada para compreender o exercício em intensidades acima do domínio severo é a capacidade de trabalho acima da VC (D'). A VC foi primeiramente aplicada

por Monod e Scherrer (1960) em musculaturas isoladas e posteriormente aplicada para exercícios de corpo inteiro por Moritani et al. (1981), sendo derivada da relação hiperbólica de potência-tempo (na corrida, velocidade-tempo). A assíntota desta relação é chamada de potência crítica (PC) ou VC para corrida. A VC é altamente correlacionada com o limiar anaeróbio (LA) (CHORLEY; LAMB, 2020) e, segundo o modelo matemático da relação velocidade-tempo, seria uma intensidade na qual seria possível sustentar o exercício por tempo indeterminado. Apesar disto, sabe-se que isto não ocorre na prática. Esta teoria se pauta que na VC o exercício depende, praticamente, apenas do metabolismo aeróbio como fonte de produção de energia. O metabolismo aeróbio, por sua vez, possui capacidade quase ilimitada, apesar de ser limitado em taxa de utilização (CHORLEY; LAMB, 2020).

Também, a VC é considerada a maior intensidade em que há uma estabilidade nas respostas de  $\dot{V}O_2$ ,  $[La^-]$ , bicarbonato de sódio ( $HCO_3^-$ ), íons de hidrogênio ( $H^+$ ), fosfocreatina (PCr) e fosfatos inorgânicos (Pi) (CHORLEY; LAMB, 2020; VANHATALO et al., 2010). Logo acima desta intensidade (+5 a 10%), há um maior acionamento dos mecanismos relacionados a produção de energia por vias anaeróbias, gerando maior instabilidade nessas reservas energéticas e fazendo com que o  $\dot{V}O_2$  continue a aumentar até atingir o  $\dot{V}O_{2max}$ . Por demarcar estas diferenças entre respostas fisiológicas estáveis e não estáveis, a VC é considerada como limite superior do domínio pesado (BURNLEY; JONES, 2007).

Dessa forma, em intensidades acima da VC há uma capacidade finita de produção de energia, conhecida como  $D'$ , também chamada em alguns estudos de constante de curvatura da relação velocidade-tempo ou intercepção-y da relação distância-tempo (MIURA et al., 1999; JENKINS; QUIKLEY, 1991). O  $D'$  possui limitação em sua capacidade pois depende, principalmente, dos estoques de oxigênio na musculatura, de fosfatos de alta energia e da glicólise anaeróbia. Apesar desta limitação em capacidade, pode possuir grande taxa de utilização (CHORLEY; LAMB, 2020; JENKINS; QUIGLEY, 1993).

Inicialmente, o  $D'$  foi atribuído a uma reserva anaeróbia, por possuir correlações com performance em testes que visavam estimar a capacidade anaeróbia, como, por exemplo o teste de *Wingate* (BULBULIAN; JEONG; MURPHY, 1996). Além disso, encontrou-se que o trabalho total realizado ao longo de 5 séries de 60 segundos máximos, separados por 5 minutos de intervalo foi significativamente relacionado ao  $W'$  ( $r = 0,74$ ) (JENKINS; QUIKLEY, 1991). Também, encontrou-se correlações com outras medidas fisiológicas relacionadas ao metabolismo anaeróbio (déficit de  $O_2$ , débito de  $O_2$  e pico na  $[La^-]$ ) (GREEN et al., 1994). Apesar disto, designar o  $D'$  como uma reserva anaeróbia é questionável, visto que em estudos



com hipóxia e alta altitude houve redução significativa do D' (MORITANI et al., 1981; VALLI et al., 2011).

Atualmente, sabe-se que o D' (ou W') pode sofrer alterações após algumas intervenções. Por exemplo, Denadai e Greco (2017) revisaram a literatura que avaliou os efeitos do treinamento de força em parâmetros aeróbios e anaeróbios. Como resultado, encontraram um aumento do W' e um aumento na tolerância ao exercício para intensidades acima da PC (*i.e.*, domínio severo de intensidade), porém não houve mudanças no VO<sub>2</sub>max, PC e nem na tolerância na PC. Isto está de acordo com a atual literatura, já que exercícios na intensidade da PC (*i.e.*, domínio pesado de intensidade) são caracterizados por valores estáveis de PCr, Pi e pH, não sendo utilizado o W' (VANHATALO et al., 2010).

Intervenções utilizando diferentes modelos de treino intervalado (TI) também parecem diferir nas melhorias nos parâmetros da relação distância-tempo. Por exemplo, alguns autores (GAESER; WILSON, 1988; POOLE; WARD; WHIPP, 1990) utilizaram um protocolo de TI consistindo em 10 séries de 2 minutos de exercício por 2 minutos de recuperação, em uma intensidade calculada para atingir o VO<sub>2</sub>max, 3 vezes na semana ao longo de 8 semanas. Nos dois estudos foram encontradas melhorias na PC, sem alterações no W', possivelmente por boa parte do suprimento de energia ser provido por vias aeróbias. Por outro lado, Jenkins e Quigley (1993) encontraram melhorias no W' sem melhorias na PC, realizando 5 séries de 1 minutos *all out* com 5 minutos de intervalo, 3 vezes na semana ao longo de 8 semanas. Este tipo de TI depende mais de mecanismos anaeróbios o que, possivelmente, justificaria as diferenças encontradas entre a PC e o W' nas intervenções.

A suplementação de creatina (Cr) também parece influenciar D', sem alterar a VC (MIURA et al., 1999), já que aumenta os estoques de PCr disponíveis. A partir disto, infere-se que o D' seja dependente, pelo menos em partes, do estoque disponível de PCr, sendo a suplementação de Cr relacionado a melhores desempenhos em exercícios de alta intensidade (*i.e.*, domínio severo de intensidade), tanto de modo intermitente, quanto de modo contínuo (MIURA et al., 1999; JACOBS et al., 1997; SCHÄFER et al., 2019). De fato, há um declínio contínuo nas reservas de PCr em exercícios acima da VC (JONES et al., 2008; VANHATALO et al., 2010).

Outro fator que parece ser determinante do D' (ou W') é a quantidade de glicogênio muscular disponível. Miura et al. (2000) verificaram uma redução do W' após um protocolo de depleção de glicogênio, confirmado por biópsia muscular. Além disso, houve uma redução do coeficiente respiratório (RER), indicando uma menor utilização de glicogênio e uma maior

utilização de ácidos graxos como substrato energético. Neste mesmo estudo, não houve mudança na PC após este protocolo de depleção de glicogênio.

Por fim, a taxa de utilização do D' é intensidade-dependente, de modo que quanto mais distante a intensidade do exercício está da VC, maior será a taxa de depleção do D'. Por fim, na teoria, quando o D' é completamente depletado, o indivíduo entraria em exaustão. Com isso, é possível afirmar que a tolerância ao exercício no domínio severo de intensidade irá depender da interação entre a VC e o D' e, sabendo estas variáveis, é possível estimar o TE em cargas constantes através da seguinte fórmula:

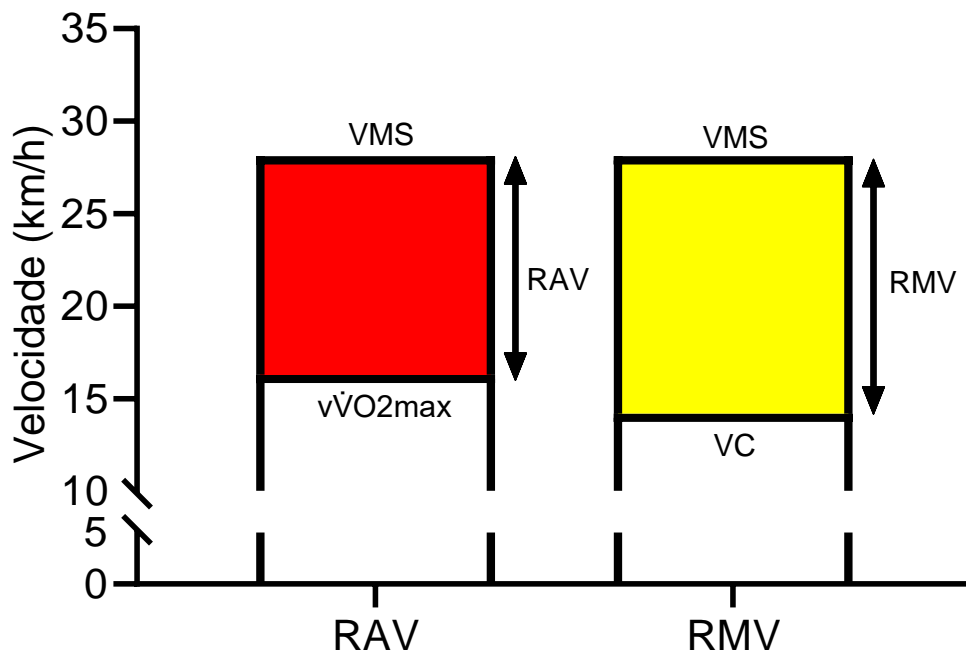
$$TE = D' / (v - VC) \quad (1)$$

Apesar de haver diferentes estratégias de *spacing* para a utilização do D' (CHIDNOK et al., 2013; DE SOUZA et al., 2016; DEKERLE et al., 2015), podemos dizer que um forte determinante para a tolerância no domínio severo irá depender da magnitude do D' do atleta (DEKERLE et al., 2015).

## 2.2.2 Reserva Anaeróbia de Velocidade (RAV) e Reserva Máxima de Velocidade (RMV)

A RAV e a RMV vêm se mostrando como alternativas para compreensão do exercício em intensidade acima da VC (BLONDEL et al., 2001; SANDFORD et al., 2018). Nestes domínios, temos fatores determinando a tolerância ao exercício que irão depender de variáveis aeróbias, anaeróbias e características neuromusculares/mecânicas (SANDFORD; LAURSEN; BUCHHIT, 2021). Por isso, uma abordagem utilizada para compreender o exercício nestes domínios é a reserva aeróbia de velocidade (RAV). A RAV é medida pela diferença da velocidade máxima de *sprint* (VMS) pela  $v\dot{V}O_2\text{max}$  (figura 2). Portanto, vemos que um dos limites é uma variável predominantemente neuromuscular e limitada pelas forças de reação do solo, sendo muito pouco limitada pelo metabolismo energético, a VMS. O outro limite é uma variável de potência aeróbia e dependente, em maior parte, do metabolismo aeróbio, a  $v\dot{V}O_2\text{max}$  (SANDFORD; LAURSEN; BUCHHIT, 2021).

Figura 2- Reservas de velocidade e seus respectivos limites inferiores e superiores.



Legenda: RAV: reserva anaeróbia de velocidade. RMV: reserva máxima de velocidade. VMS: velocidade máxima de Sprint.  $v\dot{V}O_{2max}$ : velocidade relacionada ao  $\dot{V}O_{2max}$ . VC: velocidade crítica.

Fonte: elaborado pelo autor.

Este conceito foi primeiramente proposto por Blondel e colaboradores (2001) que buscaram entender a variabilidade entre sujeitos em exercícios próximos a  $v\dot{V}O_{2max}$ . O raciocínio para chegar na RAV, partiu de um pressuposto da VC. A seguinte equação pode ser utilizada para determinar o TE usando o modelo da VC, baseado no modelo de Ettema (1996) para eventos de corrida:

$$TE = (D' / v - VC) + (D' / VC - VMS) \quad (2)$$

Nesta equação, vemos que o TE não depende apenas da  $v\dot{V}O_{2max}$ , mas também do  $D'$ , da diferença entre a velocidade solicitada no exercício e da VC ( $v - VC$ ) e da diferença entre a VC e a VMS ( $VC - VMS$ ). Com este pressuposto, os autores buscaram ver qual seria a variação no TE entre sujeitos, em diferentes intensidades (90%, 100%, 120% e 140% da  $v\dot{V}O_{2max}$ ) quando expressas em uma porcentagem relativa da diferença entre VC e VMS (chamada de

reserva máxima de velocidade (RMV)), da VC e da  $v\text{VO}_2\text{max}$  (chamada de reserva aeróbia de velocidade (RAeV)) e da  $v\text{VO}_2\text{max}$  e da VMS (chamada de RAV). Em seus resultados destaca-se a correlação significativa do TE em todas as intensidades testadas (90%, 100%, 120% e 140% da  $v\text{VO}_2\text{max}$ ) com o percentual utilizado da RMV (%RMV) ( $r = -0.82, -0.75, -0.79$  e  $-0.91$ , respectivamente). Já o percentual utilizado da RAV (%RAV) teve correlações negativas com o TE em intensidades acima da  $v\text{VO}_2\text{max}$  (120% e 140%), sendo  $r = -0.83$  e  $r = -0.94$ , respectivamente.

Apesar da RMV, que está ilustrada na figura 2, apresentar correlações através de várias intensidades (90-140% da  $v\text{VO}_2\text{max}$ ), esta acabou não sendo mais analisada em estudos posteriores, porém pode representar uma boa alternativa para compreensão do exercício no domínio severo, visto que abrange todas as velocidades desta zona de exercício. No que diz respeito a RAV, outros estudos buscaram avaliar correlações com o desempenho em intensidades acima da VC. Brundle, Hoyt e Weyand (2003) verificaram que a proporção relativa da RAV usada em esforços *all out* pode prever o TE em esforços de alguns segundos até alguns minutos.

Sandford et al. (2018) encontraram, em atletas de elite (800-m = <1 min : 47.5 seg), que o desempenho na prova dos 800-m foi melhor correlacionado com a VMS do que com a  $v\text{VO}_2\text{max}$ . Atletas com a mesma VMS e  $v\text{VO}_2\text{max}$  maiores não foram correlacionados com desempenhos melhores nos 800-m, indicando que para esta população a VMS é o maior determinante para a performance (*i.e.*, maior RAV), levando em consideração que todos os sujeitos do nível desta amostra possuíam valores altos de  $v\text{VO}_2\text{max}$  quando comparados a sujeitos menos treinados. Portanto, vemos que apenas a VMS não é suficiente para transferência no desempenho dos 800-m, sendo necessário um nível mínimo de aptidão aeróbia.

Além disso, a RAV pode ter ótimas aplicações práticas para prescrição de treino acima da  $v\text{VO}_2\text{max}$  (BUCHHEIT; LAURSEN, 2013). Podemos considerar dois atletas com mesma  $v\text{VO}_2\text{max}$ , porém com VMS diferentes e um treinamento prescrito com base na  $v\text{VO}_2\text{max}$ . Mesmo numa mesma intensidade relativa a  $v\text{VO}_2\text{max}$ , os dois atletas irão estar em demandas fisiológicas diferentes, pois estão utilizando proporções diferentes da RAV. Também se sugere, a partir da RAV, uma possível divisão dos atletas em diferentes perfis de locomoção (SANDFORD; LAURSEN; BUCHHIT, 2021):

**Perfil de velocidade:** são aqueles que possuem uma  $v\text{VO}_2\text{max}$  baixa, uma VMS alta e, em consequência, uma RAV maior.

**Perfil de resistência:** possuem uma  $v\dot{V}O_2\text{max}$  alta, uma VMS baixa e em consequência, uma RAV menor.

**Perfil híbrido:** possuem  $v\dot{V}O_2\text{max}$ , VMS e RAV moderadas.

É importante ressaltar que atletas com perfis distintos podem disputar a mesma prova em alto nível. Portanto, vemos que estes perfis podem nortear os treinadores a fazerem uma prescrição mais precisa do treinamento, pois somente com base nos tempos de prova e testes, sem lançar um olhar a “flexibilidade” do atleta em termos de velocidade, pode-se cometer erros. Por exemplo, 2 atletas com tempos similares em provas e perfis distintos, não irão se adaptar igualmente aos mesmos estímulos. Isso se aplica tanto dentro de uma sessão de treino, quanto na temporada como um todo.

Uma das hipóteses para esta diferenciação no treinamento, está na tipologia das fibras musculares. Bellinger (2020) demonstrou que atletas com maiores quantidades de carnosina (*i.e.*, predominância de fibras tipo IIa e IIb) tem maior fatigabilidade, maior tempo para recuperação, adaptando-se melhor a estímulos de menor volume e maior frequência de contração. Já atletas com menores concentrações de carnosina (*i.e.*, predominância de fibras de tipo I), se adaptam melhor a estímulos de maior volume e menor frequência de contração, tendo menor fatigabilidade e tempo de recuperação mais curto. Portanto, vemos que atletas do perfil de resistência apresentam maior tolerância a sobrecarga (possibilitando sessões duplas no dia) e melhor tolerância à volumes altos (SANDFORD; LAURSEN; BUCHHIT, 2021). Por outro lado, se formos aplicar o mesmo treinamento para um atleta com perfil de velocidade, ele poderia não ter adaptações adequadas e atingir o estado de *overtraining* (BELLINGER et al., 2020).

### 2.3 CORRELAÇÃO ENTRE O D' COM A RAV E A RMV

Após entender a importância tanto da RAV quanto da VC e do D' para compreendermos o exercício realizado nos domínios severo e extremo, fica a pergunta sobre como eles se relacionam e interagem. Neste sentido, Kramer e colaboradores (2021) obtiveram as seguintes variáveis, a partir do teste de 3-min *all-out* (3MT): VC, D' e velocidade máxima do teste de 3 minutos *all-out* ( $VM_{3\text{mi}}$ ). Com isso, o autor propõe a chamada reserva funcional de velocidade

(RFV), que seria a diferença entre a  $VM_{3mt}$  e a VC, similar a RMV, buscando correlacioná-la com o  $D'$ . Como resultado, os autores encontraram uma correlação significativa entre as 2 variáveis ( $r = 0,77$ ;  $p < 0,05$ ). Para os autores, estes resultados são esperados, visto que os limites inferiores da RFV demarcada o início do domínio severo, intensidade na qual o  $D'$  começa a ser depletado. Além disso, os autores também correlacionaram o  $D'$  com a RAV, sendo a VMS obtida através de fotocélulas posicionadas nas distâncias de 0m, 10m e 40m, e a  $vVO_2max$  obtida através de um protocolo incremental de rampa. Foi encontrada uma correlação significativa entre a RAV e o  $D'$  ( $r = 0,66$ ;  $p < 0,05$ ).

Dalamitros et al. (2015) também encontraram, em nadadores, uma correlação significativa ( $r = 0,83$ ) entre a RAV e o  $D'$  em diferentes grupos (controle e experimental), pré- e pós-intervenção de 8 semanas de treinamento aeróbio, com  $D'$  sendo calculado tanto com 2 (50-m e 400-m) quanto com 3 desempenhos (50-m, 100-m e 400-m). Apesar destes achados, o limite superior da RAV foi calculado com a velocidade média do 50-m, que apresenta uma dependência relativamente grande de fatores metabólicos (tempo de ~30 seg na amostra do estudo), como observado por Spencer e Gustin (2000). Estes autores reportaram uma contribuição de ~29% do metabolismo aeróbio no desempenho de 200-m de corrida (tempo de ~22 seg). Por outro lado, a velocidade máxima (*i.e.*, ~2 seg) originalmente proposta para determinar a RAV é proveniente principalmente de fatores neuromusculares e mecânicos, sendo limitada muito pouco pelo metabolismo energético (SANDFORD et al., 2021).

Com isso, vemos que a literatura carece de informações a respeito da correlação entre a RAV, RMV e o  $D'$ , o que pode dificultar a compreensão da relação entre estas variáveis e quais os mecanismos em comum entre estas abordagens, principalmente em intensidades acima da VC (*i.e.*, domínio severo e extremo). Apesar da RAV e a RMV terem origem nos conceitos da VC (BLONDEL et al., 2001), as interações entre estes parâmetros de corrida ainda não estão claras e buscar repostas neste sentido pode auxiliar a compreender o exercício nos domínios severo e extremo de intensidade.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

O presente estudo caracteriza-se como quantitativo de natureza aplicada, pois tem como objetivo correlacionar e comparar os valores expressos em números das variáveis dependentes obtidas, gerando conhecimento específico dentro da temática (PRADANOV; FREITAS, 2013). Além disso, é uma pesquisa descritiva, havendo coleta de dados e análise correlacional dos dados obtidos. Ainda, a presente pesquisa possui um delineamento transversal, pois houve somente uma coleta de dados, sem acompanhamentos posteriores (PRADANOV; FREITAS, 2013).

#### 3.2 PARTICIPANTES

Foram classificados como elegíveis para o estudo os participantes que: (i) treinavam corrida de forma sistematizada, no mínimo, há 6 meses, (ii) possuíam entre 18 e 50 anos e (iii) realizavam, pelo menos, 30km de corrida por semana. Foram excluídos participantes que tiveram lesão 2 meses antes ou durante a coleta de dados.

Portanto, participaram deste estudo 14 homens ( $32,8 \pm 7,7$  anos;  $73,0 \pm 8,0$  kg;  $1,70 \pm 0,10$  m e IMC de  $24,7 \pm 3,3$  kg/m<sup>2</sup>) e 2 mulheres ( $33,5 \pm 16,3$  anos;  $52,3 \pm 0,4$  kg;  $1,60 \pm 0,10$  m e IMC de  $21,0 \pm 1,4$  kg/m<sup>2</sup>) treinados em corrida (volume médio de treinamento:  $51,8 \pm 18,7$  km/semana e com  $4,3 \pm 2,5$  anos de treinamento em corrida). Foi recomendado que os participantes não fizessem exercícios vigorosos ou com volume elevados nas 48 horas anteriores das visitas, bem como manter os hábitos alimentares regulares durante o período de avaliações. Ainda, os participantes que consumiram cafeína no dia da primeira visita foram orientados a manter o padrão de consumo ao longo das demais avaliações. Para seleção dos participantes, foi utilizado o método não probabilístico intencional.

### 3.3 PROCEDIMENTOS

#### 3.3.1 Delineamento experimental

Foram realizadas 4 visitas com o intervalo de, pelo menos, 24 horas. As visitas 1, 2 e 3 foram realizadas em uma pista *outdoor* sintética de 400-m, em que foram feitos testes de desempenho nas distâncias de 800-m, 1500-m e 3000-m, respectivamente. Antes de cada uma das distâncias, os participantes fizeram um aquecimento que consistiu em 10-15 minutos de corrida leve, 5 minutos de alongamentos dinâmicos/técnicas de corrida e 1 repetição submáxima de 40-m. Na sequência, 1 *sprint* máximo de 40-m foi executado e o tempo foi registrado com fotocélulas eletrônicas (Microgate, Itália). Após o *sprint* de 40-m, foi dado um intervalo de ~5 minutos para o início dos testes de desempenho (*i.e.*, 800-m, 1500-m ou 3000-m, respectivamente nas visitas 1, 2 e 3). Os desempenhos nestas distâncias foram registrados através de cronômetro manual. A temperatura e umidade relativa do ar média das visitas 1, 2 e 3 foram de:  $19,8 \pm 1,9$  °C e  $70,0 \pm 11,2$  %,  $21,8 \pm 2,4$  °C e  $72,3 \pm 7,0$  % e  $21,5 \pm 2,5$  °C e  $69,1 \pm 9,1$  %, respectivamente.

A 4ª visita foi feita em laboratório, em que os participantes realizaram um teste incremental em esteira rolante (Super ATL, Imbramed, Porto Alegre, Brasil). Foi feito um aquecimento de 3 minutos na velocidade de 7 ou 8 km/h, então, iniciando em 8 ou 9 km/h, com incrementos de 1 km/h a cada minuto até a exaustão voluntária máxima. O ambiente foi climatizado com temperatura de 20 °C e umidade de 54%. Durante todos os testes, os sujeitos foram encorajados verbalmente para manter o máximo esforço. Todas as avaliações foram conduzidas em um intervalo de até 6 semanas, no mesmo período do ano (outubro e novembro) e sendo, individualmente, realizadas no mesmo turno do dia (manhã ou tarde).

#### 3.3.2 Determinação do $\dot{V}O_2\text{max}$ e da $v\dot{V}O_2\text{max}$

Durante o teste incremental, as variáveis cardiorrespiratórias (*i.e.*,  $\dot{V}O_2$ , produção de gás carbônico [ $\dot{V}CO_2$ ] e frequência cardíaca [FC]) foram mensuradas através de um analisador de gases respiração a respiração (Quark PFTergo, Cosmed, Roma, Itália). Antes de cada teste, o equipamento foi calibrado usando ar ambiente e com um gás de concentrações conhecidas de  $O_2$  (16%) e  $CO_2$  (5.0%), de acordo com as instruções do fabricante. Ainda, o fluxo ventilatório foi calibrado utilizando uma seringa de 3 litros (Quark PFTergo, Cosmed, Roma, Itália). O  $\dot{V}O_2$



foi mensurado respiração a respiração e posteriormente normalizado para médias de 20 segundos. A maior média de 20 segundos foi definida como o  $VO_2\text{max}$ . A  $vVO_2\text{max}$  foi determinado pela primeira velocidade em que o indivíduo atingiu o  $VO_2\text{max}$ . Foi considerado que o teste foi até a exaustão se cumpriu pelo menos 2 dos seguintes critérios: (i) FC máxima (FCmax) > 90% da FCmax predita pela idade ( $220 - \text{idade}$ ); (ii) percepção subjetiva de esforço (PSE) acima de 18 na escala de 6 – 20; (iii) razão de trocas gasosas (RER) > 1.1; e (iv) um aumento no  $VO_2$  não maior que 2.1 ml/kg/min, apesar do aumento de carga (HOWLEY et al., 1995).

### 3.3.3 Determinação da Velocidade Máxima de *Sprint* (VMS)

Durante o *sprint* máximo de 40-m, os pares de fotocélulas eletrônicas (Microgate, Itália) foram posicionada nas distâncias de 0-m, 20-m, 30-m e 40-m, para obtenção da cronometragem. A VMS foi obtida a partir do cálculo da melhor parcial entre estas distâncias (0-20 m, 20-30 m e 30-40 m).

### 3.3.4 Determinação da VC e D'

Para determinação da VC e D' foram utilizados os tempos dos testes de desempenho nas distâncias de 800-m, 1500-m e 3000-m (DE LUCAS et al., 2012), sendo que a faixa de tempo em ocorrem as referidas distancias estão dentro da recomendada para determinação da VC e D' (*i.e.*, 2 a 15 min) (CHORLEY; LAMB, 2020). Para o cálculo, foram utilizados 2 modelos de regressão linear para estimativa da VC e do D':

- Distância (D) x tempo de performance (T) linear:

$$D = (VC * T) + D' \quad (2)$$

- Velocidade (V) x 1/tempo de performance (T) linear:

$$V = (D'/T) + VC \quad (3)$$

Foi selecionado a VC e o D' derivados do melhor ajuste entre os 2 modelos a partir do maior R<sup>2</sup> obtido de cada equação.

### 3.3.5 Determinação da RAV e RMV:

Para determinação da RAV e RMV, foram utilizadas as equações 4 e 5, respectivamente.

$$RAV = VMS - vVO_{2max} \quad (4)$$

$$RMV = VMS - VC \quad (5)$$

## 3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todos os dados descritivos são apresentados como média  $\pm$  desvio padrão (DP) e os parâmetros estatísticos como ponto médio estimado com intervalos de confiança (IC) de 95%. As correlações foram obtidas utilizando o teste de correlação de Pearson. A magnitude das correlações foram interpretadas adotando os seguintes tamanhos de efeito: trivial:  $< 0.10$ , pequeno  $\geq 0.11$  e  $< 0.30$ , moderado  $\geq 0.31$  e  $< 0.50$ , grande  $\geq 0.51$  e  $< 0.70$ , muito grande  $\geq 0.71$  e  $< 0.90$ , quase perfeito  $\geq 0.91$  e perfeita  $\leq 1.0$  (HOPKINS et al., 2009). O nível de significância estatística foi de  $p < 0,05$ . Todas as análises foram realizadas no *software* GraphPad Prism 9.0.0 (GraphPad Software, La Jolla, CA, EUA).

#### 4 RESULTADOS

Os resultados descritivos antropométricos e de desempenho dos participantes do estudo estão apresentados na Tabela 1.

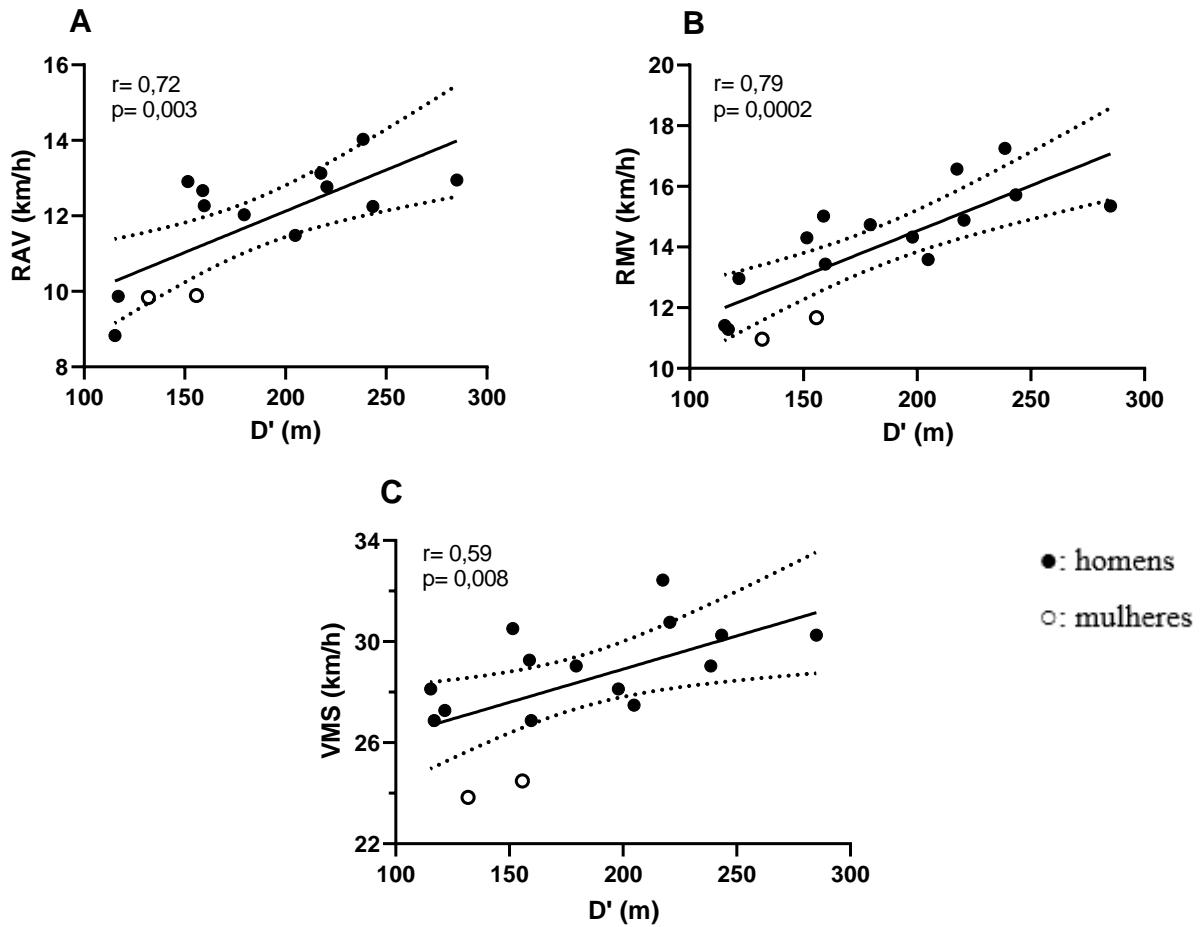
Tabela 1- Variáveis de caracterização e de desempenho dos participantes do estudo (n = 16).

<b>Variável</b>	<b>Média</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>
Idade (anos)	32,9 (22 – 45)	8,3	25,3
Massa Corporal (kg)	70,0 (52,0 – 83,7)	10,5	15,0
Altura (m)	1,70 (1,54 – 1,84)	0,1	4,7
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	24,1 (18,9 – 30,0)	3,3	13,6
VO <sub>2</sub> max (mL/kg/min) (n = 14)	57,1 (50,0 – 64,5)	4,3	7,5
Tempo 40-m (seg)	5,94 (5,45 – 7,04)	0,46	7,7
Tempo 800-m (seg)	162,5 (133 – 192)	19,5	12,0
Tempo 1500-m (seg)	335,4 (279 – 375)	41,8	12,4
Tempo 3000-m (seg)	725,8 (622 – 847)	89,7	12,3
VMS (km/h)	28,4 (23,8 – 32,4)	2,2	8
vVO <sub>2</sub> max (km/h) (n = 14)	16,7 (14,0 - 19,3)	1,7	10,1
VC (km/h)	14,4 (11,8 – 16,7)	1,6	9,4
D' (m)	181,1 (115,4 – 285,0)	50,7	28
RAV (km/h) (n = 14)	11,7 (8,8 – 14)	1,5	13,2
RMV (km/h)	13,9 (11 – 17,3)	1,9	13,6

Legenda: IMC: Índice de massa corporal; VO<sub>2</sub>max: consumo máximo de oxigênio; vVO<sub>2</sub>max: velocidade relacionada ao VO<sub>2</sub>max; VMS: velocidade máxima de *sprint*; VC: velocidade crítica; D': capacidade de trabalho acima da VC; RAV: reserva anaeróbia de velocidade; RMV: reserva máxima de velocidade.

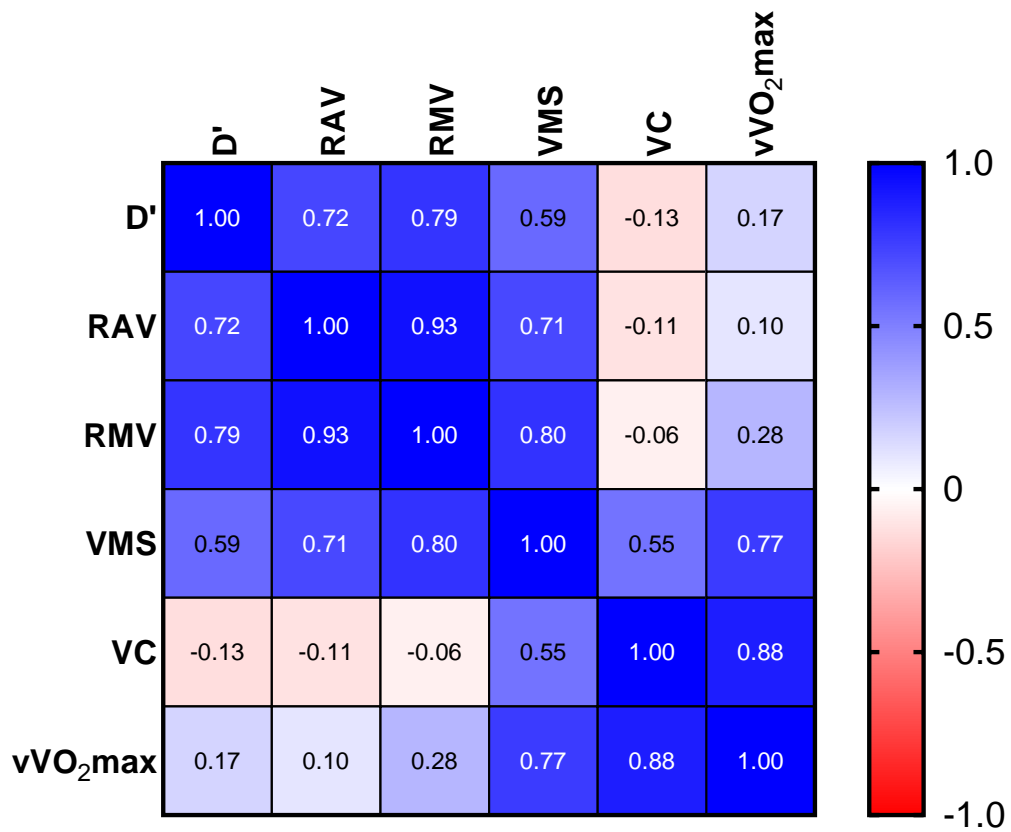
Uma correlação positiva muito grande ( $r = 0,72$  [intervalo de confiança de 95% = 0,31 - 0,90];  $p < 0,01$ ) foi encontrada entre o D' e a RAV (Figura 3, painel A), bem como uma correlação positiva muito grande ( $r = 0,79$  [0,48 - 0,92;  $p < 0,001$ ]) foi encontrada entre o D' e a RMV (Figura 3, painel B). Foi encontrada uma correlação positiva moderada ( $r = 0,58$  [0,12- 0,83];  $p < 0,01$ ) entre a VMS e o D' (Figura 3, painel C). A Figura 4 apresenta as correlações entre todas as variáveis.

Figura 3- Gráficos de dispersão e correlação entre as reservas de velocidade, VMS e o D'.



Legenda: Painel A: correlação entre RAV e D'. Painel B: correlação entre RMV e D'. Painel C: correlação entre VMS e D'. RAV: reserva anaeróbia de velocidade. RMV: reserva máxima de velocidade. D': capacidade de trabalho acima da velocidade crítica. VMS: velocidade máxima de *sprint*. A linha sólida representa a linha de tendência. As linhas tracejadas representam o intervalo de confiança superior e inferior (95%).

Figura 4- Matriz de correlação entre todas as variáveis analisadas no estudo.



Legenda: RAV: reserva anaeróbia de velocidade. RMV: reserva máxima de velocidade. D': capacidade de trabalho acima da velocidade crítica. VMS: velocidade máxima de *sprint*. VC: velocidade crítica. vVO<sub>2</sub>max: velocidade relacionada ao VO<sub>2</sub>max.

## 5 DISCUSSÃO

O principal objetivo deste estudo foi analisar as correlações entre as reservas de velocidade (*i.e.*, RAV e RMV) e o parâmetro de reserva (*i.e.*, D') obtido por meio da modelagem da VC. Dentre os principais achados deste estudo destacam-se: (i) uma correlação positiva muito grande do D' com a RAV ( $r = 0,72$  [0,31 - 0,90];  $p < 0,01$ ) e com a RMV ( $r = 0,79$  [0,48 - 0,92];  $p < 0,001$ ) e (ii) uma correlação positiva moderada ( $r = 0,58$  [0,12 - 0,83];  $p < 0,01$ ) entre a VMS e o D'. Também, a correlação positiva existente entre a RAV e a RMV com a VMS ( $r = 0,71$  [0,29 - 0,90];  $p < 0,01$  e  $r = 0,80$  [0,50 - 0,92];  $p < 0,001$ , respectivamente) indica que as magnitudes das reservas foram mais influenciadas pela velocidade máxima de *sprint* do que pelo parâmetro aeróbio de cada reserva (*i.e.*, VC ou  $v\text{VO}_2\text{max}$ ).

O presente trabalho foi o primeiro a verificar as correlações entre a RAV/RMV e o D' em uma amostra de corredores treinados. Estes achados estão de acordo com os poucos estudos que buscaram correlacionar estes parâmetros de corrida. Por exemplo, Kramer et al. (2020) encontraram uma correlação significativa entre o D' e a RAV ( $r = 0,66$ ), em 32 sujeitos fisicamente ativos. Ainda, neste mesmo estudo, os autores propuseram a chamada reserva funcional de velocidade (RFV), que foi definida como a diferença entre a velocidade máxima do teste de 3 minutos *all-out* ( $\text{VM}_{3\text{mt}}$ ) e a VC, também obtida a partir do teste 3 minutos *all-out*. Esta reserva, semelhante a RMV, teve uma correlação de  $r = 0,77$  com o D'. Estes achados estão de acordo com o presente estudo, mesmo sendo uma amostra com diferentes características (*i.e.*, corredores treinados x sujeitos fisicamente ativos) e protocolos diferentes de identificação da VC, do D' e da VMS.

Dalamitros et al. (2015) também encontraram, em nadadores, uma correlação significativa ( $r = 0,83$ ) entre a RAV e o D' em diferentes grupos (controle e experimental), pré- e pós-intervenção de 8 semanas de treinamento aeróbio, com D' sendo calculado tanto com 2 (50-m e 400-m) quanto com 3 desempenhos (50-m, 100-m e 400-m). Apesar destes achados, o limite superior da RAV foi calculado com a velocidade média do 50-m, que apresenta uma dependência relativamente grande de fatores metabólicos (tempo de  $\sim 30$  sseg na amostra do estudo), como observado por SPENCER e GASTIN (2000). Estes autores reportaram uma contribuição de  $\sim 29\%$  do metabolismo aeróbio no desempenho de 200-m de corrida (tempo de  $\sim 22$  seg). Por outro lado, a velocidade máxima (*i.e.*,  $\sim 2$  seg) originalmente proposta para determinar a RAV é proveniente principalmente de fatores neuromusculares e mecânicos, sendo limitada muito pouco pelo metabolismo energético (SANDFORD et al., 2021).

Portanto, para entendermos essa relação entre o D' e a RAV/RMV, encontrada em estudos anteriores e confirmadas pelo presente trabalho, alguns mecanismos que cercam estes parâmetros de corrida podem ser discutidos. Originalmente, o D' foi definido como uma capacidade anaeróbia de trabalho, tendo diversos estudos investigando esta variável no início dos anos 90 (HOUSH et al., 1990; JENKINS; QUIKLEY, 1991; GREEN et al., 1994). Esses estudos de correlação buscaram validar o D' baseado em parâmetros anaeróbios, como a performance do *Wingate* (BULBULIAN; JEONG; MURPHY, 1996) e outras medidas fisiológicas (déficit de O<sub>2</sub>, débito de O<sub>2</sub> e pico de [La<sup>-</sup>]) (GREEN et al., 1994). Bulbulian et al., (1996), compararam os índices anaeróbios proveniente do *Wingate* e da PC em homens e mulheres. Nesse estudo, eles assumiram a capacidade anaeróbia no teste *Wingate* como a média de trabalho dos 30 segundos. Eles encontraram uma correlação significativa entre a esta capacidade anaeróbia e o W' ( $r = 0,41$ ;  $p = 0,002$ ) quando os dois não foram ajustados para a massa corporal.

Outros estudos têm atribuído o D' à uma reserva finita intramuscular de energia, dependente de adenosina trifosfato (ATP), creatina fosfato, glicogênio muscular e O<sub>2</sub> armazenado, sendo possivelmente relacionada com uma capacidade anaeróbia, apesar de não ser completamente anaeróbio (MORITANI et al., 1981; VALLI et al., 2011; BISHOP; JENKINS, 1996). Também, tem sido proposto que o D' pode refletir a tolerância no domínio severo, já que quanto mais nos exercitamos acima da VC, maior será a taxa de utilização do D' (CHORLEY; LAMB, 2020) e a exaustão está associada ao esgotamento desta reserva (*i.e.*, D'). Com isso, pode-se dizer que o D', em conjunto com a VC, nos dá uma boa estimativa da tolerância em intensidades que o sistema anaeróbio começa a ser mais requisitado (DENADAI; GRECO, 2017).

Nesse sentido, Copp et al. (2010) verificaram, em modelo animal, o fluxo sanguíneo de membros de ratos quando se exercitavam em intensidades acima e abaixo da VC e encontraram que o fluxo foi maior nas intensidades acima da VC, onde o D' é necessário para sustentação do exercício. Interessantemente, esse aumento do fluxo sanguíneo foi destinado principalmente para fibras do tipo IIb/d/x. Ainda, o percentual de aumento do fluxo sanguíneo dos ratos da intensidade abaixo da VC para intensidade acima da VC foi positivamente correlacionado com o percentual de fibras do tipo IIb/d/x ( $r = 0,42$ ). Estes achados, em conjunto, dão suporte a ideia de que acima da VC há recrutamento de mais fibras musculares (indicado pelo aumento no fluxo sanguíneo), sendo este maior recrutamento proveniente, principalmente, de fibras predominantemente glicolíticas.

O maior recrutamento de fibras glicolíticas acima da VC observado por Copp et al. (2010) podem ter ligação com o fenômeno do componente lento do  $\dot{V}O_2$ , visto que foi observado maior magnitude de CL em indivíduos com  $D'$  maior (CHORLEY; LAMB, 2020; BURNLEY; JONES, 2007). Sabe-se que o componente lento reflete uma ineficiência metabólica, e dentre os diversos mecanismos estudados para justificar esta ineficiência, um deles se dá pelo maior recrutamento de fibras musculares do tipo II (BARSTOW et al., 1996; PRINGLE et al., 2003). Estes pressupostos teóricos, em conjunto, podem nos dar indicativos que a tipologia de fibras possa influenciar de alguma forma o  $D'$ .

Ao mesmo tempo, hipotetiza-se que atletas com maior RAV/RMV possuam maior quantidade de fibras rápidas do que atletas com menor RAV/RMV, quando olhamos para grupos com o limite inferior dessas reservas semelhantes (*i.e.*, maior RAV/RMV devido à maior VMS) (SANDFORD, 2018; SANDFORD; LAURSEN; BUCHHEIT, 2021). Essa hipótese está de acordo com estudos que encontraram maior tipologia de fibras rápidas em atletas de modalidades que exigem maiores picos de potência/velocidade e capacidade glicolítica (LIEVENS et al., 2021; ROSS; LEVERITT; RICK, 2001).

Portanto, a tipologia de fibras poderia explicar, pelo menos em partes, as correlações encontradas entre o  $D'$  e a RAV e RMV, além da correlação entre o  $D'$  e a VMS, no presente estudo. Apesar disto, Vanhatalo et al. (2016) a partir de uma amostra de 11 homens, reportaram uma correlação não significativa ( $r = 0,51$ ) entre as fibras tipo IIx com o  $W'$ , mesmo este tipo de fibra sendo correlacionado negativamente com a PC ( $r = -0,76$ ). Da mesma forma, Mitchell et al. (2018) não encontraram correlação entre o  $W'$  e diversas variáveis musculares (tipo de fibra, área de secção transversa, densidade capilar e contato de capilares nos 2 tipos de fibras), avaliando triatletas e ciclistas treinados.

De meu conhecimento, estes são os únicos estudos que buscaram correlacionar estas variáveis (*i.e.*,  $W'$  e variáveis de fibras musculares), sendo ainda uma hipótese que pode ser testada em futuros estudos com diferentes populações. Ainda, possivelmente este tipo de análise possui mais sentido quando olhamos para atletas, visto que estes estão sujeitos a menores alterações fisiológicas e morfológicas provenientes do treinamento, já que possuem adaptações mais bem definidas.

Atualmente, sabe-se que o  $D'$  (ou  $W'$ ) pode sofrer alterações após algumas intervenções. Por exemplo, Denadai e Greco (2017) revisaram a literatura que avaliou os efeitos do treinamento de força em parâmetros aeróbios e anaeróbios. Como resultado, encontraram um aumento do  $W'$  e um aumento na tolerância ao exercício para intensidades acima da PC



(*i.e.*, domínio severo de intensidade), porém não houve mudanças no  $\text{VO}_2\text{max}$ , PC e nem na tolerância na PC. Isto está de acordo com a atual literatura, já que exercícios na intensidade da PC (*i.e.*, domínio pesado de intensidade) são caracterizados por valores estáveis de PCr, Pi e pH, não sendo utilizado o  $W'$  (VANHATALO et al., 2010).

Além disso, o treinamento de força parece melhorar o tempo de *sprint*, sem alterações em parâmetros aeróbios (MIKKOLA et al., 2007; RAMÍREZ-CAMPILLO et al., 2014). Dessa forma, com maior VMS e com os parâmetros aeróbios não alterados, irá refletir em uma RAV/RMV maior. Em suma, estas adaptações neuromusculares parecem conter mecanismos em comum que justificam mudanças tanto no  $D'$  quanto na RAV/RMV.

A suplementação de creatina (Cr) também parece influenciar  $D'$ , sem alterar a VC (MIURA et al., 1999), já que aumenta os estoques de PCr disponíveis. A partir disto, infere-se que o  $D'$  seja dependente, pelo menos em partes, do estoque disponível de PCr, sendo a suplementação de Cr relacionado a melhores desempenhos em exercícios de alta intensidade (*i.e.*, domínio severo de intensidade), tanto de modo intermitente, quanto de modo contínuo (MIURA et al., 1999; JACOBS et al., 1997; SCHÄFER et al., 2019). De fato, há um declínio contínuo nas reservas de PCr em exercícios acima da VC (JONES et al., 2008; VANHATALO et al., 2010). Ainda, estudos encontraram aumentos significativos na força (NISSEN e SHARP, 2003), potência e *sprint* (IZQUIERDO et al., 2002) após a suplementação de Cr. Apesar deste corpo de evidências, não se sabe o papel da suplementação/estoques de Cr na RAV e na RMV, sendo ainda um campo a ser investigado.

Outro fator que parece ser determinante do  $D'$  (ou  $W'$ ) é a quantidade de glicogênio muscular disponível. Miura et al. (2000) verificaram, uma redução do  $W'$  após um protocolo de depleção de glicogênio, confirmado por biópsia muscular. Além disso, houve uma redução da RER, indicando uma menor utilização de glicogênio e uma maior utilização de ácidos graxos como substrato energético. Neste mesmo estudo, não houve mudança na PC após este protocolo de depleção de glicogênio. Portanto, é muito pouco provável que a depleção de glicogênio afete a RMV, visto que esta condição não parece afetar o limite inferior desta reserva (*i.e.*, VC) e, dado que VMS é muito pouca limitada pelo metabolismo, é improvável que haja alterações no limite superior (*i.e.*, VMS). Ao mesmo tempo, é possível que a  $v\text{VO}_2\text{max}$ , que representa o limite inferior da RAV, possa sofrer algum tipo de alteração com a depleção do glicogênio, visto que este parâmetro aeróbio está em uma intensidade acima da VC e, portanto, pode ser influenciada pelo  $D'$  (DENADAI E GRECCO, 2017). Apesar disto, estas hipóteses carecem de confirmação experimental.

Algumas limitações podem ser citadas neste estudo. Quando olhamos para a amostra, apesar de ser composta de atletas de *endurance*, é bastante heterogênea em termos de especialidade, visto que possui especialistas em 800m e 1500m (n = 3), 5 e 10 km (n = 9) e maratonas/ultramaratonas (n = 4). Por esta variedade, a maior parte dos sujeitos não possuía familiaridade com as avaliações de desempenho realizadas para modelagem da VC e do D', principalmente nas distâncias de 800-m e 1500-m, que, apesar de serem consideradas como provas de *endurance*, são realizadas em intensidades acima das quais os sujeitos estão habituados a treinar e competir. É possível que, em uma segunda testagem na mesma distância, veríamos um efeito de familiarização nos desempenhos. Ainda, as diferenças de idade (22 a 45 anos) contribuíram para heterogeneidade do grupo. Também, as avaliações foram realizadas em ambiente externo e não se pode deixar de considerar as mudanças climáticas entre cada avaliação, mesmo sendo na mesma época do ano. Neste estudo, também não foi possível verificar se há diferenças nas correlações investigadas com indivíduos de diferentes sexos, visto que apenas 2 mulheres foram incluídas na amostra.

## 6 CONCLUSÃO

Em suma, o presente trabalho verificou uma correlação positiva e significativa do  $D'$  com a RAV e com a RMV, além de uma correlação positiva e significativa entre a VMS e o  $D'$ , em corredores de *endurance*. Apesar destas correlações, ainda não está totalmente claro a respeito dos mecanismos em comum destes parâmetros de corrida. Algumas hipóteses de mecanismo relacionados são a tipologia de fibras, as adaptações neuromusculares, os estoques de PCr e/ou glicogênio muscular. Com estas hipóteses, futuros estudos buscando intervenções acerca destes parâmetros podem dar maiores esclarecimentos a respeito desta temática.

## REFERÊNCIAS

- BARSTOW T. J.; JONES A. M.; NGUYEN P. H.; CASABURI R. Influence of muscle fiber type and pedal frequency on oxygen uptake kinetics of heavy exercise. **J Appl Physiol.** v. 81, p. 1642–1650, 1996.
- BELLENGER, R.; FULLER, T.; NELSON, J.; BUCKLEY, D.; DEBENEDICTIS, A. Predicting maximal aerobic speed through set distance time-trials. **European Journal Of Applied Physiology**, v. 115, n. 12, p. 2593-2598, 5 ago. 2015.
- BELLINGER, P.; DESBROW, B.; DERAIVE, W.; LIEVENS, E.; IRWIN, C.; SABAPATHY, S.; KENNEDY, B.; CRAVEN, J.; PENNEL, E.; RICE, H.; MINAHAN, C. Muscle fiber typology is associated with the incidence of overreaching in response to overload training. **J. Appl. Physiol.** V. 129(4): p. 823-836, 2020.
- BISHOP, D.; JENKINS, D. G. The influence of resistance training on the critical power function & time to fatigue at critical power. **Australian journal of science and medicine in sport**, v. 28, p. 101-105, 1996.
- BLONDEL, N.; BERTHOIN, S.; BILLAT, V.; Relationship between runtimes to exhaustion at 90, 100, 120, and 140% of  $vVO_2max$  and velocity expressed relatively to critical velocity and maximal velocity. **Int J Sports Med.** 2001; 22:27–33.
- BUCHHEIT, M.; LAURSEN, P. B. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: Cardiopulmonary emphasis. **Sports Medicine.** V. 43, Issue 5, p. 313–338, 2013.
- BURNLEY, M.; JONES, A. M. Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. **European Journal of Sport Science**, 7(2), 63–79.
- BULBULIAN, R; JEONG, J. W.; MURPHY, M. Comparison of anaerobic components of the Wingate and Critical Power tests in males and females. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 28, n. 10, p. 1336-1341, 1996.
- BUNDLE, M. W.; HOYT, R. W.; WEYAND, P. G. High-speed running performance: a new approach to assessment and prediction. **Journal Of Applied Physiology**, v. 95, n. 5, p. 1955-1962, nov. 2003. American Physiological Society.
- CHIDNOK, W.; DIMENNA, J.; BAILEY, J.; WILKERSON, P.; VANHATALO, A; JONES, A. M. Effects of Pacing Strategy on Work Done above Critical Power during High-Intensity Exercise. **Medicine & Science In Sports & Exercise**, V. 45, n. 7, p. 1377-1385, jul. 2013.
- CHORLEY, A; LAMB, K. L. The Application of Critical Power, the Work Capacity above Critical Power ( $W'$ ), and Its Reconstitution: a narrative review of current evidence and implications for cycling training prescription. **Sports**, v. 8, n. 9, p. 123, 4 set. 2020. MDPI AG.

COPP, S. W.; HIRAI, D. M.; MUSCH, T. I.; POOLE, D. C. Critical speed in the rat: implications for hindlimb muscle blood flow distribution and fibre recruitment. **The Journal of physiology**, v. 588, n. 24, p. 5077-5087, 2010.

DAL PUPO, J.; SOUZA, K.; ARINS, F.; GUGLIELMO, L.; SANTOS, S. Características fisiológicas de corredores meio-fundistas de diferentes níveis competitivos. **Revista da Educação Física/Uem**, v. 22, n. 1, p. 119-127, 1 maio 2011. Universidade Estadual de Maringá.

DALAMITROS, A. A.; FERNANDES, R. J.; TOUBEKIS, A. G.; MANOU, V.; LOUPOS, D.; KELLIS, S. Is speed reserve related to critical speed and anaerobic distance capacity in swimming? **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 29, n. 7, p. 1830-1836, 2015.

DEKERLE, J.; SOUZA, K.M.; LUCAS, R.D.; GUGLIELMO, L. G.; GRECO, C.; DENADAI, B. Exercise Tolerance Can Be Enhanced through a Change in Work Rate within the Severe Intensity Domain: work above critical power is not constant. **Plos One**, v. 10, n. 9, 25 set. 2015.

DE LUCAS, R. D.; DITTRICH, N.; JUNIOR, R. B.; DE SOUZA, K. M.; GUGLIELMO, L. G. A. Is the critical running speed related to the intermittent maximal lactate steady state? **Journal of sports science & medicine**, v. 11, n. 1, p. 89, 2012

DENADAI, B. S.; ORTIZ, M. J.; MELLO, M. T. Índices fisiológicos associados com a performance aeróbia em corredores de endurance: efeitos da duração da prova. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, São Paulo, v. 10, n. 5, p.401-404, 2004.

DENADAI, B. S.; GRECO, C. C. Can the critical power model explain the increased peak velocity/power during incremental test after concurrent strength and endurance training? **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 31, n. 8, p. 2319-2323, 2017.

GAESSER, G. A.; WILSON, L. A. Effects of continuous and interval training on the parameters of the power-endurance time relationship for high-intensity exercise. **International journal of sports medicine**, v. 9, n. 06, p. 417-421, 1988.

GREEN, S.; DAWSON, B. T.; GOODMAN, C.; CAREY, M. F. Y-intercept of the maximal work-duration relationship and anaerobic capacity in cyclists. **European journal of applied physiology and occupational physiology**, v. 69, n. 6, p. 550-556, 1994.

JACOBS, I.; BLEUE, S.; GOODMAN, J; Creatine ingestion increases anaerobic capacity and maximum accumulated oxygen deficit. **Canadian Journal of Applied Physiology**, v. 22, p. 231-243, 1997.

JENKINS, D. G.; QUIGLEY, B. M. The y-intercept of the critical power function as a measure of anaerobic work capacity. **Ergonomics**, v. 34, n. 1, p. 13-22, 1991.

JENKINS, D. G.; QUIGLEY, B. M. The influence of high-intensity exercise training on the Wlim-Tlim relationship. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 25, n. 2, p. 275-282, 1993.

JONES A.M.; WILKERSON D.P.; DIMENNA F.; FULFORD J.; POOLE D.C. Muscle metabolic responses to exercise above and below the “critical power” assessed using 31P-MRS. **Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol**, Bethesda, v. 294: n.5, p.85– 93, 2008.

JULIO, F.; PANISSA, L. G.; PALUDO, C.; ALVES, D.; CAMPOS, A. D.; FRANCHINI, E. Use of the anaerobic speed reserve to normalize the prescription of high-intensity interval exercise intensity. **European Journal Of Sport Science**, v. 20, n. 2, p. 166-173, 6 jun. 2019.

ETTEMA, J. H; Limits of human performance and energy - production. **Int J Physiol Arbeitsphysiol**. V. 22, p. 45 – 54, 1966.

HILL, A.V. The physiological basis of athletic records. **Nature**, 1925, 116, 544–54.

HILL D. W.; POOLE D. C.; SMITH J. C.; The relationship between power and the time to achieve VO<sub>2</sub>max. **Med Sci Sports Exerc**. 34(4):709–714, 2002.

HOPKINS, W., MARSHALL, S., BATTERHAM, A., HANIN, J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. **Medicine Science in Sports Exercise**, v. 41, n. 1, p. 3, 2009.

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**, v. 32, n. 8, p. 997–1004, ago. 1989.

HOUSH, D. J.; HOUSH, T. J.; BAUGE, S. M. A methodological consideration for the determination of critical power and anaerobic work capacity. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v. 61, n. 4, p. 406-409, 1990.

HOWLEY, E. T., BASSETT, JR., B. D., & WELCH, H. G. Criteria for maximal oxygen uptake: Review and commentary. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, 27(9), 1292–1301, 1995.

IZQUIERDO, M.; IBANEZ, J.; GONZÁLEZ-BADILLO, J. J.; GOROSTIAGA, E. M. Effects of creatine supplementation on muscle power, endurance, and sprint performance. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 34, n. 2, p. 332-343, 2002.

KRAMER, M.; THOMAS, E. J.; ASWEGEN, M. Functional Speed Reserve as a Proxy for the Anaerobic Speed Reserve Using the Critical Speed Concept. **Annals of Applied Sport Science**, v. 9(2), p. 1–7, 2021

LIEVENS, E.; BELLINGER, P.; VAN VOSSSEL, K.; VANCOMPENOLLE, J.; BEX, T.; MINAHAN, C.; DERAIVE, W. Muscle typology of world-class cyclists across various disciplines and events. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 53, n. 4, p. 816-824, 2021.

MCLAUGHLIN, E.; HOWLEY, T.; BASSETT, R.; THOMPSON, Dixie L.; FITZHUGH, Eugene C. Test of the Classic Model for Predicting Endurance Running Performance. **Medicine & Science In Sports & Exercise**, v. 42, n. 5, p. 991-997, maio 2010.

- MIKKOLA, J.; RUSKO, H., NUMMELA, A.; POLLARI, T.; HÄKKINEN, K. Concurrent endurance and explosive type strength training improves neuromuscular and anaerobic characteristics in young distance runners. **International journal of sports medicine**, v. 28, n. 07, p. 602-611, 2007.
- MITCHELL, E. A.; MARTIN, N. R.; BAILEY, S. J.; FERGUSON, R. A. Critical power is positively related to skeletal muscle capillarity and type I muscle fibers in endurance-trained individuals. **Journal of Applied Physiology**, v. 125, n. 3, p. 737-745, 2018.
- MIURA, A.; KINO, F.; KAJITANI, S.; SATO, H.; SATO, H.; FUKUBA, Y. The effect of oral creatine supplementation on the curvature constant parameter of the power-duration curve for cycle ergometry in humans. **The Japanese journal of physiology**, v. 49, n. 2, p. 169-174, 1999.
- MIURA, A.; KINO, F.; KAJITANI, S.; SATO, H.; SATO, H.; FUKUBA, Y. The effect of glycogen depletion on the curvature constant parameter of the power-duration curve for cycle ergometry. **Ergonomics**, v. 43, n. 1, p. 133-141, 2000.
- MONOD, H.; SCHERRER, J. The work capacity of a synergic muscular group. **Ergonomics**, v. 8, n. 3, p. 329-338, jul. 1965.
- MORITANI, T.; NAGATA, A.; DEVRIES, A.; MURO, M. Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold. **Ergonomics**, v. 24, n. 5, p. 339-350, maio 1981.
- MORTON, R H. A 3-parameter critical power model. **Ergonomics**, 1996; 39:611 - 619.
- NISSEN, S. L.; SHARP, R. L. Effect of dietary supplements on lean mass and strength gains with resistance exercise: A meta-analysis. **Journal of Applied Physiology**, v. 94, p. 651-659, 2003.
- POOLE, D. C.; WARD, S. A.; WHIPP, B. J. The effects of training on the metabolic and respiratory profile of high-intensity cycle ergometer exercise. **European journal of applied physiology and occupational physiology**, v. 59, n. 6, p. 421-429, 1990.
- POOLE, D. C.; SCHAFFARTZIK, W.; KNIGHT, D. R.; DERION, T.; KENNEDY, B.; GUY, H. J. Contribution of exercising legs to the slow component of oxygen uptake kinetics in humans. **Journal of Applied Physiology**, 71, 1245-1260, 1991.
- PRINGLE JS; DOUST JH; CARTER H; TOLFREY K; CAMPBELL IT; SAKKAS GK; JONES AM. Oxygen uptake kinetics during moderate, heavy and severe intensity 'submaximal' exercise in humans: the influence of muscle fibre type and capillarisation. **Eur J Appl Physiol** 89, 289-300, 2003.
- PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. METODOLOGIA DO TRABALHO CIENTÍFICO: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico. 2. ed. **Novo Hamburgo: Feevale**, 2013.

RAMÍREZ-CAMPILLO, R.; ÁLVAREZ, C.; HENRÍQUEZ-OLGUÍN, C.; BAEZ, E. B.; MARTÍNEZ, C.; ANDRADE, D. C.; IZQUIERDO, M. Effects of plyometric training on endurance and explosive strength performance in competitive middle-and long-distance runners. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 28, n. 1, p. 97-104, 2014.

ROSS, ANGUS; LEVERITT, MICHAEL; RIEK, STEPHAN. Neural influences on sprint running. **Sports medicine**, v. 31, n. 6, p. 409-425, 2001.

ROSSITER, H. B.; WARD, S. A.; HOWE, F. A.; KOWALCHUK, J. M.; GRIFFITHS, J. R.; WHIPP, B. J. Dynamics of intramuscular 31P-MRS P(i) peak splitting and the slow components of PCr and O<sub>2</sub> uptake during exercise. **Journal of Applied Physiology**, V. 93, p. 2059-2069, 2002.

SANDFORD, G. N.; LAURSEN, P. B.; BUCHHEIT, M. Anaerobic Speed/Power Reserve and Sport Performance: scientific basis, current applications and future directions. **Sports Medicine**, v. 51, n. 10, p. 2017-2028, 16 ago. 2021.

SANDFORD, G. N.; ALLEN, S. V.; KILDING, A. E.; ROSS, A.; LAURSEN, P. B. Anaerobic Speed Reserve: a key component of elite male 800-m running. **International Journal Of Sports Physiology And Performance**, v. 14, n. 4, p. 501-508, 1 abr. 2018.

SANDFORD, G. N.; ROGERS, S. A.; SHARMA, A. P.; KILDING, A. E.; ROSS, A.; LAURSEN, P. B. Implementing Anaerobic Speed Reserve Testing in the Field: validation of vvo<sub>2</sub>max prediction from 1500-m race performance in elite middle-distance runners. **International Journal Of Sports Physiology And Performance**, v. 14, n. 8, p. 1147-1150, 1 set. 2019.

SCHÄFER, L. U.; HAYES, M.; DEKERLE, J. Creatine supplementation improves performance above critical power but does not influence the magnitude of neuromuscular fatigue at task failure. **Experimental Physiology**, v. 104, p. 1881–1891. 2019.

SOUZA, K.; VIEIRA, G; BALDI, M.; GUGLIELMO, L. G. A.; DE LUCAS, R. D.; DENADAI, B. S. Variáveis fisiológicas e neuromusculares associadas com a performance aeróbia em corredores de endurance: efeitos da distância da prova. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 17, n. 1, p. 40-44, fev. 2011

SOUZA, K; DEKERLE, J; SALVADOR, P; DE LUCAS, R.D., GUGLIELMO, L. G. A.; GRECO, C. C.; DENADAI, B. S. Rate of utilization of a given fraction of W' (the curvature constant of the power-duration relationship) does not affect fatigue during severe-intensity exercise. **Experimental Physiology**, v. 101, n. 4, p. 540-548, 18 fev. 2016.

SPENCER, R; GASTIN, P. Energy system contribution during 200- to 1500-m running in highly trained athletes. **Medicine And Science In Sports And Exercise**, P. 157-162, jan. 2001.

VALLI, G.; COGO, A.; PASSINO, C.; BONARDI, D.; MORICI, G.; FASANO, V.; PALANGE, P. Exercise intolerance at high altitude (5050 m): critical power and W'. **Respiratory physiology & neurobiology**, v. 177, n. 3, p. 333-341, 2011.



VANHATALO, A; FULFORD, J; DIMENNA, F; JONES, A. Influence of hyperoxia on muscle metabolic responses and the power-duration relationship during severe-intensity exercise in humans: a<sup>31</sup>p magnetic resonance spectroscopy study. **Experimental Physiology**, v. 95, n. 4, p. 528-540, 16 mar. 2010.

VANHATALO, A.; BLACK, M. I.; DIMENNA, F. J.; BLACKWELL, J. R.; SCHMIDT, J. F., THOMPSON, C.; JONES, A. M. The mechanistic bases of the power–time relationship: muscle metabolic responses and relationships to muscle fiber type. **The Journal of physiology**, v. 594, n. 15, p. 4407-4423, 2016.