

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA E DESPORTOS – FAEFID**

**YURI DE ALMEIDA COSTA CAMPOS**

**EFEITO DE DIFERENTES PROTOCOLOS DE CARGAS INCREMENTAIS SOBRE  
AS RESPOSTAS ELETROMIOGRÁFICAS E LACTATO SANGUÍNEO DURANTE  
EXERCÍCIO DINÂMICO DESCONTÍNUO E RESISTIDO EM CORREDORES  
FUNDISTAS MODERADAMENTE TREINADOS**

**JUIZ DE FORA  
JULHO/2016**

**YURI DE ALMEIDA COSTA CAMPOS**

**EFEITO DE DIFERENTES PROTOCOLOS DE CARGAS INCREMENTAIS SOBRE  
AS RESPOSTAS ELETROMIOGRÁFICAS E LACTATO SANGUÍNEO DURANTE  
EXERCÍCIO DINÂMICO DESCONTÍNUO E RESISTIDO EM CORREDORES  
FUNDISTAS MODERADAMENTE TREINADOS**

**Dissertação apresentada ao Programa  
de Pós-graduação em Educação Física,  
área de concentração Exercício e  
Esporte, da Universidade Federal de  
Juiz de Fora, como requisito parcial  
para obtenção do grau de mestre.**

**Orientador: Prof. Dr. Jeferson Macedo Vianna**

**JUIZ DE FORA  
JULHO/2016**

**YURI DE ALMEIDA COSTA CAMPOS**

**EFEITO DE DIFERENTES PROTOCOLOS DE CARGAS INCREMENTAIS SOBRE  
AS RESPOSTAS ELETROMIOGRÁFICAS E LACTATO SANGUÍNEO DURANTE  
EXERCÍCIO DINÂMICO DESCONTÍNUO E RESISTIDO EM CORREDORES  
FUNDISTAS MODERADAMENTE TREINADOS**

**Dissertação apresentada ao Programa  
de Pós-graduação em Educação Física,  
área de concentração Exercício e  
Esporte, da Universidade Federal de  
Juiz de Fora, como requisito parcial  
para obtenção do grau de mestre.**

**Aprovada em: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_**

**BANCA EXAMINADORA**

**Titulares:**

---

**Prof. Dr. Jeferson Macedo Vianna  
Universidade Federal de Juiz de Fora**

---

**Prof. Dr. Sandro Fernandes da Silva  
Universidade Federal de Lavras**

---

**Prof. Dr. Maurício Gattás Bara Filho  
Universidade Federal de Juiz de Fora**

Dedico este trabalho à todos vocês que me fizeram  
abandonar as muletas e seguir com os meus próprios pés,  
que me fizeram tirar os pés da terra firme,  
e seguir viagem...

“A teacher who is attempting to teach without inspiring the pupil  
with a desire to learn is hammering on cold iron.”

Horace Mann

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por neste estágio da vida ter a absoluta certeza que não estou sozinho e que nada até a presente data ocorreu ao acaso ou por alguma eventualidade do destino. Sinto meus passos guiados por suas mãos e sua presença constante torna minha fé nenhum pouco abstrata.

Aos meus queridos pais Reinaldo Francisco de Campos e Cláudia Regina de Almeida Costa Campos por terem me concedido um amor e apoio inexauríveis ao longo dessa trajetória. O término deste ciclo coroam também o seu papel como pais, sendo a mais brilhante visão de que vocês fizeram um trabalho impecável. Faltam-me palavras para dizer o quão vocês foram resilientes em suas trajetórias e quanto me sinto agraciado e orgulhoso dos pais que tenho.

A Jéssica Soares dos Santos por ter convivido com a implacável solidão física e por muitas vezes mental que a escrita de uma dissertação de mestrado exige. Sua paciência, compreensão e companheirismo nesses momentos lhe fazem uma pessoa louvável e encantadora.

Aos meus familiares, e minha segunda família Scoralick Oliveira, pelos momentos de alegria compartilhados, pelo apoio e incentivo incondicionais.

A Sílvia Soares, pôr no decorrer da coleta de dados em Lavras, ter feito de sua casa uma extensão do meu lar. Serei eternamente grato pelo zelo e responsabilidade com que me tratastes nesse período.

Aos meus queridos amigos Miller Pereira Guimarães, Gaspar Pinto da Silva, e especialmente, aos meus “dois braços”, Hiago Leandro Rodrigues de Souza, sem o seu companheirismo e presteza, certamente, eu não chegaria até aqui. Sintam-se parte dessa dissertação, a reciprocidade e o empenho de vocês nessa empreitada fizeram-me engrandecer e reconhecer o sentido da palavra amizade e gratidão. Ao Sr. Marco Túlio Silva Batista pelas demonstrações de dedicação e esforço, sendo uma figura inspiradora para mim. A nobreza com que discutimos nossas temáticas de estudo é sempre fantástica. Todos vocês são incríveis.

A todos voluntários que participaram das coletas, e em especial, a equipe “*Top Runners*” de Perdões – MG, pela paciência e motivação durante os testes, e principalmente, pela forma como sacrificaram parte do seu tempo livre com seus familiares e amigos em prol do nosso trabalho, serei eternamente agradecido.

Ao meu orientador Prof. Dr. Jeferson Macedo Vianna por ter apostado suas fichas em meu trabalho mesmo sem me conhecer. A maneira com que me orientastes fez com que eu pudesse identificar meus próprios erros e fosse muito mais paciente com as adversidades, meu muito obrigado pela oportunidade.

Ao meu amigo e orientador Prof. Dr. Sandro Fernandes da Silva por te se feito figura presente nesta dissertação, principalmente, nos momentos de dificuldade, sempre com ponderação e sábios conselhos. Sua sutileza e confiança na orientação foram meu porto seguro ao longo da minha trajetória acadêmica. Issac Newton uma vez disse: "... se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes...", serei eternamente grato por você ter sido um desses gigantes. O meu muito obrigado a você e toda sua família.

Ao meu amigo Prof. Dr. André Calil e Silva pelos contatos prévios que possibilitaram a realização do Mestrado nesta instituição de ensino e pela atenção e a solicitude com que trata seus alunos.

Aos colegas de mestrado e do GEPREN com que compartilhei até agora minhas angústias profissionais, além das infindas discussões acerca do nosso objeto de estudo.

Por último, e não menos importante, ao programa de Pós Graduação em Educação Física UFJF/UFV e ao seu corpo docente pelos ensinamentos que serão de grande valia.

## RESUMO

O limiar anaeróbio (LAn) tem sido considerado um índice fiável para mensurar os domínios de intensidade durante o exercício podendo ser identificado através das concentrações sanguíneas de lactato [Lac] e da eletromiografia de superfície (sEMG). Assim, os objetivos principais do presente estudo foram: (a) identificar e correlacionar o limiar eletromiográfico (LEMG) e limiar de lactato (LL) durante os protocolos incrementais realizados na esteira ergométrica (EE) e no exercício leg press 45° (LP 45°) e (b) correlacionar os valores das [Lac] no qual foi identificado LAn entre os protocolos incrementais realizados na EE e no LP 45°. Foram voluntários 12 corredores fundistas do sexo masculino moderadamente treinados (idade =  $29,27 \pm 3,24$  anos; percentual de gordura =  $10,33 \pm 2,62$  %; estatura =  $1,77 \pm 0,04$  m; massa corporal =  $73,44 \pm 4,38$  kg; tempo dos 5000 m = 20 min e 37,8 seg  $\pm 2$  min e 21 seg; tempo de treinamento =  $4,26 \pm 0,68$  anos). Logo após as sessões de avaliação prévias, os voluntários foram randomizados para a realização de dois protocolos incrementais distintos executados na EE e no LP 45° onde foram coletados o sinal EMG e lactato sanguíneo durante o término de cada estágio em ambos os exercícios propostos. Foram realizados os testes estatísticos de normalidade e homogeneidade de variâncias, além dos testes *Anova Two-Way* com *Post Hoc de Bonferroni*, T para amostras independentes, correlação de *Pearson* e *Bland Altman*, adotando o valor de significância  $p \leq 0,05$ . Os resultados não demonstraram diferenças significantes entre a velocidade de corrida e a intensidade de exercício em que foram identificados o LL e o LEMG em ambos os protocolos. Houve correlações e concordâncias entre o LL e o LEMG determinados tanto na EE, quanto no LP 45°. Não foram encontradas diferenças significantes entre as [Lac] em que foi identificado o LAn na EE e no LP 45°. Foi encontrada concordância entre ambos os protocolos incrementais. Nossos achados ressaltaram a aplicabilidade da sEMG como uma ferramenta não invasiva para determinar o LAn. Apesar de existir concordância entre as [Lac] onde foi determinado o LAn na EE e no LP 45°, ainda são necessários estudos com metodologias mais elaboradas que venham confirmar tal premissa.

Palavras chave: limiares, eletromiografia, lactato, esteira ergométrica, leg press 45°.

## ABSTRACT

The anaerobic threshold (AT) has been considered a reliable index to measure the intensity domains during exercising, and it can be identified through blood lactate concentrations [Lac] and through surface electromyography (sEMG). The main objectives of this study were: (a) to identify and to correlate the electromyographic threshold ( $EMG_{TH}$ ) and the lactate threshold (LT) during incremental protocols performed on a treadmill (IT) and on the leg press 45° (LP 45°) exercise; and (b) to correlate the values of [Lac] in which the AT was identified among the incremental protocols performed in IT and LP 45°. Twelve male long-distance runners, moderately trained, were volunteers (age =  $29.27 \pm 3.24$  years; body fat percentage =  $10.33 \pm 2.62$  %; height =  $1.77 \pm 0.04$  m; body mass =  $73.44 \pm 4.38$  kg; time of 5000 m = 20 min and 37.8 sec  $\pm$  2 min and 21 sec; training time =  $4.26 \pm 0.68$  years). Shortly after the preliminary evaluation sessions, volunteers were randomized to perform two distinct incremental protocols running on IT and LP 45°, in which the EMG signal and blood lactate were collected during the end of each stage in both proposed exercises. Statistical tests of normality and homogeneity of variance were performed, in addition to two-way Anova test with Post Hoc Bonferroni, T for independent samples, Pearson correlation and Bland Altman, adopting the significance level  $p \leq 0.05$ . The results showed no significant differences between the running speed and the exercise intensity in which LT and  $EMG_{TH}$  were identified in both protocols. In the IT and in the LP 45° were observed correlations and agreements between LT and  $EMG_{TH}$ . No significant differences were observed among the values of [Lac], in which the AT was identified in IT and LP 45°. The incremental protocols showed agreement. The results highlighted the applicability of sEMG as a non-invasive tool for determining the AT. Although there is agreement between the values of [Lac] where the AT was determined in EE and LP 45°, further studies are still needed with more elaborate methodologies that would confirm that premise.

Keywords: thresholds, electromyography, lactate, treadmill, leg press 45°.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Modelo proposto por Kindermann et al., (1979) em que são encontradas as [Lac] em função do tempo, assim como, a inclusão do ponto de transição entre os metabolismos aeróbio-anaeróbio para demarcar diferentes zonas de intensidade do treinamento aeróbio [Fonte: (FAUDE; KINDERMANN; MEYER, 2009)] ..... 30
- Figura 2 - Modelo esquemático proposto por Moritani; Stegeman e Merletti (2004), onde estão representados os mecanismos prioritários envolvidos no controle motor. [Fonte: adaptado de Merletti e Parker, (2004)] ..... 48
- Figura 3 - Representação de um motoneurônio  $\alpha$  e as respectivas fibras por ele inervadas, assim como o local de captação dos eletrodos [Fonte: adaptado de De Luca, (1997)] ..... 49
- Figura 4 - Representação do princípio do tamanho de Henneman [Fonte: adaptado de Henneman et al., (1965) e (1974)] ..... 54
- Figura 5 - Diagrama do Desenho Experimental ..... 63
- Figura 6 - Determinação do LL conforme o método proposto por Svedahl e MacIntosh (2003) durante o protocolo incremental realizado na EE. Os dados são representativos de um participante ..... 69
- Figura 7 - Determinação do LL conforme o método proposto por Svedahl e MacIntosh (2003) durante o protocolo incremental realizado no LP 45°. Os dados são representativos de um participante ..... 69
- Figura 8 - Determinação do LEMG conforme o método proposto por Hug et al. (2006) nos músculos VM ■, RF ▲ e VL ● durante o protocolo incremental realizado na EE. Os dados são representativos de um participante ..... 71
- Figura 9 - Exemplo individual de 3 seg do sinal EMG no envoltório RAW para os músculos VM, RF e VL gravados durante o protocolo incremental realizado na EE ..... 71

Figura 10 - Determinação do LEMG conforme o método proposto por Hug et al. (2006) nos músculos VM ■, RF ▲ e VL ● durante o protocolo incremental realizado no LP 45°. Os dados são representativos de um participante .....	72
Figura 11 - Exemplo individual de 3 repetições do sinal EMG no envoltório RAW para os músculos VM, RF e VL gravados durante o protocolo incremental realizado no LP 45° .....	72
Figura 12 - Comportamento do sEMG no músculo VM ■ e das [Lac] ● durante o protocolo incremental realizado na EE. Os dados são representativos de um participante .....	75
Figura 13 - Comportamento do sEMG no músculo RF ▲ e das [Lac] ● durante o protocolo incremental realizado na EE. Os dados são representativos de um participante .....	75
Figura 14 - Comportamento do sEMG no músculo VL ◆ e das [Lac] ● durante o protocolo incremental realizado na EE. Os dados são representativos de um participante .....	76
Figura 15 - Concordância entre o LL e o LEMG <sub>VM</sub> em (km.h <sup>-1</sup> ) .....	76
Figura 16 - Concordância entre o LL e o LEMG <sub>RF</sub> em (km.h <sup>-1</sup> ) .....	77
Figura 17 - Concordância entre o LL e o LEMG <sub>VL</sub> em (km.h <sup>-1</sup> ) .....	77
Figura 18 - Comportamento do sEMG no músculo VM ■ e das [Lac] ● durante o protocolo incremental realizado no LP 45°. Os dados são representativos de um participante .....	78
Figura 19 - Comportamento do sEMG no músculo RF ▲ e das [Lac] ● durante o protocolo incremental realizado no LP 45°. Os dados são representativos de um participante .....	79
Figura 20 - Comportamento do sEMG no músculo VL ◆ e das [Lac] ● durante o protocolo incremental realizado no LP 45°. Os dados são representativos de um participante .....	79
Figura 21 - Concordância entre o LL e o LEMG <sub>VM</sub> em (% de 1RM) .....	80

Figura 22 - Concordância entre o LL e o LEMG <sub>RF</sub> em (% de 1RM) .....	80
Figura 23 - Concordância entre o LL e o LEMG <sub>VL</sub> em (% de 1RM) .....	81
Figura 24 - Concordância entre as [Lac] onde o LAn foi identificado entre os protocolos incrementais realizados na EE e no LP 45° em (mmol.l <sup>-1</sup> ) ....	82

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Resultados médios ( $\pm$  DP) correspondentes as comparações e a correlações entre os parâmetros utilizados para identificar o LAn: LL, LEMG<sub>VM</sub>, LEMG<sub>RF</sub>, LEMG<sub>VL</sub>, durante o protocolo incremental realizado na EE ..... 74
- Tabela 2 - Resultados médios ( $\pm$  DP) correspondentes as comparações e a correlações entre os parâmetros utilizados para identificar o LAn: LL, LEMG<sub>VM</sub>, LEMG<sub>RF</sub>, LEMG<sub>VL</sub>, durante o protocolo incremental realizado na LP 45° ..... 78
- Tabela 3 - Resultados médios ( $\pm$  DP) correspondentes a concentração de lactato sanguíneo [Lac] (mmol.l<sup>-1</sup>) na comparação do LAn identificado na EE e no LP 45° ..... 81

## **ANEXOS**

Anexo 1 - Parecer de aprovação do Comitê de Ética e Pesquisas Envolvendo Seres Humanos .....	117
Anexo 2 - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) .....	119
Anexo 3 - Escala de Borg (1970) .....	121

## LISTA DE ABREVIações

FC	frequência cardíaca
VO <sub>2</sub>	consumo de oxigênio
LTF	limiares de transição fisiológica
LTF <sub>1</sub>	primeiro limiar de transição fisiológica
LAe	limiar aeróbio
[Lac]	concentrações de lactato sanguíneo
LTF <sub>2</sub>	segundo limiar de transição fisiológica
LAn	limiar anaeróbio
LL <sub>1</sub>	primeiro limiar de lactato
LL <sub>2</sub>	segundo limiar de lactato
LV <sub>1</sub>	primeiro limiar ventilatório
LV <sub>2</sub>	segundo limiar ventilatório
H <sup>+</sup>	íons de hidrogênio
P <sub>i</sub>	fosfatos inorgânicos
MFEL	máxima fase estável do lactato
senal EMG	senal eletromiográfico
LFE	limiar de fadiga eletromiográfica
LEMG	limiar eletromiográfico
sEMG	eletromiografia de superfície
RMS	<i>root mean square</i>
UMs	unidades motoras
LEMG <sub>1</sub>	primeiro limiar eletromiográfico
LEMG <sub>2</sub>	segundo limiar eletromiográfico

TA	tibial anterior
GL	gastrocnêmio lateral
EE	esteira ergométrica
1RM	uma repetição máxima
LP 45°	leg press 45°
ER	exercício resistido
RML	resistência muscular localizada
VO <sub>2máx</sub>	consumo máximo de oxigênio
ATP	trifosfato de adenosina
H <sup>+</sup>	íons de hidrogênio
pH	potencial hidrogeniônico
iPO <sub>2</sub>	pressão parcial de oxigênio alveolar intramuscular
O <sub>2</sub>	oxigênio
NADH <sup>+</sup>	nicotinamida adenina dinucleotídeo
ADP	adenosina difosfato
Pi	fosfato inorgânico
LDH	lactato desidrogenase
Ca <sup>2+</sup>	cálcio
Na <sup>+</sup>	sódio
K <sup>+</sup>	potássio
Km.h <sup>-1</sup>	quilômetros por hora
seg	segundo (s)
min	minuto (s)
mmol.l <sup>-1</sup>	milimol por litro

W	watts
OBLA	<i>onset blood lactate accumulation</i>
LAI	limiar anaeróbio individual
m	metro (s)
VC	velocidade crítica
VMFEL	velocidade da máxima fase estável do lactato
VTL	velocidade de <i>turnpoint</i> do lactato
μL	microlitro (s)
SR	supino reto
VFC	variabilidade da frequência cardíaca
mmHg	milímetro de mercúrio
PSE	percepção subjetiva de esforço
CO <sub>2</sub>	dióxido de carbono
TR	treinamento resistido
SNC	sistema nervoso central
PA	potencial de ação
SENIAM	<i>surface EMG for non-invasive assesment of muscle</i>
AgCl	cloreto de prata
Fc <sub>1</sub>	primeira frequência de corte
Fc <sub>2</sub>	segunda frequência de corte
VL	vasto lateral
VI	vasto intermédio
VM	vasto medial
RF	reto femoral

BF	bíceps femoral
SM	semimembranoso
ST	semitendinoso
PCR	ponto de compensação respiratória
GL	gastrocnêmio lateral
TA	tibial anterior
cm	centímetro (s)
LEMG <sub>VM</sub>	limiar eletromiográfico do vasto medial
LEMG <sub>RF</sub>	limiar eletromiográfico do reto femoral
LEMG <sub>VL</sub>	limiar eletromiográfico do vasto lateral
μV	microvolt

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>21</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>26</b>
<b>2.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>26</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>26</b>
<b>3. HIPÓTESES.....</b>	<b>27</b>
<b>4. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>28</b>
<b>4.1 Limiares de Lactato .....</b>	<b>28</b>
<b>4.1.1 Introdução e conceitos primários para a prescrição e controle do treinamento aeróbio .....</b>	<b>28</b>
<b>4.1.2 Aspectos fisiológicos e critério de determinação .....</b>	<b>31</b>
<b>4.1.3 Primeiro e segundo limiares de lactato .....</b>	<b>33</b>
<b>4.1.4 Limiares de lactato em teste incremental na esteira e cicloergômetro .....</b>	<b>35</b>
<b>4.1.5 Limiares de lactato em teste incremental no exercício resistido ....</b>	<b>40</b>
<b>4.1.6 Relação dos limiares de lactato em testes incrementais dinâmicos e exercício resistido .....</b>	<b>47</b>
<b>4.2 Considerações sobre a eletromiografia de superfície.....</b>	<b>48</b>
<b>4.3 Limiar Eletromiográfico.....</b>	<b>53</b>
<b>4.3.1 Limiar eletromiográfico em teste incremental na esteira ergométrica 56</b>	
<b>4.3.2 Relação entre o Limiar de Lactato e o Limiar Eletromiográfico em testes incrementais na esteira .....</b>	<b>59</b>
<b>4.3.3 Relação entre o Limiar de Lactato e o Limiar Eletromiográfico no exercício incremental resistido .....</b>	<b>61</b>
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>62</b>
<b>5.1 Caracterização da Pesquisa.....</b>	<b>62</b>

<b>5.2</b>	<b>Desenho Experimental .....</b>	<b>62</b>
<b>5.3</b>	<b>Participantes .....</b>	<b>64</b>
<b>5.4</b>	<b>Procedimentos.....</b>	<b>64</b>
<b>5.4.1</b>	<b>Validação dos 5000 m na pista de atletismo .....</b>	<b>64</b>
<b>5.4.2</b>	<b>Avaliação antropométrica .....</b>	<b>65</b>
<b>5.4.3</b>	<b>Sessões de familiarização da corrida em EE .....</b>	<b>65</b>
<b>5.4.4</b>	<b>Sessões de familiarização no LP 45° .....</b>	<b>66</b>
<b>5.4.5</b>	<b>Identificação da Força Dinâmica Máxima .....</b>	<b>66</b>
<b>4.4.6.</b>	<b>Protocolo incremental realizado na EE .....</b>	<b>67</b>
<b>4.4.7</b>	<b>Protocolo incremental realizado no LP 45° .....</b>	<b>67</b>
<b>4.4.8</b>	<b>Lactato Sanguíneo.....</b>	<b>68</b>
<b>4.4.9</b>	<b>Frequência Cardíaca.....</b>	<b>70</b>
<b>4.4.10</b>	<b>Eletromiografia .....</b>	<b>70</b>
<b>5.</b>	<b>ANÁLISE ESTATÍSTICA .....</b>	<b>73</b>
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>74</b>
<b>7.</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>83</b>
<b>a)</b>	<b>Estudo das respostas eletromiográficas e lactato sanguíneo durante um protocolo de cargas incrementais realizado em esteira ergométrica .....</b>	<b>84</b>
<b>b)</b>	<b>Estudo das respostas eletromiográficas e lactato sanguíneo durante um protocolo de cargas incrementais realizado no leg press 45° .....</b>	<b>88</b>
<b>c)</b>	<b>Relação entre o limiar anaeróbio identificado através do lactato sanguíneo entre os exercícios dinâmico descontínuo e resistido.....</b>	<b>92</b>
<b>8.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E APLICAÇÕES PRÁTICAS .....</b>	<b>95</b>
<b>9.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>97</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Quando se objetiva compreender os fatores determinantes para a *performance* física alguns parâmetros são considerados norteadores, fornecendo informações valiosas acerca do comportamento fisiológico e neuromuscular durante o exercício. Sendo, portanto, subsídios seguros para a avaliação, prescrição e controle do treinamento desportivo. Dessa maneira, a aplicação de protocolos com cargas incrementais têm sido uma estratégia rotineiramente utilizada para identificar os preditores fisiológicos de desempenho em atividades de longa duração (BENTLEY; NEWELL; BISHOP, 2007). Apresentando como objetivos principais a avaliação da capacidade de duração, assim como, o metabolismo muscular durante o exercício, baseado na mensuração de variáveis como a frequência cardíaca (FC), a produção de lactato e o consumo de oxigênio ( $VO_2$ ) (KANG et al., 2014), além da atividade muscular (CAMIC et al., 2010).

Inúmeros estudos destacam que os limiares metabólicos, ou limiares de transição fisiológico (LTF), têm sido considerados parâmetros fisiológicos bastante apropriados para determinar os diferentes domínios de intensidade durante o exercício (PRINGLE; JONES, 2002), especificamente, por refletirem com fidedignidade as respostas desencadeadas pelo treinamento de resistência, sendo assim, importantes para prever a *performance* de *endurance* e determinar o sucesso em provas de longa distância (BERTUZZI et al., 2013; EDWARDS; CLARK; MACFADYEN, 2003; FAUDE; KINDERMANN; MEYER, 2009; LUCIA; HOYOS; CHICHARRO, 2001; MEYER et al., 2005). Neste sentido, vários experimentos procuraram avaliar os LTF em diferentes atividades, tais como: corrida em esteira (KINDERMANN; SIMON; KEUL, 1979; TAYLOR; BRONKS, 1994; TIKKANEN et al., 2012), cicloergômetro (BERGSTROM et al., 2013; KANG et al., 2014; LUCÍA et al., 1999), natação (DI MICHELE et al., 2012; RIBEIRO et al., 2014), e mais recentemente em exercício resistido (MOREIRA et al., 2008; SIMÕES et al., 2010), através da aplicação de diferentes protocolos com cargas incrementais.

Conceitualmente, os LTF retratam basicamente duas respostas metabólicas frente ao exercício que apesar de suas distinções, representam o mesmo fenômeno fisiológico. Dessa forma, o primeiro limiar de transição fisiológica (LTF<sub>1</sub>), ou limiar aeróbio (LAe), é considerado como o primeiro aumento significativo da intensidade metabólica em relação aos níveis basais, em que ocorre maior participação do

metabolismo aeróbio (BERTUZZI et al., 2013; FAUDE et al., 2009; KINDERMANN et al., 1979), e a partir deste ponto, começa haver um aumento nas concentrações sanguíneas de lactato [Lac] (KINDERMANN et al., 1979). O segundo limiar de transição fisiológica (LTF<sub>2</sub>), ou limiar anaeróbio (LAn), representa a intensidade do exercício em que as taxas de produção de lactato superam a sua remoção, havendo assim, uma elevação abrupta nas [Lac], sendo a intensidade do exercício em que ocorre uma maior participação do metabolismo glicolítico anaeróbio (KANG et al., 2014; KINDERMANN et al., 1979; SJÖDIN; JACOBS, 1981; SVEDAHL; MACINTOSH, 2003). Esses LTF são geralmente identificados através da mensuração das [Lac], ou seja, através de parâmetros metabólicos, sendo definidos como: primeiro limiar de lactato (LL<sub>1</sub>) e segundo limiar de lactato (LL<sub>2</sub>), assim como, através de parâmetros ventilatórios, sendo definidos como: primeiro limiar ventilatório (LV<sub>1</sub>) e segundo limiar ventilatório (LV<sub>2</sub>).

Fisiologicamente, os limiares de lactato são conceituados a partir de uma série de eventos que demarcam a intensidade do exercício em que ocorrem acúmulos de metabólitos, sobretudo, íons de hidrogênio (H<sup>+</sup>) e fosfatos inorgânicos (P<sub>i</sub>) que levam a formação do lactato (DAVIS, 1985; ROBERGS; GHASVAND; PARKER, 2004; SVEDAHL; MACINTOSH, 2003; WASSERMAN et al., 2005). Atualmente, tem-se o conhecimento de que a taxa do aparecimento de lactato no sangue durante o teste incremental apresenta um comportamento trifásico, possibilitando a identificação de dois limiares (FAUDE; KINDERMANN; MEYER, 2009), que são verificados em pontos estabelecidos a partir da cinética do lactato pela intensidade do esforço onde se observa um desequilíbrio entre suas taxas de produção e remoção (MESSONNIER et al., 2013). Assim sendo, no início do exercício é observado uma pequena elevação nas [Lac], até o momento em que o metabolismo aeróbio seja capaz de suprir as demandas energéticas impostas pelo exercício, caracterizando assim, o LL<sub>1</sub>, definido como o primeiro aumento nas [Lac] (FAUDE; KINDERMANN; MEYER, 2009). Após este ponto, as [Lac] tendem a se estabilizarem, sugerindo um equilíbrio entre as suas taxas de produção e remoção. O equilíbrio máximo entre as taxas de produção e remoção, tem sido caracterizado como a máxima fase estável do lactato (MFEL) no sangue, sendo definido como o LL<sub>2</sub> (SVEDAHL; MACINTOSH, 2003). A medida em que o exercício é prolongado, a produção de lactato torna-se mais intensificada e seu acúmulo passa a ocorrer de maneira exponencial, representando assim, o segundo aumento nas [Lac] (FAUDE; KINDERMANN; MEYER, 2009).

Apesar da literatura científica comprovar a existência dos limiares através de marcadores metabólicos, no início da década de 1980, de Vries et al. (1982), desenvolveram um estudo pioneiro que associou o sinal eletromiográfico (sinal EMG) com as modificações ocorrentes nos parâmetros metabólico e ventilatório. Neste estudo, os autores propuseram a identificação do limiar de fadiga eletromiográfica (LFE), definido como a mais elevada potência que pode ser sustentada sem a evidência de fadiga neuromuscular, sendo encontrado durante os testes um aumento na amplitude do sinal EMG (DEVRIES et al., 1982). A possibilidade de se identificar o LFE, mais tarde veio a cunhar a terminologia limiar eletromiográfico (LEMG) (LUCÍA et al., 1999). A justificativa para utilização da eletromiografia de superfície (sEMG) para a determinação do LFE se sustenta nas evidências de que os processos de fadiga neural estão intimamente relacionados aos processos metabólicos de fadiga (CAMIC et al., 2010). Assim, nos exercícios com cargas incrementais, no domínio de tempo (*root mean square*) RMS, é retratado um aumento na amplitude do sinal EMG, que está associado a um recrutamento adicional de unidades motoras (UMs) com maiores limiares de excitabilidade, afim de manter os níveis de força necessários para suprir as demandas impostas pelo exercício (BASMAJIAN; DE LUCA, 1985; CAMIC et al., 2010; HENDRIX et al., 2009). Para localizar o LEMG, os autores propõem a identificação do “*breakpoint*”, caracterizado por um aumento não linear na amplitude do sinal EMG, que pode ser encontrado por meio de modelos matemáticos de regressão linear (CANDOTTI et al., 2008), assim como por inspeção visual dos dados do RMS plotados em função da intensidade do exercício (HUG et al., 2006).

Lucia et al. (1999), avaliaram a possibilidade da associação entre os parâmetros de desempenho neuromusculares e metabólicos em ciclistas de elite. Os resultados encontrados demonstraram duas perdas na linearidade do sinal EMG, destacando a possibilidade da existência de dois limiares, primeiro limiar eletromiográfico (LEMG<sub>1</sub>) e segundo limiar eletromiográfico (LEMG<sub>2</sub>) (LUCÍA et al., 1999). No estudo, ainda foi encontrada uma correlação moderada entre o LEMG<sub>1</sub> e o LL<sub>1</sub> ( $r = 0,64$ ), e uma correlação forte entre o LEMG<sub>2</sub> e o LL<sub>2</sub> ( $r = 0,80$ ) (LUCÍA et al., 1999). Entretanto, a maioria dos experimentos identificaram apenas uma quebra na linearidade do sinal EMG, sendo que o LEMG, tende a apresentar correlações mais fortes com o LL<sub>2</sub> (CANDOTTI et al., 2008), justificando assim, a sua utilização para identificação do LAn (KANG et al., 2014). Essa possibilidade, pode ser evidenciada mediante algumas repostas fisiológicas ratificadas em protocolos incrementais de

carga. Dessa maneira, é observado que à medida que o exercício progride, tornando-se mais intenso, ocorre uma maior produção/acúmulo de lactato e um consequente aumento na acidose metabólica (MASUDA et al., 1999; PITT et al., 2015). Em resposta, o organismo provoca um aumento na ventilação (DEL COSO et al., 2009; KANG et al., 2014), e no instante em que ocorre a transição entre o metabolismo oxidativo para o glicolítico láctico, UMs de contração rápida (PITT et al., 2015), com maiores limiares de excitabilidade (fibras do Tipo IIa e IIb), passam a ser preferencialmente recrutadas em detrimento das de menores limiares de excitabilidade (fibras do Tipo I), mantendo a energia necessária para a contração (MORITANI et al., 1984) e permitindo que o exercício seja prolongado por um período maior de tempo.

Apesar de inúmeros experimentos realizados em cicloergômetro terem comprovado uma relação entre o LEMG, o limiar ventilatório (LV) e o limiar de lactato (LL) para a determinação do LAn (HUG et al., 2006; KANG et al., 2014; LUCÍA et al., 1999), ainda são limitados os estudos que avaliaram tal possibilidade em EE (FRAGA; SILVA; GONÇALVES, 2009; TAYLOR; BRONKS, 1994; TIKKANEN et al., 2012). Nesta linha de investigação, Taylor & Bronks (1994) constataram um aumento não linear das [Lac] antes do “*breakpoint*” do sinal EMG, indicando que os dois parâmetros apresentam respostas dispares na identificação do LAn. Por outro lado, Fraga; Silva; Gonçalves (2009) encontraram uma associação entre o LFE e os parâmetros metabólicos nos músculos TA e GL. Complementarmente, Tikkanen et al. (2012) verificaram uma correlação de ( $r = 0,86$ ) entre o LEMG e o LV<sub>2</sub>, demonstrando que o LEMG pode ser uma alternativa não invasiva para estimar o LV<sub>2</sub>, e portanto, o LAn em corredores fundistas e indivíduos fisicamente ativos. Deste modo, levando em consideração a escassez de estudos abordando tal temática, assim como, a contrariedade entre os existentes, justifica-se a realização de experimentos que busquem elucidar e solidificar a utilização da sEMG como um dos parâmetros para estimar o LAn em corredores fundistas moderadamente treinados, especificamente, por ser uma ferramenta não invasiva, além de fornecer informações valiosas acerca das respostas neuromusculares ocorrentes durante a corrida (GUFFEY et al., 2012).

Recentemente, alguns estudos comprovaram a possibilidade de se determinar o LAn através das [Lac], mediante a aplicação de protocolos incrementais de carga realizado em exercício resistido (MOREIRA et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2006; ROCHA et al., 2010; SIMÕES et al., 2014; SIMÕES et al., 2010). Nesses

experimentos, quando foi determinado o LAn em cargas relativas ao percentual de 1RM durante o LP 45°, verificou-se que o mesmo ficou situado em 30% em idosos saudáveis (SIMÕES et al., 2014; SIMÕES et al., 2010), 31% em portadores de diabetes do tipo 2 (MOREIRA et al., 2008) e entre 32,2 e 36,6% em indivíduos praticantes de musculação (OLIVEIRA et al., 2006; ROCHA et al., 2010). Entretanto, nunca se identificou o LAn durante o ER em corredores fundistas moderadamente treinados. Embora, alguns estudos tenham relatado efeitos positivos na economia de corrida (EC) e na velocidade de pico, quando foi realizado o treinamento da resistência muscular localizada (RML) com cargas próximas aos percentuais acima mencionados, e em combinação com o treinamento tradicional de *endurance* (SEDANO et al., 2013), não se sabe precisamente o percentual de uma repetição máxima (1RM) que deve ser utilizado para o treinamento da RML em corredores fundistas. Principalmente, porque o treinamento tradicional de *endurance* tende a resultar em adaptações fisiológicas peculiares (FAUDE; KINDERMANN; MEYER, 2009) que podem deslocar o LAn para intensidades mais elevadas de esforço (RØNNESTAD et al., 2015), e portanto, diferirem do percentual de carga utilizado para as populações anteriormente estudadas. Devido a esses fatores, ressaltamos a importância de se identificar o LAn durante o exercício resistido (ER) para esta população específica, permitindo assim, um controle mais acurado para a avaliação e a prescrição das cargas de trabalho objetivando um aprimoramento da RML visando o aumento na *performance* de corrida. Adicionalmente, apenas um estudo verificou através da aplicação de um protocolo incremental de carga isométrico a associação entre o LEMG e o LL (DE AGUIAR et al., 2010), no entanto, apesar de ter sido encontrada uma relação entre os parâmetros metabólicos e neuromusculares, a natureza estática da atividade estudada, não condiz com a realidade dinâmica da atividade desportiva, levando a necessidade de estudos que confirmem tal premissa em ER dinâmico.

Contudo, através da associação das variáveis metabólica (LL) e neuromuscular (LEMG), busca-se solidificar e sustentar a importância da sEMG como parâmetro alternativo e/ou complementar para a identificação do LAn em exercício dinâmico descontínuo e resistido, especialmente, por ser uma ferramenta não invasiva, oferecendo nenhum desconforto a população avaliada durante as avaliações periódicas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Identificar os Limiares Eletromiográfico e Lactato durante os protocolos com cargas incrementais realizados na esteira ergométrica e no exercício Leg Press 45°.

### **2.2 Objetivos Específicos**

1. Identificar os Limiares Eletromiográfico e Lactato no protocolo incremental executado na Esteira Ergométrica;
2. Identificar os Limiares Eletromiográfico e Lactato durante o protocolo incremental realizado no exercício Leg Press 45°;
3. Correlacionar os Limiares Eletromiográfico e Lactato, e verificar se os dois parâmetros utilizados para a avaliação apresentam concordância no protocolo incremental executado na Esteira Ergométrica;
4. Correlacionar os Limiares Eletromiográfico e Lactato, e verificar se os dois parâmetros utilizados para a avaliação apresentam concordância durante o protocolo incremental realizado no exercício Leg Press 45°;
5. Correlacionar os valores das [Lac] no qual foi identificado LAn entre os protocolos incrementais realizados na Esteira Ergométrica e no Leg Press 45° e verificar se esses valores apresentam concordância entre ambos os protocolos utilizados.

### **3. HIPÓTESES**

1. O LAn pode ser identificado através dos parâmetros metabólico, [Lac] e neuromuscular, sEMG em um protocolo incremental realizado na Esteira Ergométrica;
2. O LAn pode ser identificado através dos parâmetros metabólico, [Lac] e neuromuscular, sEMG em um protocolo incremental realizado no Leg Press 45°;
3. Existe relação entre os valores das [Lac] onde foram identificados o LAn durante os protocolos incrementais realizados na Esteira Ergométrica e no Leg Press 45°.

## 4. REVISÃO DE LITERATURA

No âmbito da fisiologia do exercício aplicado ao treinamento desportivo, os LTF têm sido alvo de profundo interesse da comunidade científica, especificamente, por sua estreita relação com o desempenho desportivo em provas de longa duração. Tradicionalmente, esses limiares podem ser identificados através de parâmetros metabólicos mediante a análise das curvas de lactato sanguíneo, além de parâmetros neuromusculares, pela análise da amplitude do sinal EMG. Neste contexto, diante dos inúmeros conceitos, critérios de identificação e nomenclaturas encontradas para representar estes fenômenos, esta revisão, com fins didáticos, apresentará em sua sequência uma definição padronizada sobre todos os conceitos que serão adotados no decorrer do presente estudo. Adicionalmente, se em algum momento a temática abordada fugir do desígnio desta revisão, serão indicados alguns estudos complementares para a leitura.

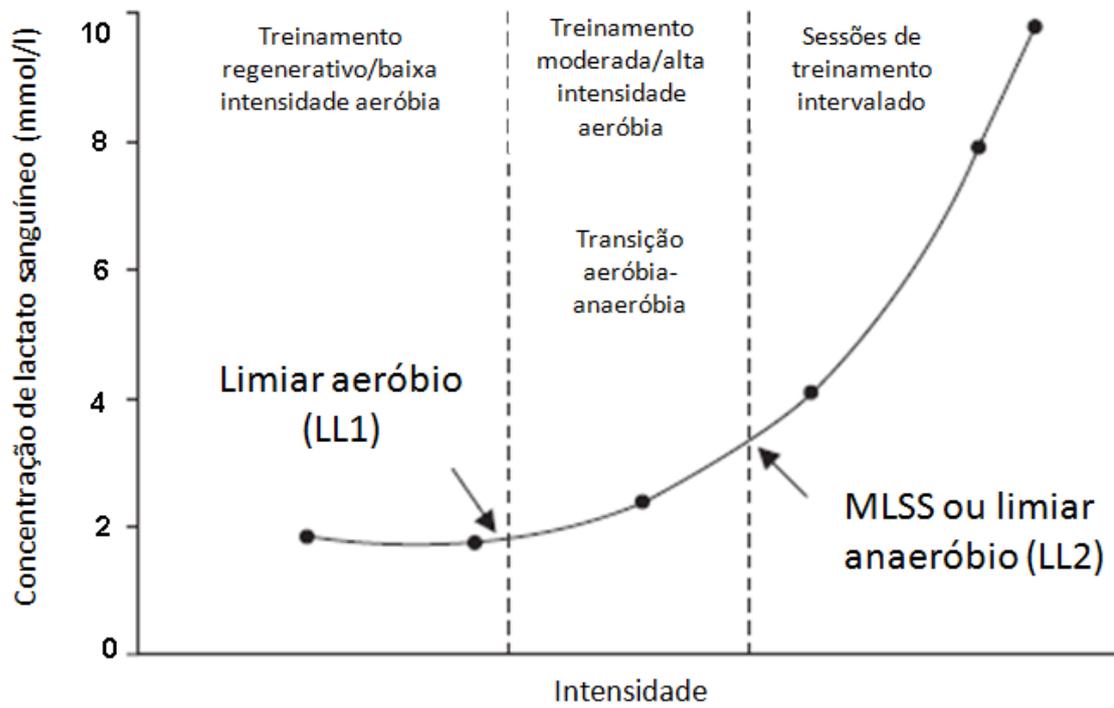
### 4.1 Limiares de Lactato

#### 4.1.1 Introdução e conceitos primários para a prescrição e controle do treinamento aeróbio

Durante a primeira metade do século XX, o  $VO_{2máx}$  foi considerado como o parâmetro pioneiro e mais popularmente difundido para avaliar a *performance* aeróbia em sujeitos com distintos níveis de aptidão física (FAUDE; KINDERMANN; MEYER, 2009). Entretanto, a necessidade de encontrar índices fisiológicos que pudessem diferenciar de maneira mais fidedigna a avaliação do desempenho em atletas que apresentassem  $VO_{2máx}$  similares (BASSETT; HOWLEY, 2000), culminaram em inúmeros estudos que buscaram o estabelecimento de índices alternativos submáximos que permitissem uma avaliação mais apurada dos parâmetros cardiorrespiratórios em atletas de alto rendimento (FAUDE; KINDERMANN; MEYER, 2009; MEYER et al., 2005). Neste sentido, na primeira metade da década de 60, Wasserman & McIlroy (1964) estudando pacientes cardiopatas foram os pioneiros a introduzirem a terminologia limiar aeróbio-anaeróbio. Posteriormente, outros estudos clássicos como o de Kindermann et al. (1979), ressaltaram o conceito de “transição aeróbia-anaeróbia”, enfatizando a sua aplicabilidade para prever a *performance*, assim como auxiliar a prescrição do treinamento para desportos em que a capacidade aeróbia se configura como fator preponderante. Desde então, a aplicação deste

modelo vem sendo aperfeiçoada por diversos estudos mediante ao emprego de marcadores como as [Lac] e as trocas gasosas, onde são comumente identificados dois limiares (LL<sub>1</sub>, LV<sub>1</sub> e LL<sub>2</sub>, LV<sub>2</sub>) (BERGSTROM et al., 2013; DEKERLE et al., 2003; FAUDE; KINDERMANN; MEYER, 2009; KANG et al., 2014; LUCÍA et al., 1999; MEYER et al., 2005; SVEDAHL; MACINTOSH, 2003), encontrados através da utilização de protocolos incrementais (BENTLEY et al., 2007).

De acordo com o modelo proposto por Kindermann et al. (1979), os limiares metabólicos podem ser subdivididos de acordo com os eventos fisiológicos ocorrentes no exercício de cargas incrementais em função do tempo. Resumidamente, os limiares indicam pontos de contribuição de determinado sistema energético para ressintetizar o ATP utilizado para manter a contração muscular (SVEDAHL; MACINTOSH, 2003), podendo serem rotineiramente identificados pelas [Lac] (SVEDAHL; MACINTOSH, 2003). Dessa maneira, o primeiro aumento nas [Lac] em relação aos valores de repouso foi classificado pelos autores como LAe, representado pela atuação do metabolismo quase exclusivamente aeróbio (KINDERMANN et al., 1979). A MFEL, resultante da relação de equilíbrio entre a liberação e a remoção do lactato no sangue foi denominado LAn (KINDERMANN et al., 1979). A partir desse modelo, foi possível obter as diferentes zonas de intensidade do exercício para o treinamento aeróbio em função das [Lac]. Assim, intensidades de exercício com valores menores ou iguais ao LAe foram destacados como tendo grande aplicabilidade para treinos regenerativos e aeróbios de baixa intensidade (FAUDE; KINDERMANN; MEYER, 2009). Em contrapartida, intensidades entre os LAe e LAn (transição aeróbia-anaeróbia) foram recomendadas para os treinamentos de moderada/alta intensidade aeróbia. Complementarmente, intensidades acima do LAn foram recomendadas para sessões de treinamento intervalado (FAUDE; KINDERMANN; MEYER, 2009).



**Figura 1.** Modelo proposto por Kindermann et al., (1979) em que são encontradas as [Lac] em função do tempo, assim como, a inclusão do ponto de transição entre os metabolismos aeróbio-anaeróbio para demarcar diferentes zonas de intensidade do treinamento aeróbio [Fonte: (FAUDE; KINDERMANN; MEYER, 2009)].

#### 4.1.2 Aspectos fisiológicos e critério de determinação

Nos últimos 50 anos, os limiares de lactato tornaram-se uma ferramenta imprescindível para avaliar a capacidade aeróbia, especialmente, em esportes onde essa valência física é considerada como o fator prioritário para a *performance*. Não obstante, existe um consenso de que esses limiares podem ser obtidos através da utilização de testes incrementais, que por sua vez, promovem aumentos nas [Lac], e são tranquilamente quantificadas em função das modificações ocorrentes na intensidade do esforço (CANDOTTI et al., 2008; KUIPERS et al., 2003). Dessa maneira, quaisquer alterações nas [Lac] em diferentes intensidades de exercício, podem ser um excelente indicativo das modificações na capacidade aeróbia do avaliado (BENTLEY et al., 2007; FAUDE et al., 2009; MEYER et al., 2005).

Fisiologicamente, a natureza dos fenômenos que desencadeiam as alterações na cinética das [Lac] em testes incrementais, estão intimamente relacionados aos eventos fisiológicos e bioquímicos que levam os aumentos nos níveis séricos de lactato sanguíneo. Neste sentido, a literatura específica acredita que o quadro de hipóxia, especificamente quando a musculatura é estimulada até a fadiga, está densamente relacionado ao acúmulo de íons  $H^+$ , e a conseqüente redução do pH em maior magnitude na célula muscular (JUDEL et al., 2004; ROBERGS et al., 2004; WASSERMAN et al., 2005) e em menor magnitude na corrente sanguínea (STREET; BANGSBO; JUDEL, 2001). Assim, Gladden (1996) explana que o fator chave para o aumento das [Lac] na musculatura e no sangue são ocasionados primariamente por uma diminuição na  $iPO_2$ , tornando o metabolismo oxidativo, mais dependente de  $O_2$ . Diante deste fato, são necessários maiores aumentos na atividade das coenzimas NAD's, responsáveis por captar e transportar os íons  $H^+$  do citosol para o interior da célula mitocondrial, formando  $NADH^+$ , assim como na requisição de ([ADP] [Pi]/[ATP]) para manter a respiração celular e atender as demandas de ATP (GLADDEN, 2004). Assim, o aumento na produção de lactato no músculo e sangue durante o exercício, estão relacionados ao fato de que sistema aeróbio apresenta maior necessidade de requisitar ([ADP] [Pi]/[ATP]) para compensar o baixos níveis de  $iPO_2$ , sendo esse, um potente estímulo para a glicólise (GLADDEN, 2004).

No decorrer de um exercício e durante as contrações musculares, as [Lac] e os íons  $H^+$  podem subir para níveis bastante elevados (FITTS, 2004). No entanto, já é bem documentado que quaisquer efeitos deletérios da LDH no músculo, acarretando perda de desempenho físico durante o exercício ocorrem devido ao acúmulo de íons

H<sup>+</sup> e não por uma elevação das [Lac] (FITTS, 2004). Além disso, uma vasta literatura têm afirmado que o declínio na capacidade de gerar força muscular máxima está relacionado a uma diminuição no pH da célula muscular (AMENT; VERKERKE, 2009; SAHLIN, 1992). Sendo assim, alguns experimentos sugerem que um músculo com elevadas concentrações de íons H<sup>+</sup> poderia reduzir a eficiência da função muscular pelos seguintes motivos: (a) redução da transição das pontes cruzadas do estado de baixa para alta força, (b) inibição da máxima velocidade de encurtamento, (c) inibição da ATPase miofibrilar, (d) inibição da via glicolítica, (e) inibição da ponte cruzada de Ca<sup>2+</sup> no sítio de ligação da troponina C por competição com os íons H<sup>+</sup>, reduzindo a liberação de Ca<sup>2+</sup> pela inibição da ATPase sarcoplásmica, prejudicando a ligação actina-miosina crucial para o processo de contração muscular (ALLEN; LAMB; WESTERBLAD, 2008; CAIRNS, 2006; FITTS, 2004).

Outras investigações ainda sugerem que o déficit de O<sub>2</sub> não é o único agente envolvido no aumento das [Lac], e que alguns marcadores hormonais sanguíneos como a epinefrina parece estar envolvida na quebra do glicogênio ativando a enzima glicogênio fosforilase contribuindo para a ativação da via glicolítica (BROOKS, 2001; STAINSBY; BRECHUE; O'DROBINAK, 1991), assim como, a presença de quimiorreceptores dos grupos III e IV das vias aferentes que estão relacionadas a sensação de desconforto presente durante a fadiga aguda (WESTERBLAD; ALLEN; LÄNNERGRÉN, 2002). Todavia, devemos ressaltar que apesar do mecanismos prioritários da fadiga ainda serem controversos (para melhor compreensão veja Ament e Verkerke, (2009) e Grassi; Rossiter e Zoladz (2015)), não há uma relação de causa e efeito entre os aumentos nas [Lac] e a fadiga muscular (AMENT; VERKERKE, 2009; BROOKS, 2001), apesar dessa variável metabólica apresentar uma boa correlação com os demais eventos fisiológicos e bioquímicos envolvidos na fadiga conhecidos até a presente data (ALLEN; LAMB; WESTERBLAD, 2008; CAIRNS, 2006; FITTS, 2004; STAINSBY et al., 1991; WESTERBLAD et al., 2002). Neste contexto, devemos considerar o lactato como um importante marcador da intensidade do esforço (PRINGLE; JONES, 2002), principalmente, em protocolos incrementais de carga (DE SOUSA et al., 2011; DI MICHELE et al., 2009; FERLEY; OSBORN; VUKOVICH, 2013), sendo definitivos para uma predição e avaliação da *performance*, além da prescrição da intensidade e controle mais acurado do treinamento aeróbio (BENEKE, 2003; WELTMAN et al., 1990).

Ao longo dos anos, diferentes critérios metodológicos foram utilizados com o intuito de identificar os limiares de lactato a partir de testes incrementais (para melhor compreensão veja Faude; Kindermann e Meyer (2009)). Em uma revisão de literatura bastante criteriosa sobre a influência dos distintos protocolos de testes nos marcadores de desempenho, Bentley et al., (2007) destacaram que a manipulação do tempo de duração dos estágios, assim como, os incrementos na intensidade do esforço podem modificar veementemente as curvas de lactato sanguíneo. Uma das possibilidades para tais discrepâncias, estaria relacionado ao tempo necessário para ocorrer a difusão do lactato para corrente sanguínea, antes que o próximo estágio seja implementado (BENTLEY et al., 2007). Dessa maneira, a literatura aponta que as mensurações mais fidedignas do lactato sanguíneo em protocolos incrementais são encontradas em estágios que apresentam durações entre 3 e 6 min, sendo que 3 min parece ser suficiente para promover a mais válida e reproduzível mensuração do desempenho aeróbio (BENTLEY et al., 2007). Diante dessas recomendações, nesta investigação utilizaremos o método de concentrações fixas de lactato sanguíneo durante protocolo incremental adotado por Heck et al., (1985), com estágios de duração de 3 min.

#### **4.1.3 Primeiro e segundo limiares de lactato**

Atualmente, é bem estabelecido na literatura científica o comportamento trifásico das [Lac] durante a execução de um teste incremental máximo (ALLEN; LAMB; WESTERBLAD, 2008). Através da execução de tal teste, torna-se possível a identificação de dois limiares de lactato determinados a partir das modificações ocorrentes em sua cinética, apresentando dois momentos fisiológicos bastante peculiares. Assim, o primeiro aumento das [Lac] em relação aos níveis basais é considerado como primeiro limiar de lactato (LL<sub>1</sub>) (FAUDE; KINDERMANN; MEYER, 2009; MEYER et al., 2005). Em um estudo recente, Bertuzzi et al., (2013) demonstraram que em intensidades de exercício correspondentes ao LL<sub>1</sub> ocorre maior oxidação de lipídeos, e a partir deste limiar, sucede uma diminuição na participação das vias aeróbias de fornecimento de energia durante um teste incremental. Este fato, ressalta ainda mais o seu caráter transicional do domínio moderado para o pesado (PRINGLE; JONES, 2002). Com o decorrer dos anos a aplicação LL<sub>1</sub> na ciências do esporte de alto rendimento ganhou papel de destaque, sendo utilizado em inúmeros estudos com atletas de *endurance* por sua notável associação com a *performance* em

provas de longa duração (BENTLEY et al., 2007; KINDERMANN et al., 1979). Deve-se ainda destacar, que cerca de 80% do volume de treinamento desses atletas estão situados ao redor do LL<sub>1</sub> (SEILER; KJERLAND, 2006).

Durante um teste incremental, à medida que o exercício torna-se mais intenso, ocorre uma queda acentuada na produção de ATP pela via oxidativa, associado a um aumento nos níveis de ADP e P<sub>i</sub> (GLADDEN, 2004; WESTERBLAD et al., 2002). Essas moléculas, por sua vez, funcionam como moduladores positivos para ativar as enzimas reguladoras da glicólise (GLADDEN, 2004), fosfofrutoquinase e a fosforilase, implicando no aumento progressivo da atividade glicolítica láctica e conseqüentemente do metabolismo anaeróbio (BERTUZZI et al., 2009), gerando um aumento das [Lac]. Neste sentido, o segundo limiar de lactato (LL<sub>2</sub>) pode ser definido como segundo aumento nas [Lac], sendo caracterizado como a mais alta intensidade de esforço que pode ser mantida sem que haja um aumento abrupto e concomitante das [Lac] (FAUDE; KINDERMANN; MEYER, 2009; MEYER et al., 2005), sugerindo um equilíbrio máximo entre as taxas de produção e remoção de lactato (KINDERMANN et al., 1979). A relevância da avaliação do LL<sub>2</sub> para a *performance* se respalda na sua sensibilidade em identificar as melhorias oriundas do treinamento de *endurance* (HOTTENROTT; LUDYGA; SCHULZE, 2012), além de serem um excelente marcador de transição do limite entre o domínio pesado e severo (PRINGLE; JONES, 2002). Devemos ainda salientar, que o avanço das pesquisas em relação aos limiares de lactato fizeram com que esses pontos de transição metabólica tivessem inúmeras terminologias (para verificar mais definições veja Faude et al.,(2009)). Diante desta diversidade, no presente estudo quando formos nos referir ao LL<sub>1</sub>, estaremos nos referindo ao LTF<sub>1</sub> ou LAe (FAUDE; KINDERMANN; MEYER, 2009). Quando formos nos referir ao LL<sub>2</sub>, estaremos nos referindo ao LL, LTF<sub>2</sub> ou LAn (FAUDE; KINDERMANN; MEYER, 2009).

#### 4.1.4 Limiares de lactato em teste incremental na esteira e cicloergômetro

Ao longo dos anos, as [Lac] vem sendo rotineiramente utilizadas para monitorar as adaptações advindas do treinamento de *endurance* (VESTERINEN et al., 2015), graças a sua notória associação com os aumentos no quociente respiratório, assim como as elevações na produção de dióxido de carbono (WASSERMAN, 1978; WASSERMAN; MCILROY, 1964) durante os testes incrementais. Dessa maneira, as [Lac] se destacam como importantes ferramentas fisiológicas na delimitação da transição entre os metabolismos aeróbio-anaeróbio, sendo importantes para determinação das diferentes intensidades do esforço (KINDERMANN et al., 1979), de tal modo que, a MFEL ou o LL<sub>2</sub> tem sido enfatizado recentemente, como um importante marcador do “limite” fisiológico tolerável durante o exercício de *endurance* (KEIR et al., 2015). Nesta linha, com intuito de avaliar os pontos de transição fisiológica através de parâmetros como o VO<sub>2</sub>, a FC e as [Lac], Kindermann et al. (1979) submeteram 7 esquiadores da modalidade *cross-country* a um teste incremental máximo em EE. O protocolo incremental de cargas foi iniciado como uma velocidade de corrida correspondente a 8 km.h<sup>-1</sup>, e a cada 3 min a velocidade foi sucessivamente reajustada em 2 km.h<sup>-1</sup>. No término de cada estágio, o exercício foi interrompido durante 20 seg para a coleta das amostras sanguíneas afim de determinar as [Lac]. Em seguida, foi realizado um teste de 30 min com carga (velocidade) constante, sendo a mesma ajustada em relação a carga correspondente a 4 mmol.l<sup>-1</sup>. No decorrer do teste, as [Lac] foram mensuradas a cada 5 min de exercício. Os resultados durante o teste incremental revelaram que o início do aumento acentuado nas [Lac] em relação ao valor base de 4 mmol.l<sup>-1</sup> é alcançado em cima dos 80% referentes a capacidade máxima de trabalho, sendo que em todos os atletas testados o valor médio foi de 84% correspondente a velocidade de 15,3 km.h<sup>-1</sup>. Entretanto, no teste de carga constante os valores das [Lac] permaneceram inalterados, sendo que nenhum dos avaliados chegaram a fadiga após 30 min de exercício, sugerindo que cargas ajustadas em torno 4 mmol.l<sup>-1</sup> podem ser sustentadas por períodos entre 45 e 60 min em vários casos. Em conclusão, os resultados sugerem que o treinamento de resistência deve ser realizado em intensidades correspondentes ao limiar aeróbio-anaeróbio, onde a uma maior estimulação do metabolismo oxidativo nas células musculoesqueléticas. Didaticamente, os pesquisadores sugeriram que o metabolismo energético fosse rearranjado da seguinte forma: I) LAe: aproximadamente 2 mmol.l<sup>-1</sup> – primeira elevação significativa dos níveis de lactato, II) transição aeróbia-anaeróbia:

aproximadamente 2 a 4 mmol.l<sup>-1</sup> de lactato, III) LAn: 4 mmol.l<sup>-1</sup> – aumento exponencial das [Lac]. Adicionalmente, os autores afirmaram que utilização desses critérios permitiriam determinar individualmente as intensidades da carga de trabalho para diferentes formas de treinamento através da utilização da ergometria, proporcionando assim, um aumento gradual nas cargas de trabalho.

Buscando aprofundar o conhecimento sobre os parâmetros de lactato sanguíneo relacionados com a capacidade aeróbia e a performance de endurance, Yoshida et al. (1987), submeteram 19 estudantes saudáveis do sexo feminino a um teste incremental máximo em cicloergômetro. O protocolo incremental foi iniciado com uma potência equivalente a 0 W, sendo realizado durante um período de 4 min. Posteriormente, a intensidade foi aumentada em 20 W a cada 4 min até a exaustão. Para a determinação dos parâmetros de lactato adotaram-se os seguintes critérios: 1) LL – determinado como VO<sub>2</sub> em que as [Lac] começam a aumentar acima do nível de repouso; 2) LL<sub>1</sub> - determinado como VO<sub>2</sub> em que as [Lac] aumentam 1 mmol.l<sup>-1</sup> acima do nível de repouso; 3) LL<sub>2</sub> - determinado como VO<sub>2</sub> em que as [Lac] atingem um valor de 2 mmol.l<sup>-1</sup>; 4) OBLA - determinado como VO<sub>2</sub> em que as [Lac] atingem um valor de 4 mmol.l<sup>-1</sup>. Durante o estudo, os participantes realizaram 2 testes de 12 min, e a melhor distância encontrada entre ambos foi registrada como o resultado do desempenho. Os resultados demonstraram que os parâmetros de lactato analisados (LL, LL<sub>1</sub>, LL<sub>2</sub>, OBLA) foram altamente correlacionados uns com os outros. Todos os parâmetros de lactato foram relacionados ao VO<sub>2máx</sub> e a *performance* na corrida de resistência com alto coeficiente de correlação. Entretanto, dos quatro descritores de lactato modificados durante o exercício, o LL foi o que melhor se correlacionou com o VO<sub>2máx</sub> e a *performance* da corrida de resistência, sendo, portanto, esse o melhor índice indicativo da capacidade aeróbia e na *performance* de corrida.

No final da década de 90, Roecker et al., (1998) realizaram um estudo bastante complexo que tinha como objetivo avaliar 16 diferentes parâmetros, além do LAI na predição do desempenho competitivo em corridas de longa distância a partir de um teste incremental em EE. Foram voluntários no experimento 427 corredores fundistas, sendo 339 homens e 88 mulheres. O teste de incremental foi iniciado com velocidades correspondentes a 6 e 8 km.h<sup>-1</sup> com incrementos 2 km.h<sup>-1</sup> a estágio com duração 3 min cada até a exaustão. As [Lac] foram coletadas durante o término de cada estágio, assim como após o teste no 1°, 3° e 5° min de recuperação. O LAI foi definido como a velocidade de corrida em que ocorre um aumento líquido na concentração lactato

de 1,5 mmol.l<sup>-1</sup>. O resultado principal do estudo demonstrou que LAI foi o mais forte preditor da capacidade de desempenho específico da corrida de longa distância em comparação com os demais parâmetros avaliados. Foram encontradas fortes correlações entre o LAI e as provas de 1500 m ( $r = 0,88$ ), 5000 m ( $r = 0,91$ ), 10000 m ( $r = 0,92$ ), meia maratona ( $r = 0,93$ ) e maratona ( $r = 0,93$ ). De acordo com esses resultados, a qualidade da predição do desempenho competitivo a partir do dados da EE apresentaram surpreendentemente uma boa precisão podendo ser estimado.

Smith & Jones (2001) realizaram um experimento que teve como objetivo avaliar o nível de concordância entre a VC, VMFEL e da VTL durante a corrida em EE. Participaram do estudo 8 indivíduos do sexo masculino familiarizados com a corrida em EE. Os participantes realizaram um total de 9 visitas ao laboratório, sendo que na primeira foi realizado um teste incremental para a determinação do LL, VTL e o VO<sub>2</sub>máx. As 8 subseqüentes foram para a determinação da VC e da VMFEL. A VC foi determinada a partir de 4 testes de corrida em esteira com velocidades determinadas para que os sujeitos alcançassem sua exaustão dentro de um intervalo de 2 a 12 min. Já a VMFEL foi determinada a partir de 4 a 5 testes de corrida em esteira com até 30 min de duração, sendo definido como a maior velocidade de corrida em que as [Lac] não aumentam mais que 1 mmol.l<sup>-1</sup> depois de 10 a 30 min de exercício. Os resultados não revelaram diferenças significativas entre as variáveis estudadas, sendo para a VC ( $14,4 \pm 1,1$  km.h<sup>-1</sup>), para a VMFEL ( $13,8 \pm 1,1$  km.h<sup>-1</sup>) e para a VTL ( $13,7 \pm 0,6$  km.h<sup>-1</sup>). Entretanto, os autores ressaltam que a VC pode ser subestimada em relação aos demais parâmetros avaliados.

Recentemente, ressaltando a aplicabilidade dos diferentes métodos utilizados para avaliar os limiares aeróbio-anaeróbio, assim como, as mudanças associadas a cinética das [Lac] durante o exercício incremental, Stanula et al., (2013) realizaram um estudo que teve como objetivo determinar o grau de semelhança entre os valores da intensidade do exercício no LAn fornecidos por cinco métodos de análise da curva de lactato, LT<sub>AT</sub> (HUGHSON; WEISIGER; SWANSON, 1987; LUNDBERG et al., 1986), LT<sub>loglog</sub> (BEAVER; WASSERMAN; WHIPP, 1985), 1 mmol AT (COYLE et al., 1984), 4 mmol AT (HECK et al., 1985) e D<sub>max</sub> (CHENG et al., 1992). A amostra foi composta por quatro grupos de atletas do sexo masculino com diferentes habilidades desportivas e experiências de treinamento. O grupo 1 foi constituído por 19 ciclistas de estrada de nível internacional. O grupo 2 foi constituído por 20 ciclistas de estrada de nível nacional. O grupo 3 foi constituído por 24 jogadores de hóquei no gelo da

seleção nacional polonesa. O grupo 4 foi constituído por 22 jogadores de hóquei no gelo da seleção sub-20 nacional polonesa. Os participantes realizaram um teste incremental em cicloergômetro com uma potência inicial de 1 W, com acréscimos de 0,5 W a cada 3 min de estágio. Durante os 30 seg finais de cada estágio, uma amostra de 20  $\mu$ L de sangue arterial foi retirado do lóbulo da orelha dos avaliados. Os resultados do grupo 1 mostram que valores do LAn gerados pelo  $LT_{\log\log}$  foram estatisticamente menores que os valores gerados pelos os métodos  $LT_{AT}$ , 4 mmol AT e  $D_{max}$ , e que os valores de potência determinados pelo 4 mmol AT são estatisticamente diferentes daqueles determinados através 1 mmol AT e  $D_{max}$ . Similarmente ao grupo 1, os resultados do grupo 2 mostram que os valores de potência associados ao LAn gerados pelo  $LT_{\log\log}$  e 1 mmol AT foram estatisticamente diferentes em comparação com os métodos  $LT_{AT}$ , 4 mmol AT e  $D_{max}$ . Para o grupo 3 os valores do LAn gerados pelo  $LT_{AT}$  e 1 mmol AT não foram estatisticamente diferentes. Em relação ao grupo 4, os valores do LAn obtidos mostraram diferenças estatísticas entre os métodos com exceção dos métodos 1 mmol AT e  $LT_{AT}$ . Os autores concluem que os valores do LAn é dependente do método aplicado para analisar a curva de lactato.

Com o objetivo de compreender o significado do LL e para testar a hipótese de que o treinamento de *endurance* aumenta a cinética do lactato, Messonnier et al., (MESSONNIER et al., 2013) avaliaram 12 voluntários do sexo masculino, sendo 6 destreinados e 6 treinados (membros de equipes competitivas de ciclismo e triátlon). Os participante realizaram previamente um teste incremental no cicloergômetro afim de encontrar o LL e o  $VO_{2máx}$ . Para os indivíduos treinados (IT) a carga de trabalho foi iniciada a 120 ou 150 W. Já para os indivíduos destreinados (ID) a carga de trabalho foi iniciada a 75 W. Cada estágio de exercício teve duração de 3 min com aumentos progressivos de 10 W até a exaustão voluntária. Uma amostra de 1 ml de sangue foi retirada no término de cada estágio para posterior análise. No dia subsequente, todos os participantes retornaram ao laboratório para verificar a estabilização das [Lac] durante 60 min de exercício realizado a intensidade do LL anteriormente verificado. A cada 10 min de exercício as [Lac] foram medidas. Os T realizaram mais duas sessões adicionais de exercício com uma intensidade 10% inferior ao LL (LL-10%). Os resultados demonstraram que no LL, as taxas de aparecimento do lactato no sangue foi maior nos IT em comparação com os ID, porém, não foram diferentes quando a intensidade relativa do exercício foi pareada, isto é, (ID – LL vs. IT – LL-10%, 67% do

$VO_{2\text{máx}}$ ). Adicionalmente, a taxa de depuração metabólica nos sujeitos IT foi 34% maior em relação aos sujeitos ID. Quando a intensidade do exercício foi relativizada (67% do  $VO_{2\text{máx}}$ ), a taxa de depuração metabólica foi 97% maior nos IT em comparação com os ID. Como conclusão os autores expõem que a taxa de depuração do lactato atinge seu ápice abaixo do LL, e que o treinamento de *endurance* aumenta a capacidade de produção de lactato, eliminação e depuração.

Contudo, os exercícios incrementais associados as coletas sanguíneas com intuito de caracterizar as relação entre as [Lac] e a carga de trabalho são comumente utilizadas para determinar a intensidade do exercício, assim como monitorar as adaptações oriundas do treinamento de *endurance* (BENTLEY et al., 2007). Sendo, portanto, as bases metodológicas para experimentos mais complexos que visam avaliar as zonas alvos do treinamento de *endurance* (KINDERMANN et al., 1979), além dos diferentes métodos utilizados para avaliar os LTF (MESSONNIER et al., 2013; ROECKER et al., 1998; SMITH; JONES, 2001; STANULA et al., 2013; YOSHIDA et al., 1987), importantes para identificar alterações no estado de treinamento (YOSHIDA; SUDA; TAKEUCHI, 1982) e definir o ponto onde a glicólise anaeróbia passa a ter um papel preponderante na ressíntese do ATP (WASSERMAN et al., 1973).

#### 4.1.5 Limiares de lactato em teste incremental no exercício resistido

Um dos estudos pioneiros que avaliou a cinética das [Lac] em exercício resistido durante a realização de um teste incremental foi realizado por Barros et al., (2004). Participaram do experimento 40 voluntários do sexo masculino, sendo que os mesmos foram divididos em quatro grupos distintos: (LP-T) leg-press treinados, (LP-NT) leg-press não treinados, (RD-T) rosca direta treinados, (RD-NT) rosca direta não treinados. No decorrer das avaliações, os participantes foram encaminhados ao teste de 1RM, afim de estabelecer a carga máxima alcançada. Em seguida, 30 min após o término do teste de 1RM, os voluntários realizaram os testes incrementais nos exercícios propostos. A carga de trabalho foi iniciada a 10% de 1RM, tendo sido acrescido o valor correspondente a 10% de 1RM até exaustão. Cada estágio teve duração 1 min com intervalo passivo de recuperação de 2 min, o qual foram realizadas a coleta do lactato e o reajuste das cargas de trabalho. A análise dos resultados revelaram que nos 4 grupos quando levou-se em consideração os valores relativos de carga em função do LL<sub>2</sub>, não foram encontradas diferenças significativas (LP-T =  $32,22 \pm 4,40\%$ ; LP-NT =  $28,0 \pm 6,32\%$ ; RD-T =  $32,22 \pm 6,66\%$ ; RD-NT =  $28,88 \pm 3,33\%$ ). Entretanto, quando levou-se em consideração os valores absolutos foram encontradas diferenças significativas ( $173,0 \pm 51,97$  kg para LP-T,  $84,10 \pm 18,78$  kg para LP-NT,  $18,73 \pm 4,13$  kg para RD-T e  $10,81 \pm 1,27$  kg para RD-NT). Os resultados do estudo sugeriram que o LL<sub>2</sub> nos exercícios LP e RD são semelhantes somente quando se considera a carga relativa e que o LAn situa-se em torno de 30% de 1RM.

Com o objetivo de avaliar a possibilidade de identificação do limiar glicêmico (LG<sub>2</sub>), assim como, compará-lo e correlaciona-lo ao LL<sub>2</sub>, Oliveira et al., (2006), submeteram 12 indivíduos do sexo masculino adaptados ao exercício resistido a dois testes incrementais realizados no LP 45° e SR. Os protocolos de cargas incrementais foram realizados dois dias após a determinação das cargas de 1RM nos exercícios propostos, sendo adotado um intervalo de no mínimo 20 min entre os exercícios LP 45° e SR. As cargas foram fracionadas em 10, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 70, 80, e 90% de 1RM, cada estágio teve duração de 1 min, totalizando 20 repetições com intervalos de 2 min de recuperação para a coleta sanguínea e reajuste das cargas de trabalho. O término do exercício foi dado pela incapacidade dos voluntários em realizar os exercícios na mecânica correta e/ou realizar o número de repetições completas no tempo estabelecido. As coletas sanguíneas foram realizadas 1 min após o final de cada estágio de exercício. O comportamento da glicemia e do lactato foram

semelhantes em ambos os exercícios. Não foram encontradas diferenças significativas entre as percentuais de 1RM nos limiares de lactato e glicêmico. Assim, no LP 45° ( $36,6 \pm 1,4\%$  e  $32,9 \pm 1,5\%$ ) e SR ( $31,2 \pm 1,2\%$  e  $31,2 \pm 1,8\%$ ). Verificou-se também uma alta correlação entre os LG<sub>2</sub> e LL<sub>2</sub> identificados tanto no LP 45° ( $r = 0,80$ ), quanto no SR ( $r = 0,73$ ).

Em um estudo bastante similar ao anterior, Moreira et al., (2008), avaliaram as repostas do lactato e glicemia durante dois testes incrementais realizados no LP 45° e SR em nove homens portadores de diabetes do tipo 2. A partir de um teste de 1RM previamente realizado em ambos os exercícios, as cargas de trabalho foram fracionadas em 10, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 70, 80, e 90% de 1RM. Cada estágio teve duração de 1 min, onde os sujeitos realizaram um total de 30 repetições com a cadência em 1 seg para a fase excêntrica e 1 seg para a fase concêntrica. Após o final de cada estágio foi adotado um intervalo de 2 min para a coleta sanguínea e o reajuste das cargas de trabalho. A análise dos resultados não mostrou diferenças significativas entre o percentual de 1RM nos limiares identificados por meio dos diferentes métodos no LP 45° (LL<sub>2</sub> =  $31,0\% \pm 5,3\%$  1RM; LG<sub>2</sub> =  $32,1\% \pm 6,1\%$  1RM; LLP<sub>2</sub> =  $36,7\% \pm 5,6\%$  1RM), assim como, no SR (LL<sub>2</sub> =  $29,9\% \pm 8,5\%$  1RM; LG<sub>2</sub> =  $32,1\% \pm 8,5\%$  1RM; LLP<sub>2</sub> =  $31,8\% \pm 6,7\%$  1RM). Concluiu-se que foi possível identificar o LL<sub>2</sub> e LG<sub>2</sub> em exercícios resistidos por diferentes métodos para indivíduos com diabetes tipo 2 sem distinções entre ambos. As intensidades (kg) correspondente a estes limiares situaram-se entre 46% e 60% do peso corporal no LP 45° e entre 18% e 26% do peso do corpo no SR. Portanto, os resultados práticos do estudo indicam que a prescrição dos exercícios resistidos para esta população poderia ser realizada da seguinte forma: 3 séries de 20 a 30 repetições, com 1 min de descanso alternando os grupos musculares exercitados para melhor controle da glicemia.

Simões et al., (2010) realizaram um estudo que teve como objetivo avaliar o impacto do exercício LP 45° nas seguintes variáveis: a) porcentagens de 1RM, b) VFC, c) lactato sanguíneo, além de determinar a relação entre a VFC e o lactato sanguíneo em 10 idosos saudáveis do sexo masculino. Anteriormente ao teste progressivo, o valor 1RM foi determinado em todos os participantes. O protocolo incremental de cargas foi iniciado a 10% de 1RM com aumentos progressivos de 10% até chegar ao valor correspondente a 30% de 1RM. A partir deste valor, os ajustes subsequentes foram de 5% até a exaustão. Em cada porcentagem do esforço os voluntários foram submetidos a 4 min de exercício com um ritmo de 12 repetições por

min, sendo a cadência controlada em 2 seg de extensão e 3 seg de flexão de joelhos e quadril, totalizando 5 seg de exercício, equivalente a 1 repetição. Ao final de 4 min de exercício foi realizada uma pausa recuperativa de 15 min até o próximo estágio. As amostras sanguíneas foram retiradas antes do primeiro esforço (após um período de 10 min de descanso) e imediatamente após cada estágio. A medição da variabilidade dos intervalos R-R para *Poincare Plots* (SD1 e SD2) e os índices no domínio de tempo (RMSSD e RMSM), pressão arterial e lactato sanguíneo foram obtidas em repouso e em todos estágios de exercício. Foram observadas mudanças significativas na VFC e lactato sanguíneo a partir de 30% de 1RM no LP 45°. Adicionalmente, foram encontradas correlações significativas entre o LL2 e o limiar RMSSD ( $r = 0,78$ ), entre o LL2 e o limiar SD1 ( $r = 0,81$ ). Pode-se concluir que as alterações metabólicas e cardiovasculares ocorrem cargas relativamente baixas durante o ER. Os índices da VFC estavam sempre associados as modificações no lactato sanguíneo, indicando a possibilidade da utilização desta variável para demonstrar alterações metabólicas e neurais durante o exercício resistido nesta população específica.

Comparando dois diferentes protocolos incrementais no exercício resistido para a identificação do LL2, Rocha et al., (2010), submeteram 12 voluntários do sexo masculino adaptados ao exercício resistido a dois teste incrementais realizados no LP 45°. Em um dos protocolos foi adotado o percentual relativo ao teste de carga máxima (PI%1RM) com incrementos de 19, 28, 32, 37, 41, 45, 55 e 60% de 1RM, e no outro protocolo, foi adotado o percentual relativo ao peso corporal (PI%PC) com incrementos de 17, 33, 50, 67, 83, 100, 117 e 133% do PC. Os participantes foram aleatorizados para realização de ambos os protocolos, sendo que cada estágio teve duração de 1 min, totalizando 30 repetições. O intervalo de duração entre cada estágio foi de 2 min para o PI%1RM e 1 min para o PI%PC, onde foram realizadas as coletas das amostras sanguíneas e ajuste das novas cargas de trabalho. Não foram observadas diferenças significativas entre o LL2 determinado através de cargas absolutas (PI%1RM –  $72,3 \pm 12,5$  vs. PI%PC –  $65,9 \pm 11,5$ kg) e relativas (PI%1RM –  $32,3 \pm 4,2$  vs. PI%PC –  $31,6 \pm 4,3$ %). Foi encontrada uma alta correlação entre os protocolos incrementais, tanto em cargas absolutas ( $r = 0,90$ ), quanto em cargas relativas ( $r = 0,83$ ). Portanto, independente do protocolo adotado foi possível a identificação do LL2. Os pesquisadores ainda sugerem que a identificação do LL2 através do peso corporal pode ser uma alternativa recorrente na prática pela não dependência de um teste prévio de carga máxima.

De Sousa et al., (2011) estudaram a exatidão da aplicação de quatro diferentes métodos (inspeção visual, log-log, ajuste algorítmico e QLac) na identificação do LL<sub>2</sub> durante um teste incremental no LP 45°. Participaram do experimento 12 indivíduos do sexo masculino com experiência mínima de seis meses em exercício resistido. Quarenta e oito horas após o teste de 1RM, os voluntários foram submetidos a um teste incremental máximo com intensidades relativas a 10%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80% e 90% de 1RM. Cada estágio teve duração de 1 min, onde os sujeitos realizaram um total de 20 repetições com duração de 3 seg para cada uma. Após o final de cada estágio, foi adotada uma pausa recuperativa de 2 min para o reajuste da carga e coleta sanguínea. O LL<sub>2</sub> foi detectado em cada um dos quatro diferentes métodos: a) método de inspeção visual o LL<sub>2</sub> foi encontrado em 26,9 (5,2) % de 1RM, b) método de ajuste algorítmico o LL<sub>2</sub> foi encontrado em 27,8 (3,5) % de 1RM, c) método log-log o LL<sub>2</sub> foi encontrado em 23,3 (3,5) % de 1RM, d) método QLac o LL<sub>2</sub> foi encontrado em 31,6 (9,8) % de 1RM. Foram encontradas diferenças significativas apenas entre os métodos log-log e QLac. A análise de *Bland Altman* mostrou melhor concordância para a inspeção visual em relação ao método de ajuste algorítmico. A inspeção visual, algorítmica e o método log-log detectaram LL<sub>2</sub> em intensidades similares. Dos modelos matemáticos, especialmente o método algorítmico, parecem fornecer resultados fidedignos.

Com o objetivo de identificar o LAn através de parâmetros ventilatórios e lactato sanguíneo durante um teste incremental durante exercício resistido e, posteriormente, analisar as respostas cardiovasculares e metabólicas agudas durante o exercício resistido realizado na intensidade do LL<sub>2</sub>, De Souza et al., (2012) submeteram 10 homens saudáveis a dois protocolos de exercício no LP 45°. Após um teste de 1RM prévio, os voluntários realizaram um teste incremental com o mesmo fracionamento de cargas, número de repetições, cadência de execução, intervalo de recuperação e coleta sanguínea idênticos ao estudo anteriormente mencionado para encontrar o LL<sub>2</sub>. O teste com carga constante foi realizado na intensidade correspondente ao LL<sub>2</sub>. Os participantes realizaram 30 min de treino divididos em 15 séries. Cada série teve duração de 1 min, onde os sujeitos realizaram 20 repetições, sendo que cada repetição teve duração 3 seg. Durante todas as séries foram adotadas pausas recuperativas de 1 min. As [Lac] foram avaliadas no final de cada 3 séries (S3, S6, S9, S12 e S15), onde também foram avaliados os parâmetros ventilatórios. A intensidade do LL<sub>2</sub> e LV<sub>2</sub> foram encontradas respectivamente em  $27,1 \pm 3,7$  e  $30,3 \pm 7,9\%$  de 1RM,

( $p = 0,142$ ). Durante o exercício resistido de carga constante não foram observadas diferenças significativas entre o S9 e S15 nas [Lac] ( $3,3 \pm 0,9$  e  $4,1 \pm 1,4$  mmol.l<sup>-1</sup>;  $p = 0,166$ ), respectivamente; e escala de Borg ( $11,5 \pm 2,9$  e  $13,0 \pm 3,5$ ;  $p = 0,783$ ) respectivamente. Não foram observadas diferenças significativas entre o S6 e S15 para a ventilação min ( $19,4 \pm 4,9$  e  $22,4 \pm 5,5$  L. min;  $p = 0,091$ ), respectivamente; e entre S3 e S15 para o VO<sub>2</sub> ( $0,77 \pm 0,18$  e  $0,83 \pm 0,16$  L. min;  $p = 1,000$ ), respectivamente. Portanto, ER realizado em intensidades correspondentes ao LL<sub>2</sub>, apresentam seus parâmetros ventilatórios, cardiometabólicos e percepção subjetiva de esforço estabilizados.

Em um desenho experimental idêntico ao estudo anterior, porém, analisando desta vez o estado ácido-base, De Sousa et al., (2013), avaliaram 7 homens saudáveis durante um exercício de carga constante executado no LP 45° e realizado no LL<sub>2</sub>. Os resultados demonstraram um aumento significativo entre o repouso ( $0,65 \pm 0,21$  mmol.l<sup>-1</sup>) e a S15 ( $4,58 \pm 1,96$  mmol.l<sup>-1</sup>). Entretanto, a concentração de lactato permaneceu estável durante todo o protocolo de carga constante. O bicarbonato e a pressão parcial de dióxido de carbono tiveram uma redução significativa ( $26,4 \pm 2,1$  mmol.l<sup>-1</sup>,  $2,7 \pm 2,4$  e  $36,0 \pm 2,7$  mmHg no repouso, respectivamente, para  $19,6 \pm 4,3$  mmol.l<sup>-1</sup>,  $-5,0 \pm 3,4$  e  $30,2 \pm 4,0$  mmHg na S15, respectivamente). A saturação de O<sub>2</sub> e pH mantiveram-se constante durante o exercício ( $97,2 \pm 1,8\%$  e  $7,47 \pm 0,03$  no repouso, para  $97,0 \pm 1,4\%$  e  $7,41 \pm 0,05$  na S15). Os autores concluíram que durante o protocolo de carga constante realizado na intensidade do LL, o pH manteve-se constante e esta intensidade de exercício parece corresponder ao estado de equilíbrio metabólico.

Estudando catorze homens idosos, De Sousa et al., (2013) identificaram e compararam o LAn no LP 45° e SR. Os voluntários realizaram dois teste incrementais máximos 48 horas depois do teste de 1RM. As intensidades da cargas foram selecionadas em 10, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60 e 70% de 1RM. Em cada série foram realizadas 20 repetições com duração de 1 min (3 seg para cada repetição), sendo que no término de cada estágio houve um repouso passivo para a coleta do lactato sanguíneo, FC e PSE, seguido pelo ajuste da carga para o estágio posterior. O LAn no LP 45° ocorreu em ( $27,9 \pm 5,0\%$  de 1RM), estatisticamente superior ao SR, que foi encontrado em ( $21,5 \pm 3,1\%$  de 1RM). Entretanto, as [Lac] foram inferiores no LP ( $1,36 \pm 0,40$  mmol.l<sup>-1</sup>) em comparação com o SR ( $1,92 \pm 0,38$  mmol.l<sup>-1</sup>), os valores da FC e PSE não apresentaram diferenças significativas entre os exercícios avaliados.

Garnacho-Castaño et al., (2015) examinaram as repostas agudas nas variáveis metabólicas, mecânicas e cardíacas durante o exercício de meio agachamento realizado em uma carga de trabalho correspondente ao LL<sub>2</sub>. Treze indivíduos saudáveis do sexo masculino realizaram 3 protocolos de teste no MA separados por um intervalo de 48 horas de repouso, sendo divididos da seguinte forma: 1º) teste de 1RM, 2º) teste de carga incremental para estabelecer o LL<sub>2</sub>, de acordo com os procedimentos adotados por De Sousa et al., (2012), porém, até 40% de 1RM, 3º) exercício de carga constante. Para o exercício de carga constante na intensidade do LL<sub>2</sub>, foram realizadas 21 séries de 15 repetições com um intervalo de 1 min de descanso entre as séries. Cada série teve duração de 30 seg e cada repetição teve 2 seg de duração, sendo adotado, 1 seg para a fase excêntrica e 2 seg para a fase concêntrica. Neste teste, as amostras sanguíneas foram coletadas anteriormente a aplicação do mesmo, e 30 seg após o término das respectivas séries (S3, S6, S9, S12, S15, S18 e S21). Antes e após o teste de carga constante na intensidade do LL<sub>2</sub>, foram determinadas a altura do salto (AS), potência média (PM) e potência de pico (PP) através do CMJ. Durante o teste de carga constante as [Lac], assim como a FC mantiveram-se estáveis, enquanto foram detectadas reduções significativas na AS, PM e PP. Foram observadas fracas correlações entre as [Lac] e a AS, PM e PP. Portanto, o meio agachamento executado na intensidade do LL<sub>2</sub> provoca respostas estáveis nas [Lac] e FC dentro do metabolismo predominantemente aeróbio, no entanto, esta modalidade de exercício induz a uma significativa fadiga mecânica.

Recentemente, Maté-Muñoz et al., (2015) conduziram um estudo que objetivou primeiramente determinar a intensidade de exercício correspondente ao LL<sub>2</sub> no meio agachamento, e posteriormente, avaliar os efeitos agudos do exercício de carga constante na intensidade do LL<sub>2</sub> nas variáveis metabólicas e cardiorrespiratórias em 24 homens saudáveis. Os procedimentos do estudo foram divididos em 3 sessões de testes: 1ª) teste de 1RM, 2ª) teste de carga incremental para determinar o LL<sub>2</sub>, seguindo os mesmos procedimentos adotados por Garnacho-Castaño et al., (2015), 3ª) exercício de carga constante de acordo com os procedimentos propostos por Garnacho-Castaño et al., (2015). Durante o teste, a FC, o VO<sub>2</sub>, a produção dióxido de carbono (VCO<sub>2</sub>), ventilação min (VE), razão de troca respiratória (RTR), o equivalente ventilatório de O<sub>2</sub> (VE.VO<sub>2</sub><sup>-1</sup>), o equivalente ventilatório de CO<sub>2</sub> (VE.VCO<sub>2</sub><sup>-1</sup>) foram monitorados. O LL<sub>2</sub> situou-se em 24,8 ± 4,8% de 1RM nos participantes. As [Lac] não tiveram variações significativas entre as S3 e S21. A FC também não variou

significativamente entre as S6 e S21. As variáveis respiratórias  $VO_2$ ,  $VCO_2$ , e  $VE \cdot VCO_2^{-1}$  estabilizaram-se na S3 até o término do teste, enquanto a  $VE$  e  $VE \cdot VO_2^{-1}$  estabilizaram a partir da S6 até a S21. A RTR não variou significativamente em todas as séries de exercícios. Os autores concluem que as variáveis cardiorrespiratórias e metabólicas mantiveram-se estáveis no decorrer do teste de carga constante na intensidade do LL2.

Em suma, diante dos inúmeros estudos que foram abordados, parece estar bem estabelecido na literatura a possibilidade de se identificar o LAn durante ER em diferentes populações com diversos níveis de treinamento (BARROS et al., 2004; DE SOUSA et al., 2013; MOREIRA et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2006; SIMÕES et al., 2010), assim como em diferentes tipos de exercícios (BARROS et al., 2004; MATÉ-MUÑOZ et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2006) e métodos para se determinar a curva de lactato sanguíneo (DE SOUSA et al., 2011; MOREIRA et al., 2008). Adicionalmente, existe um consenso de que o LAn pode ser determinado em valores relativos próximos a 30% de 1RM. Porém, os experimentos abordados nesta revisão avaliaram em sua maioria indivíduos saudáveis e/ou com alguma experiência prévia em exercícios resistidos (BARROS et al., 2004; DE SOUSA et al., 2013; DE SOUSA et al., 2012; DE SOUSA et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2006), além de idosos (SIMÕES et al., 2010; DE SOUSA et al., 2013) e diabéticos não insulino-dependentes (MOREIRA et al., 2008). Entretanto, nenhum destes avaliou a possibilidade de identificação do LAn em corredores fundistas moderadamente treinados, o que de fato, aperfeiçoaria a prescrição e o controle do TR para essa população específica.

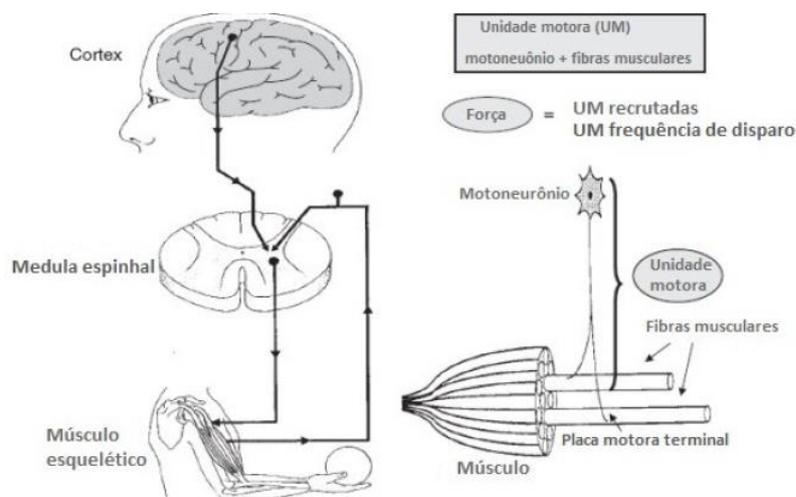
#### **4.1.6 Relação dos limiares de lactato em testes incrementais dinâmicos e exercício resistido**

Na literatura específica, apenas o estudo de Simões et al., (2014), teve como objetivo determinar LAn durante protocolos incrementais de exercícios dinâmico e resistido através dos parâmetros cardiovasculares, metabólicos e autonômicos. Quatorze idosos do sexo masculino aparentemente saudáveis foram submetidos aos seguintes a quatro diferentes testes: I) teste incremental em rampa no cicloergômetro para o cálculo da potência máxima (PM), II) teste de 1RM no LP 45°, III) teste descontínuo de esforço no cicloergômetro (DET-C), IV) teste incremental de esforço no LP (DET-L). Para o DET-C, após um intervalo de 5 min de repouso, o protocolo foi iniciado com uma carga correspondente a 10% da PM previamente avaliada, com incrementos de 10% a cada estágio com duração de 3 min até a exaustão. Para o DET-L, após um intervalo de 10 min de repouso, o protocolo foi iniciado com uma carga correspondente a 10% de 1RM e com aumentos subsequentes até a exaustão. Em cada estágio do exercício, os voluntários foram submetidos a 2 min de exercício, com uma cadência de 12 repetições por minuto, sendo 2 seg de extensão e 3 seg de flexão dos joelhos e quadril, totalizando 5 seg ou 1 repetição. Em ambos os protocolos foram utilizadas pausas recuperativas de 5 min no término de cada estágio de exercício, onde foram realizadas as coletas sanguíneas, FC, pressão arterial sistólica (PAS) e reajuste das cargas de trabalho. Não foram encontradas diferenças significativas entre os métodos para determinar o LAn ([Lac] e VFC), nem na intensidade relativa correspondente ao LAn entre os exercícios (DET-C vs. DET-L). Também não foram encontradas diferenças significativas entre o DET-C e o DET-L na VFC, apesar do DET-L apresentar maiores valores de PAS e [Lac] a partir de cargas de trabalho acima do LAn. Pode-se concluir que a VFC foi eficaz na determinação do LAn, e a modulação da resposta parassimpática obtidas durante protocolos de exercícios dinâmico e resistido foram similares quando foi comparado na mesma intensidade relativa. No entanto, apesar da existência deste estudo, nenhum outro experimento determinou o LAn em corredores fundistas moderadamente treinados a partir de protocolos incrementais realizados em EE e ER. A hipótese de uma provável correlação entre ambos os protocolos poderia ser determinante na inclusão do teste incremental em ER para a avaliação e controle do TR nesta população específica, sobretudo, pelo fato de que o mesmo, retrata com

acurácia os LTF que são bastante compassivas as mudanças inerentes ao treinamento de *endurance*.

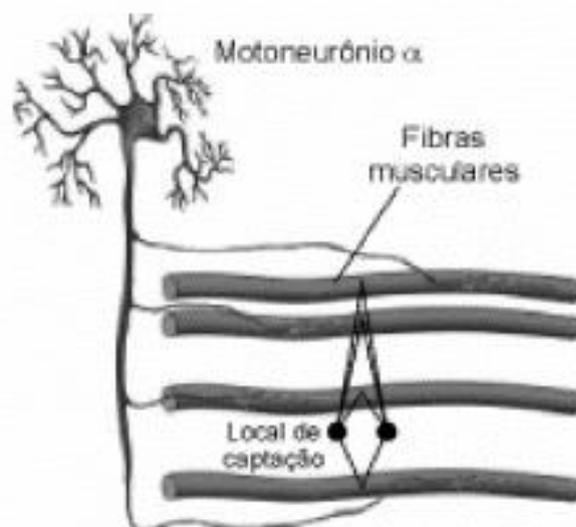
#### 4.2 Considerações sobre a eletromiografia de superfície

Por definição a sEMG pode ser entendida como o estudo da função muscular através do sinal elétrico provido dos músculos (BASMAJIAN, 1973). O controle do SNC frente as funções musculares são coordenadas pelo córtex motor através de informações advindas dos mecanorreceptores, representados principalmente, pelos fusos musculares e os órgãos tendinosos de Golgi. Essas estruturas periféricas, são capazes de emitirem informações referentes ao estado das fibras musculares para o SNC por intermédio das vias aferentes (HALL; GUYTON, 2011). Neste contexto, as fibras musculares caracterizam-se como células excitáveis, sendo capazes propagar rapidamente os sinais elétricos oriundos de um determinado estímulo (BOTTINELLI; REGGIANI, 2000). Quando a natureza desse estímulo apresenta magnitude suficiente para provocar uma despolarização, o PA é propagado ao longo da membrana atingindo em seguida o meio intracelular, e sucessivamente, gerando contração muscular (MERLETTI; PARKER, 2004; MORITANI; STEGEMAN; MERLETTI, 2004). Todas essas ações supracitadas, podem ser desempenhadas graças à intervenção das UMs, que são estruturas mediadoras responsáveis pela integração entre o SNC e as fibras musculares (WAKELING; UEHLI; ROZITIS, 2006).



**Figura 2.** Modelo esquemático proposto por Moritani; Stegeman e Merletti (2004), onde estão representados os mecanismos prioritários envolvidos no controle motor. [Fonte: adaptado de Merletti e Parker, (2004)].

Em condições normais, um PA advindo do SNC pelas vias eferentes, propaga-se pelos motoneurônios  $\alpha$  ativando todos os seus ramos, e continuamente, ativam todas as fibras musculares de uma UM (PATON; WAUD, 1967). O PA é resultante de uma rápida e sinóptica inversão de polaridade da membrana pós-sináptica das fibras musculares, sendo ininterruptamente despolarizada e repolarizada. Esta despolarização e repolarização estão relacionadas com uma distribuição desigual de íons entre as faces internas e externas das membranas, além da abertura de canais iônicos seletivos de  $\text{Na}^+$  (influxo) e  $\text{K}^+$  (efluxo) que desencadeiam alterações eletroquímicas específicas favorecendo a movimentação desses íons entre essas faces e deflagrando o PA ao longo das fibras musculares (MERLETTI; PARKER, 2004; MORITANI; STEGEMAN; MERLETTI, 2004). Para que a contração seja mantida, o SNC envia uma sequência destes PA, a fim de que as UMs sejam repetidamente recrutadas, desencadeando uma sequência de “trem de pulsos” (MERLETTI; PARKER, 2004; MORITANI; STEGEMAN; MERLETTI, 2004). Desse modo, o sinal EMG é o resultante do somatório desses “trens”, assim, a sEMG apresenta a capacidade de captar o somatório dos PA das UMs e transmiti-las através de eletrodos localizados nas regiões periféricas da pele para análises posteriores (BASMAJIAN, 1973; BURKOW-HEIKKINEN, 2011).



**Figura 3.** Representação de um motoneurônio  $\alpha$  e as respectivas fibras por ele inervadas, assim como o local de captação dos eletrodos [Fonte: adaptado de De Luca, (1997)].

Inúmeros fatores são capazes de interferir na coleta do sinal EMG, podendo ser subdivididos em dois grandes grupos: os extrínsecos, que são os modificáveis, e os intrínsecos, que são os imodificáveis. Nos fatores extrínsecos, encontram-se as questões metodológicas que podem ser manipuladas para que se obtenha dados mais fidedignos, tais como: o modelo e o posicionamento dos eletrodos utilizados, o ponto motor e as precauções na assepsia da pele que incluem limpeza, remoção dos pêlos e leve abrasão para a remoção de células mortas (HERMENS et al., 2000; RAINOLDI et al., 2004). Nos fatores intrínsecos, encontram-se todos os elementos que não podem ser modificados ou minimizados, tais como: o percentual de gordura do avalizado, o *cross-talk*, ou seja, a interferência das musculaturas vizinhas, temperatura corporal e o fluxo sanguíneo muscular (GABRIEL et al., 2007; HUG, 2011).

O sinal EMG pode ser captado através da utilização de eletrodos invasivos, sendo esses, de fio ou agulha, ou eletrodos não invasivos, de superfície. Os eletrodos de fio e/ou agulha apresentam a característica de fixarem-se somente em uma unidade motora específica (KOMI et al., 2000). Adicionalmente, ainda existem algumas complexidades inerentes a própria técnica que estão relacionadas, sobretudo, a necessidade de uma acurada esterilização dos eletrodos utilizados, riscos de quebra dos mesmos dentro da musculatura avaliada, além do desconforto ocasionado aos avaliados, sendo proeminente em exercícios dinâmicos (DE LUCA, 1997). Em contrapartida, os eletrodos de superfície são vastamente utilizados por sua notória praticidade, além de ser um método evasivo capaz de fornecer informações sobre os PA de todas as UMs que estão localizadas próximas as superfícies de captação dos eletrodos (KALMAR; CAFARELLI, 2006). Para a eletromiografia de superfície utilizam-se dois eletrodos para a captação do sinal EMG, e um eletrodo localizado em uma superfície neutra, o denominado eletrodo de referência. Neste sistema de amplificação diferencial, os PA que atingem o par de eletrodos localizados sobre a musculatura são comparados ao eletrodo de referência, sendo assim, amplificados para as análises subsequentes (DE LUCA, 1997; MERLETTI et al., 2002).

Outro ponto relevante de discussão, corresponde as configurações físico-químicas dos eletrodos, além do posicionamento dos mesmos sobre a musculatura. Com intuito de minimizar as distinções e propiciar uma comparação mais legítima entre estudos similares, Hermens et al., (2000), realizaram uma elegante revisão

denominada projeto SENIAM, onde foram publicadas algumas recomendações sobre o estudo das técnicas e procedimentos envolvendo a sEMG, baseados em um levantamento de 114 artigos publicados entre os anos de 1991 e 1996. Em relação aos procedimentos para o posicionamento dos eletrodos, recomenda-se que os mesmos não estejam localizados sobre os pontos motores, e que suas superfícies de captação estejam separadas por uma distância de no máximo 40 milímetros, sendo posicionadas na região do ventre muscular (HERMENS et al., 2000). Com relação as configurações físico-químicas recomenda-se a utilização de eletrodos ativos com o seu amplificador diferencial próximo a superfície de captação, confeccionada com material composto de AgCl associado a um gel condutor eletrolítico (HERMENS et al., 2000).

Após a coleta do sinal EMG, existem algumas estratégias que visam minimizar a presença de ruídos do sinal obtido, a partir do uso de filtros através de *softwares* específicos. Dentre os filtros utilizados, destacamos o filtro *Butterworth*, sendo o mais indicado para aplicações que requerem a preservação da amplitude do sinal no delimitador de banda, denominado “filtro passa-banda”, permitindo que as frequências de corte menores  $F_{c1}$  e maiores que  $F_{c2}$  sejam atenuadas ao valor de zero. A  $F_{c1}$  elimina os componentes de alta frequência ocasionados pelos movimentos dos cabos durante o exercício, assim como, a interação entre a superfície de captação do eletrodo e a pele, estando usualmente numa amplitude de 0 a 20 Hz. A  $F_{c2}$  elimina os componentes de baixa frequência que estão em uma amplitude acima de 500 Hz. Dessa maneira, De Luca (1997) recomenda a utilização do “filtro passa-banda” numa amplitude de 20 a 500 Hz.

Após o sinal EMG ter sido captado e tratado ele passa por um processo de quantificação espectral, podendo ser analisado no domínio de tempo, onde são observadas mudanças em sua amplitude, assim como, no domínio de frequência, onde são verificadas modificações em sua frequência de disparo (ROBERTSON et al., 2013). Para o domínio de tempo utiliza-se a quantificação com base no cálculo da raiz quadrática média (RMS), sendo rotineiramente utilizada na literatura envolvendo a sEMG (CROZARA et al., 2015; GUFFEY et al., 2012). Para o domínio de frequência, utiliza-se a quantificação com a base no algoritmo da transformada rápida de *Fourier* (FFT), podendo gerar os valores em frequência média, como também, em frequência mediana, sendo de grande valia nas análises que envolvem o estudo da fadiga muscular (FARINA et al., 2002). No entanto, é notória a aplicabilidade da análise no

domínio temporal para o estudo da fadiga muscular em exercícios em que a resposta metabólica é prioritariamente aeróbica (HUG et al., 2003a;2003b; HUG et al., 2006).

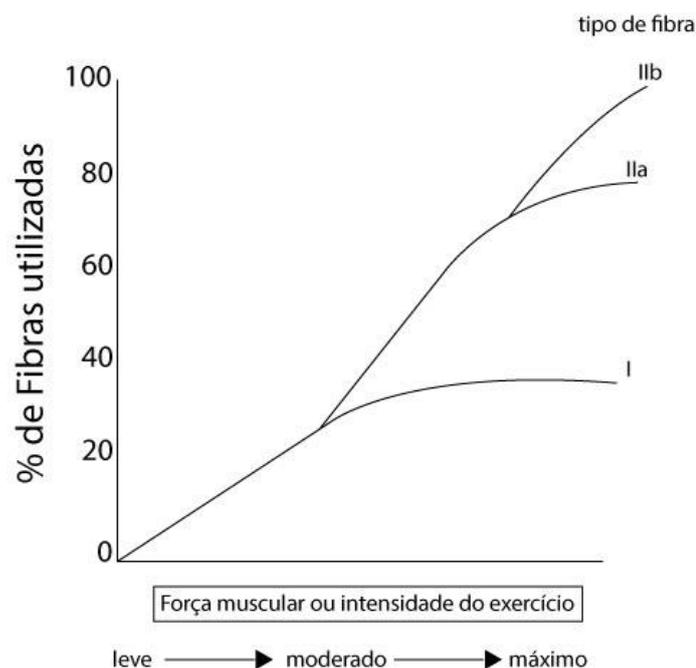
### 4.3 Limiar Eletromiográfico

No que se refere ao conceito de LEMG devemos primeiramente nos atentar as definições mais antigas de LFE (MORITANI et al., 1981). Descrita na literatura como a mais alta potência que pode ser sustentada sem que ocorra um aumento significativo na amplitude do sinal EMG indicando o início da fadiga neuromuscular (DEVRIES et al., 1982; DEVRIES et al., 1990). Posteriormente, outros estudos propuseram a existência de um “*breakpoint*” na amplitude do sinal EMG (HUG et al., 2003b; JÜRIMÄE et al., 2007; LUCÍA et al., 1999), e finalmente, passaram a adotar a nomenclatura LEMG. Sendo assim, devemos ressaltar que apesar do LFE e o LEMG se diferirem quanto ao critério de determinação, não se diferem acerca dos eventos fisiológicos e neuromusculares ocorrentes durante o exercício. Dessa maneira, quando formos nos referir ao LFE/LEMG, estaremos nos referindo ao mesmo fenômeno, o que diferenciará a nomenclatura utilizada será o critério de determinação utilizado para avaliar tal fenômeno.

A sEMG é uma ferramenta amplamente utilizada para quantificar o nível de ativação do trabalho muscular, assim como, para detectar os sinais premonitórios associados a fadiga muscular (HUG et al., 2003b). A fadiga muscular é usualmente identificada mediante as respostas no domínio de tempo (LUCÍA et al., 1999), e na frequência (CAMIC et al., 2010) do sinal EMG. No domínio de tempo, que é o foco de nosso estudo, a fadiga é caracterizada por um aumento na amplitude do sinal EMG no envoltório RMS, que é representado por um recrutamento adicional de UMs, afim de compensar o déficit de contratilidade de outras UMs que já se encontram fatigadas (MORITANI; DEVRIES, 1978). Embora esses mecanismos não tenham sido completamente elucidados, Moritani & Yoshitake (1998), descrevem que o acúmulo de subprodutos metabólicos na célula muscular, tais como lactato e íons H<sup>+</sup>, afetariam o ciclo excitação-contração do músculo, tornando a contratilidade deficiente e provocando uma diminuição da força que só seria compensada a partir do recrutamento adicional de UMs. Dimitrov et al., (2008) ainda acrescentam que o recrutamento seletivo de UMs pode estar atrelado as condições de hipóxia tecidual desenvolvidas progressivamente no decorrer dos exercícios que apresentam características incrementais de cargas.

Em relação as UMs, destacamos que as mesmas podem ser subdivididas em três grupos: as do tipo I, que apresentam característica metabólicas oxidativa, as do tipo IIa, que apresentam características intermediárias com participação do

metabolismo oxidativo e glicolítico, e as do tipo IIb, que apresentam características metabólicas glicolíticas (MORITANI et al., 2004). Nas décadas de 1960 e 1970, Henneman e colaboradores realizaram uma série de experimentos essenciais que solidificaram as bases da compreensão sobre o recrutamento seletivo das UMs durante o exercício (HENNEMAN et al., 1974; HENNEMAN; SOMJEN; CARPENTER, 1965), dando origem ao que hoje conhecemos como o princípio do tamanho de Henneman. De acordo com este princípio, as UMs do tipo I que possuem menores diâmetros de axônios e requerem diferenças de potenciais menores para atingir o limiar de excitabilidade, são primeiramente recrutadas em esforços de baixa intensidade. Em contrapartida, as UMs do tipo IIa e IIb que possuem maiores diâmetros de axônios e requerem diferenças de potenciais maiores para atingir o limiar de excitabilidade são posteriormente recrutadas à medida que a intensidade do esforço é aumentada.



**Figura 4.** Representação do princípio do tamanho de Henneman [Fonte: adaptado de HENNEMAN et al., (1965) e (1974).]

Sendo assim, se fizermos um paralelo com os exercícios incrementais, como os testes convencionalmente utilizados para a determinação dos limiares, as UMs de menor limiar de excitabilidade, fundamentalmente, fibras do tipo I serão inicialmente recrutadas. Posteriormente, à medida que a intensidade do esforço é aumentada e a

fadiga começa a se instalar progressivamente nas UMs do tipo I, novas UMs com maior capacidade de gerar força, essencialmente, fibras do tipo IIa e IIb vão sendo preferencialmente recrutadas até que a fadiga impeça a continuidade do exercício. Nesta linha de entendimento, Dimitrov et al., (2008) ainda evidencia que cada tipo de UM requer um tempo específico para ser fadigada, portanto, enquanto uma está finalizando sua participação no processo de contração a outra estará apenas iniciando seu processo de contribuição durante o exercício.

Contudo, o recrutamento adicional de UMs de contração rápida representa uma quebra na linearidade, ou o “*breakpoint*” do sinal EMG refletindo um aumento não linear no envoltório RMS (HUG et al., 2003b; MORITANI; DEVRIES, 1978). Este “*breakpoint*” foi denominado na literatura específica como o LEMG (JÜRIMÄE et al., 2007), sendo encontrado através de modelos matemáticos de regressão linear (CANDOTTI et al., 2008), assim como, pelo método da inspeção visual dos dados do RMS plotados em função da intensidade do esforço (CAMATA et al., 2009).

#### 4.3.1 Limiar eletromiográfico em teste incremental na esteira ergométrica

Apesar da utilização do LEMG como um importante marcador da intensidade do esforço ter se consolidado no meio científico, observamos que a maioria dos estudos avaliou a ocorrência de tal fenômeno em testes realizados em cicloergômetro (CAMIC et al., 2010; CANDOTTI et al., 2008; DEVRIES et al., 1982; HUG et al., 2006; HUG et al., 2003b; JÜRIMÄE et al., 2007; KANG et al., 2014; LUCÍA et al., 1999), porém, limitadamente em esteira ergométrica (CROZARA et al., 2015; GUFFEY et al., 2012; TAYLOR; BRONKS, 1994). Isto porquê o padrão constante de movimento durante testes realizados em cicloergômetro contribui para que o sinal EMG seja mais estável, facilitando assim, a detecção do LEMG (CROZARA et al., 2015). Guffey et al. (2012) realizaram um estudo que teve como objetivos encontrar o limiar de fadiga com base nas respostas eletromiográficas e frequência cardíaca, além de propor um novo limiar de fadiga denominado  $RV_{EMGFT}$  e  $RV_{HRFT}$ , definidos como a velocidade média mais alta que resultou num coeficiente de inclinação não significativo vs. relação de tempo e velocidade mais baixa que resultou em coeficiente de inclinação significativamente positivo para a amplitude EMG e a FC. Onze homens saudáveis foram submetidos a um teste incremental máximo realizado em esteira ergométrica. O protocolo incremental foi constituído de um aquecimento de 3 min a uma velocidade de  $4,83 \text{ km.h}^{-1}$  com inclinação de  $0^\circ$ . O teste foi iniciado a uma velocidade de  $6,44 \text{ km.h}^{-1}$ , sendo a mesma, aumentada em  $1,61 \text{ km.h}^{-1}$  a cada 2 min com a inclinação mantida em  $0^\circ$ . A partir de  $14,49 \text{ km.h}^{-1}$  o grau de inclinação foi aumentado de 2 em  $2^\circ$  a cada 2 min até a exaustão voluntária dos avaliados. Um monitor de FC foi utilizado durante todo o processos de coleta, assim como um eletromiógrafo, onde foram captados os dados da atividade eletromiográfica do músculo VL. Os resultados revelaram diferenças significativa entre as velocidades médias para o  $RV_{EMGFT}$  ( $11,7 \pm 0,6 \text{ km.h}^{-1}$ ) e  $RV_{HRFT}$  ( $8,3 \pm 0,8 \text{ km.h}^{-1}$ ), demonstrando que existem disparidades entre os fatores cardíacos e neuromusculares de fadiga. Entretanto, o limiar de fadiga pôde ser determinado a partir de um único teste incremental através da amplitude do sinal EMG no envoltório RMS, assim como pela FC.

Com o objetivo de examinar se a utilização de eletrodos acoplados em bermuda têxtil são capazes de estimar o  $LV_2$  através da sEMG, Tikkanen et al. (2012) avaliaram 28 voluntários do sexo masculino, sendo 12 corredores de *endurance* e 16 indivíduos fisicamente ativos. O protocolo do teste incremental realizado em esteira ergométrica

tiveram estágios de 3 min com incrementos de 1 km.h<sup>-1</sup> a cada estágio. A velocidade inicial variou de 5 a 11 km.h<sup>-1</sup> e foi definida de acordo com o tempo de treinamento e a FC durante o aquecimento. A cada estágio a esteira foi brevemente interrompida para a coleta sanguínea para a posterior análise do lactato. O VO<sub>2</sub> foi medido através de um analisador de gases e a atividade eletromiográfica foi coletada através de uma bermuda específica com os eletrodos sobrepostos nas seguintes musculaturas: VL, VI, VM, RF, BF, SM, e ST. O LEMG foi calculado a partir da soma da atividade eletromiográfica das musculaturas estudadas. Em corredores de *endurance*, o OBLA ocorreu em 56 ± 6 mL. Kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>, o LV<sub>2</sub> em 59 ± 6 mL. Kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> e o LEMG em 62 ± 6 mL. Kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> sem diferença significativa entre os métodos de identificação. Nos indivíduos fisicamente ativos, o OBLA ocorreu em 40 ± 10 mL. Kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>, o LV<sub>2</sub> em 43 ± 7 mL. Kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> e o LEMG em 41 ± 9 mL. Kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> sem diferença significativa entre os métodos de identificação. Para todo o grupo, foi encontrada uma correlação de (r = 0,86) entre o LEMG e o LV<sub>2</sub> e de (r = 0,84) LEMG e o OBLA. Estes resultados indicam que o LEMG pode ser uma ótima alternativa não invasiva para estimar o LV<sub>2</sub>.

Camic et al. (2014) realizaram um experimento que teve como objetivos: (A) verificar se o modelo matemático de limiar de fadiga (PWC<sub>FT</sub>) a partir das variáveis eletromiográficas proposto por De Vries et al. (1982) seria capaz de estimar a capacidade de trabalho físico em EE; (B) comparar a velocidade de corrida encontrada entre as diferentes variáveis estudadas, ou seja, o PWC<sub>FT</sub>, o LV e o PCR. Quinze homens e mulheres moderadamente treinados foram submetidos a um teste incremental em esteira ergométrica. O protocolo incremental foi iniciado a uma velocidade de 9,7 km.h<sup>-1</sup> com aumentos de 1,6 km.h<sup>-1</sup> a cada minuto até fadiga voluntária. Durante todo teste utilizou-se uma inclinação constante de 1%. A coleta dos dados referentes ao VO<sub>2</sub> durante o exercício, que posteriormente determinaram o LV, assim como PCR foi utilizado um analisador de gases. A análise da resposta eletromiográfica foi realizada a partir dos dados do músculo VL. Os resultados revelaram diferença significativa entre as velocidades de corrida em que ocorreu o LV (11,3 ± 1,3 km.h<sup>-1</sup>), e o PWC<sub>FT</sub> (14,0 ± 2,3 km.h<sup>-1</sup>), e LV e o PCR (14,0 ± 1,8 km.h<sup>-1</sup>). Porém, não houve diferença entre o PWC<sub>FT</sub> e o PCR. Os resultados do estudo indicaram que o PWC<sub>FT</sub> pode ser indicado para determinar a velocidade máxima de corrida que pode ser sustentada com ausência de fadiga neuromuscular através de um único teste realizado em EE. Além disso, tanto o PWC<sub>FT</sub>, quanto PCR, podem ser

utilizados para diferenciar os domínios pesado e severo demarcando a intensidade do esforço.

Com o propósito de avaliar 2 diferentes métodos para a determinação do limiar de fadiga muscular pela sEMG, sendo o  $EMG_{FT1}$  determinado com base no conceito de potência crítica e o  $EMG_{FT2}$  identificado como o “*breakpoint*” da amplitude do sinal EMG pela intensidade do exercício, Crozara et al. (2015) avaliaram 13 homens jogadores amadores de futsal. Para tal, os participantes realizaram um teste incremental em esteira ergométrica iniciado com uma velocidade de  $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . A cada estágio de 3 min foram acrescidos  $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  com uma inclinação constante de 1%. Foram coletadas as respostas da atividade eletromiográfica das seguintes musculaturas: RF, VL, BF e GL. Após a análise do resultados, os autores concluíram que o limiar de fadiga eletromiográfica pode ser determinado através de um teste único realizado em EE. Entretanto, o  $EMG_{FT1}$  foi o método mais adequado para estimar o limiar de fadiga durante a corrida quando comparado ao  $EMG_{FT2}$ , essencialmente, por apresentarem índices mais constantes no teste contínuo, além de ter sido possível sua identificação em todos os participantes do estudo.

Diante dos estudos abordados, observamos um número bastante limitado de experimentos que dedicaram em avaliar o LEMG na esteira ergométrica, seja pelo conceito potência crítica proposto por De Vries et al. (1982) (TIKKANEN et al., 2012), ou pelo “*breakpoint*” da amplitude do sinal EMG pela intensidade do esforço (CROZARA et al., 2015). Outro fator preponderante corresponde a carência de estudos que procuraram investigar a possibilidade do LEMG em corredores fundistas (TIKKANEN et al., 2012). Deste modo, acreditamos que as prováveis evidências encontradas neste grupo específico, poderia representar importantes elucidações no campo do treinamento desportivo, fornecendo informações seguras das respostas neuromusculares para a avaliação, prescrição e controle do treinamento de *endurance*.

#### 4.3.2 Relação entre o Limiar de Lactato e o Limiar Eletromiográfico em testes incrementais na esteira

Taylor & Bronks (1994) analisaram as mudanças na atividade eletromiográfica do vasto lateral, bíceps femoral e gastrocnêmio durante exercício incremental em EE. O objetivo principal do estudo foi relacionar as mudanças na atividade eletromiográfica com os limiares de lactato e ventilatório. Dez indivíduos treinados foram submetidos a um teste incremental iniciado com uma velocidade de 9 km.h<sup>-1</sup>, sendo acrescido 1 km.h<sup>-1</sup> a cada estágio de 2 min até a exaustão voluntária com uma inclinação constante de 0%. Foram registrados continuamente os dados da ventilação minuto, VO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> expirado e a fração de O<sub>2</sub> no gás expirado. As amostras do sangue venoso foram coletadas ao final de cada estágio para a análise do lactato sanguíneo. A atividade eletromiográfica foi registrada no término de cada intensidade de exercício, e posteriormente quantificadas através da integral do sinal EMG (iEMG), assim como, da frequência média de potência (MPF). Os resultados indicaram que durante o teste as [Lac] começaram a aumentar de forma não linear antes do “*breakpoint*” do iEMG. Assim, os autores ressaltam que limiar de lactato não pode ser atribuído somente a mudança no recrutamento de UMs retratado pelo “*breakpoint*”. Em conclusão, os pesquisadores afirmam que o LV foi o método não invasivo mais confiável e conveniente para prever o limiar de lactato frente ao iEMG e o MPF e demarcar a transição aeróbia-anaeróbia em EE.

Em contrapartida, Fraga; Silva e Gonçalves (2009) analisaram a amplitude do sinal EMG dos músculos RF, VL, BF, TA e GL em sete voluntários do sexo masculino. O objetivo principal do estudo foi determinar e comparar o LFE, LL e LAn obtidos em diferentes velocidades de corrida durante um protocolo incremental realizado na EE. O protocolo incremental foi iniciado a uma velocidade correspondente a 10 km.h<sup>-1</sup>, com incrementos de 1 km.h<sup>-1</sup> a cada 3 min até a exaustão voluntária. Entre cada estágio houve uma pausa de 30 seg para a coleta da amostra sanguínea utilizada na determinação do lactato. A análise do resultados demonstrou que a velocidade de corrida correspondente ao LAn foi significativamente maior em comparação ao LL. Verificou-se menores valores das velocidades correspondentes ao LFE dos músculos RF e VL quando comparados a velocidade em que ocorreu LAn. Verificou-se maiores valores das velocidades correspondentes ao LFE dos músculos VL e BF quando comparados a velocidade do LL. Portanto, o LFE foi semelhante aos parâmetros

metabólicos somente para os músculos TA e GL, ressaltando a aplicabilidade do LFE como uma ferramenta atrativa para a análise da fadiga muscular.

Apesar de alguns experimentos terem demonstrado uma forte correlação entre o LEMG e o LL (CANDOTTI et al., 2008), assim como a ocorrência de duas perdas na linearidade do sinal EMG (LEMG<sub>1</sub> e LEMG<sub>2</sub>) que foram correlacionadas com os LL<sub>1</sub> e LL<sub>2</sub> (LUCÍA et al., 1999), LV<sub>1</sub> e LV<sub>2</sub> (HUG et al., 2003b; LUCÍA et al., 1999) em ciclistas profissionais confirmando a viabilidade de aplicação deste método para determinar a transição entre o metabolismo aeróbio-anaeróbio em cicloergômetro, o mesmo não parece estar consolidado, no que se refere ao exercício realizado em EE. Complementarmente, a literatura demonstra inúmeros fatores que são contributos decisivos para a complexidade em avaliar tal ferramenta durante o teste incremental realizado em EE. Dentre esses contributos, podemos destacar as mudanças na biomecânica de corrida associadas aos incrementos na velocidade, que de fato, poderiam influenciar o recrutamento dos diferentes grupamentos musculares requeridos durante este movimento específico, podendo modificar a natureza do sinal EMG (GAZENDAM, 2007; HANON; THÉPAUT-MATHIEU; VANDEWALLE, 2005). Portanto, o número limitado de estudos torna prematura a aplicabilidade do LEMG como uma alternativa não invasiva para demarcar a intensidade do esforço frente aos outros parâmetros já consolidados como o LL (LUCÍA et al., 1999) e o LV (HUG et al., 2003b) em EE, implicando a necessidade de novos experimentos a cerca desta temática.

### 4.3.3 Relação entre o Limiar de Lactato e o Limiar Eletromiográfico no exercício incremental resistido

Com o objetivo de investigar a possibilidade de identificação do LAn em exercício incremental isométrico mediante as respostas das [Lac] e do sinal EMG, De Aguiar et al. (2010) submeteram 24 homens saudáveis a um teste incremental isométrico realizado no LP 45°. O protocolo de teste foi realizado com incrementos de 3 em 3% a cada estágio nas cargas pré-estabelecidas anteriormente por um teste de 1RM. Todas as séries tiveram duração de 1 min de contração isométrica, sendo realizadas a 90° de flexão dos joelhos. Ao término de cada estágio, um intervalo de 2 min foi respeitado para a coleta do lactato sanguíneo, assim como o reajuste das cargas de trabalho para o próximo estágio. Para os dados eletromiográficos foram analisados os envoltórios RMS e a frequência mediana (MDF) dos músculos RF e VL. Os resultados apontaram que os limiares identificados ficaram situados entre 13-16% do 1RM, não havendo diferenças significativas entre os métodos de determinação avaliados. Portanto, os resultados do estudo permitiram concluir que é possível a identificação do LAn a partir das [Lac] e do RMS havendo concordância entre os mesmos. Entretanto, o MDF se mostrou instável para esta finalidade.

Embora a análise do LAn seja uma prática consolidada e recorrente através de parâmetros de determinação como o LL e o LV (DE SOUSA et al., 2012; MATÉ-MUÑOZ et al., 2015), no que concerne o LEMG observamos uma carência de estudos (DE AGUIAR et al., 2010). Adicionalmente, não se tem conhecimento sobre a existência de experimentos que procuraram avaliar a possibilidade de análise do LAn através da determinação LEMG em exercícios resistidos dinâmicos que são as formas de exercício mais prescritos e realizados por atletas engajados em alguma modalidade desportiva. A possibilidade de uma provável concordância entre LEMG e o LL, ressaltaria a aplicabilidade desta ferramenta não-invasiva para a avaliação do LAn, servindo como parâmetro confiável para demarcar a intensidade do esforço e a transição entre os metabolismos aeróbio-anaeróbio, sendo um atrativo para o controle das cargas no âmbito do TR prescrito para desportos de *endurance*.

## **5. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **5.1 Caracterização da Pesquisa**

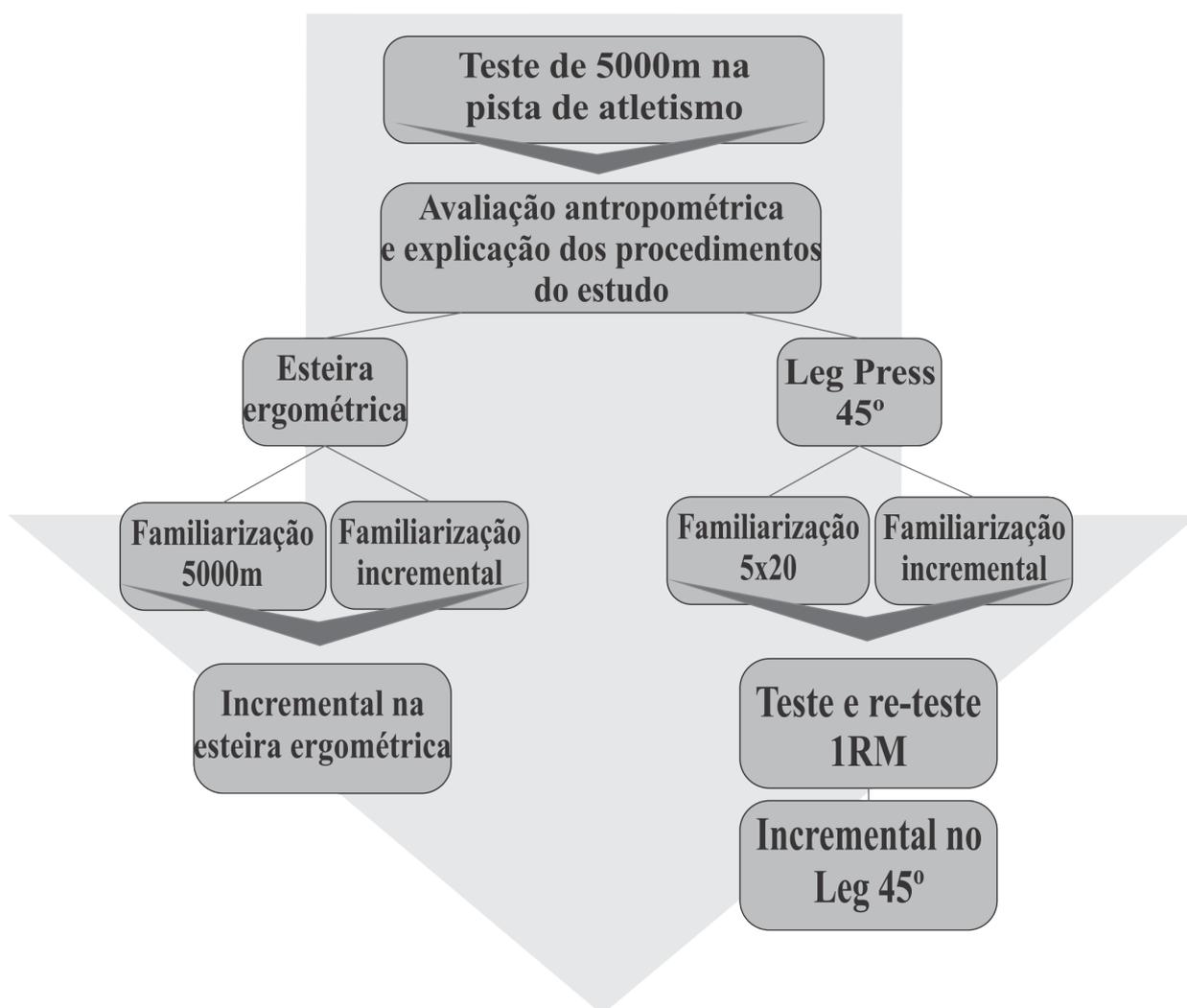
A natureza do presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, em que o objetivo principal do experimento é adquirir conhecimentos específicos que sejam voltados para a aplicação científica e prática acerca das temáticas abordadas. Quanto à abordagem do problema, o estudo é caracterizado como uma pesquisa quantitativa, traduzindo em números as informações obtidas para posteriormente classificá-las e analisá-las (THOMAS; NELSON; SILVERMAN, 2012).

Em relação aos objetivos, a pesquisa pode ser considerada como descritiva, o qual estuda-se as características de um determinado fenômeno ou população (THOMAS; NELSON; SILVERMAN, 2012). Quanto aos procedimentos técnicos, o estudo enquadra-se como uma pesquisa empírica, descritiva do tipo inter-relação, onde os dados das diferentes variáveis são coletados, e em seguida, estabelece-se relações entre eles, sendo, portanto, um estudo correlacional.

### **5.2 Desenho Experimental**

Para investigar o efeito dos diferentes protocolos com cargas incrementais nas variáveis eletromiográfica e lactato sanguíneo foram estabelecidas dez sessões de testes separadas por um intervalo de 48 horas, e subdivididas em (A) estudo EE e (B) estudo LP 45°. Para a realização das sessões os participantes foram orientados a absterem-se de qualquer espécie de atividade física vigorosa, assim como, evitarem o consumo de bebidas alcoólicas e cafeinadas por um período de 48 horas que antecederem os testes. Na primeira sessão, os voluntários realizaram a validação dos 5000 m em menos de 23 min na pista de atletismo. Na segunda sessão, os participantes foram avaliados quanto a massa corporal, estatura, percentual de gordura, e em seguida, receberam instruções prévias sobre todos os procedimentos que seriam adotados no decorrer do estudo. Para o estudo (A); durante a terceira e quarta sessões, os participantes realizaram a familiarização da corrida na EE. Na quinta sessão, os voluntários realizaram o teste incremental na EE. Para o estudo (B); durante a sexta e a sétima sessões, os voluntários realizaram a familiarização no LP 45°. Durante a oitava e a nona sessões, os participantes realizaram o teste e o reteste de 1RM no LP 45°. Na décima sessão, os voluntários realizaram o teste incremental no LP 45°. No decorrer da investigação, a sequência entre o estudo (A) e o estudo

(B), e entre a quinta sessão e a décima sessão dos respectivos estudos, foram aleatorizadas entre os participantes. Durante o decorrer do estudo, os voluntários foram instruídos a se prepararem para as sessões de testes como estivessem se preparando para suas rotinas habituais de treinamento.



**Figura 5:** Diagrama do desenho experimental

### 5.3 Participantes

Participaram do estudo doze corredores fundistas do sexo masculino moderadamente treinados (idade =  $29,27 \pm 3,24$  anos; percentual de gordura =  $10,33 \pm 2,62$  %; estatura =  $1,77 \pm 0,04$  m; massa corporal =  $73,44 \pm 4,38$  kg; tempo dos 5000 m = 20 min e 37,8 seg  $\pm 2$  min e 21 seg; tempo de treinamento =  $4,26 \pm 0,68$  anos). Para participarem do experimento, os voluntários deveriam atender aos seguintes critérios: a) apresentarem ausência de patologias ósseas, musculares e cardiovasculares; b) serem participantes regulares de corridas de resistência competindo em distâncias compreendidas entre 5000 m e 10000 m e; c) terem o seu tempo atual dos 5000 m abaixo de 23 min. Antes que o estudo fosse realizado, um projeto referente a pesquisa foi enviado e posteriormente aprovado pelo comitê de ética em pesquisas envolvendo seres humanos da Universidade Federal de Lavras – UFLA (CAAE: 53675416.3.0000.5148). Para participarem da pesquisa, os voluntários assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido em conformidade com a última revisão da declaração de Helsinki.

### 5.4 Procedimentos

Com fins didáticos os procedimentos a seguir foram divididos nos seguintes componentes: validação dos 5000 m na pista de atletismo, avaliação antropométrica, sessões de familiarização em EE e no LP 45°, força máxima, e finalmente, os protocolo com cargas incrementais realizados na EE e no LP 45°, onde foram mensuradas as variáveis lactato sanguíneo, frequência cardíaca e eletromiografia.

#### 5.4.1 Validação dos 5000 m na pista de atletismo

Para a validação dos 5000 m em menos de 23 min, os participantes foram instruídos pelos pesquisadores a realizarem os 5000 m no menor tempo possível. Durante a realização do teste os voluntários não receberam nenhum *feedback* acerca do tempo prova, nem em relação à distância percorrida. O teste foi realizado em uma pista de atletismo com 400 m de comprimento por 9,36 m de largura, contendo 8 raias medindo aproximadamente 1,25 m de largura. No decorrer do teste o pesquisador ficou responsável por iniciar o teste, anotar o número de voltas, cronometrar o tempo e encerrar o teste. Para a cronometragem foi utilizado um cronômetro digital (S141, Seiko®, Tokyo, Japan).

#### 5.4.2 Avaliação antropométrica

Para a aferição das características da amostra, foram coletados os dados da estatura e massa corporal a partir de uma balança com estadiômetro (110 FF, Welmy®, Santa Bárbara d'Oeste, Brasil). Para a realização da bioimpedância os participantes foram orientados a absterem-se do consumo de bebidas alcólicas e/ou cafeinadas, assim como a prática de atividade física vigorosa por um período de no mínimo 24 horas que antecederesse a avaliação. Os voluntários deveriam urinar 30 min antes do início da avaliação, além de permanecerem em repouso durante 5 min. Todas as coletas foram realizadas no período matutino, antes do desjejum e com os participantes mantendo sua rotina normal de hidratação. A estimativa do percentual de gordura foi realizado com um aparelho de bioimpedância tetrapolar (Quantum BIA-II, RJL Systems®, Clinton Township, USA). Os eletrodos utilizados para a coleta foram do tipo tetrapolar (Bio Tetronic, Sanny®, São Bernardo do Campo, Brasil). A colocação dos eletrodos satisfaz as seguintes orientações: Para o pé direito o eletrodo distal deverá estar localizado na base do dedo médio e o eletrodo proximal entre as epífises distais da tíbia e da fíbula. Para a mão direita o eletrodo distal deveria estar sobre a base do dedo médio e o eletrodo proximal coincidindo com o processo estiloide. Foi adotada uma distância entre os eletrodos acima de 5 cm com o indivíduo em posição de decúbito dorsal sobre a maca com o pé e a mão direitos levemente afastados do tronco. Os dados da resistência e da reactância obtidos pelo aparelho foram transferidos para o software *Body Composition 2.1*, onde já se encontravam os dados da estatura, massa corporal e circunferência do punho dos participantes. Mediante a composição entre esses dados foi possível estimar o percentual de gordura dos indivíduos.

#### 5.4.3 Sessões de familiarização da corrida em EE

Na primeira sessão, os participantes realizaram 5000 m no seu ritmo habitual de corrida, sendo que os avaliadores, somente ficaram responsáveis por controlar a velocidade da esteira de acordo com o *feedback* dos corredores, assim como, encerrar o teste. Na segunda sessão, os voluntários realizaram o protocolo incremental com velocidade iniciada a 8,0 km.h<sup>-1</sup> e incrementos de 1,2 km.h<sup>-1</sup> a cada estágio de 3 min, sendo mantida uma inclinação constante de 1% até a exaustão máxima dos sujeitos.

#### **5.4.4 Sessões de familiarização no LP 45°**

Na primeira sessão, os participantes realizaram cinco séries de 20 repetições com cargas ajustadas a 80% da massa corporal, sendo respeitado um intervalo de 2 min de recuperação passiva entre as séries. Na segunda sessão, os voluntários realizaram estágios progressivos com duração de 1 min cada, com a velocidade de movimento controlada através de um metrônomo digital, sendo adotado 1 seg para a fase concêntrica e 2 seg para fase excêntrica, totalizando 3 seg ou 1 repetição. A partir do valor da massa corporal, as cargas de trabalho foram fracionadas em 17, 33, 50, 67, 83, 100, 117 e 133% da massa corporal dos sujeitos, sendo as mesmas respectivamente utilizadas durante cada estágio do exercício progressivo (ROCHA et al., 2010). Durante ambas as sessões, os participantes orientados pelos pesquisadores, mantiveram-se sobre o equipamento com o tronco horizontalmente inclinado a 45° e os joelhos e quadris flexionados a 90°, sendo o movimento controlado através de um goniômetro digital (GN360, Miotec® Equipamentos Biomédicos Ltda, Porto Alegre, Brasil). No decorrer do movimento, os joelhos e os quadris foram estendidos e voltaram para a posição inicial após a flexão.

#### **5.4.5 Identificação da Força Dinâmica Máxima**

O protocolo de 1RM seguiu as recomendações propostas pelo *National Strength and Conditioning Association* (BAECHLE; EARLE, 2008). Para reduzir a possibilidade de erros e evitar lesões durante a determinação do 1RM no LP, foram tomadas as seguintes precauções: 1) Os participantes receberam instruções prévias sobre a execução do exercício proposto, com base nas normas propostas pelo manual do *National Strength and Conditioning Association* (2008). 2) Durante o exercício foi monitorada a técnica adequada de execução. 3) Os voluntários recebiam a todo instante pontuações dos pesquisadores acerca dos movimentos. 4) Foram fornecidos encorajamentos verbais motivacionais para que os participantes alcançassem seu esforço máximo. 5) Se ocorressem modificações técnicas na execução do movimento, o teste era imediatamente interrompido e o indivíduo, após um período de recuperação, realizava uma nova tentativa. O teste de 1RM foi aplicado depois de uma série de aquecimento com cargas mais leves executadas no exercício específico. A primeira tentativa foi correspondente a 50% do 1RM estimado dos participantes.

Logo depois, os voluntários tinham cerca de 2-4 min de recuperação passiva, até sentir-se completamente recuperado da tentativa anterior. A partir da tentativa anterior, o peso foi aumentado, com base na facilidade com que o exercício foi executado. A determinação do 1RM não tiveram mais do que cinco tentativas. Estas estipulações relativas a quantidade de tentativas foi utilizada para rejeitar qualquer aparecimento de fadiga que reduzisse a fidedignidade do teste. Todos os procedimentos supracitados foram igualmente adotados durante o teste e o reteste de 1RM. Para a execução do movimento específico foi utilizado uma máquina LP 45° e anilhas de pesos variados todos da marca (Physicus®, Auriflama, Brasil).

#### **4.4.6. Protocolo incremental realizado na EE**

Os participantes executaram o teste incremental em esteira rolante (Super ATL, Inbramed®, Amparo, Brasil), com a velocidade inicial ajustada a 8,0 km.h<sup>-1</sup> e incrementos de 1,2 km.h<sup>-1</sup> a cada estágio, mantendo uma inclinação de 1% até a exaustão. Cada estágio teve duração de 3 min de exercício, com 30 seg de pausa para coleta do sangue (HECK et al., 1985). Neste momento, cada avaliador ficou incumbido pelas seguintes tarefas: a) incrementos na velocidade em cada estágio do exercício e contagem do número de estágios; b) coleta sanguínea. O teste máximo de esforço tinha seu término quando os voluntários alcançassem pelo menos dois dos três critérios seguintes: a) 90% da FC preconizada para a idade (estabelecida pela equação 220 – idade); b) classificação da escala de Borg  $\geq$  a 18 (BORG, 1970) e; c) incapacidade de manter a cadência de corrida, apesar do vigoroso encorajamento verbal (MALEK; COBURN, 2011; MALEK et al., 2005).

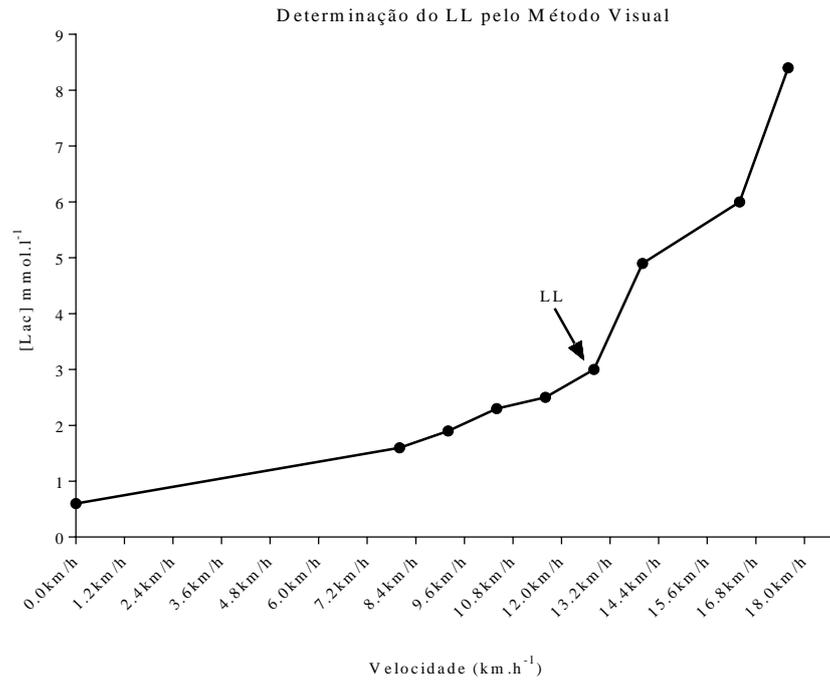
#### **4.4.7 Protocolo incremental realizado no LP 45°**

Para a realização do protocolo incremental de cargas, os voluntários realizaram estágios progressivos com duração de 1 min cada, com a velocidade de movimento controlada através de um metrônomo digital (DM90, Seiko®, Tokyo, Japan), sendo adotado 1 seg para a fase concêntrica e 2 seg para fase excêntrica, totalizando 3 seg ou 1 repetição (DE SOUSA et al., 2012; DE SOUSA et al., 2011). Após a obtenção das cargas no teste de 1RM, as mesmas foram fracionadas em 10, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 70, 80 e 90% de 1RM (DE SOUSA et al., 2012; DE SOUSA et al., 2011). Entre cada estágio foi respeitado um intervalo de 2 min para a recuperação onde houve a

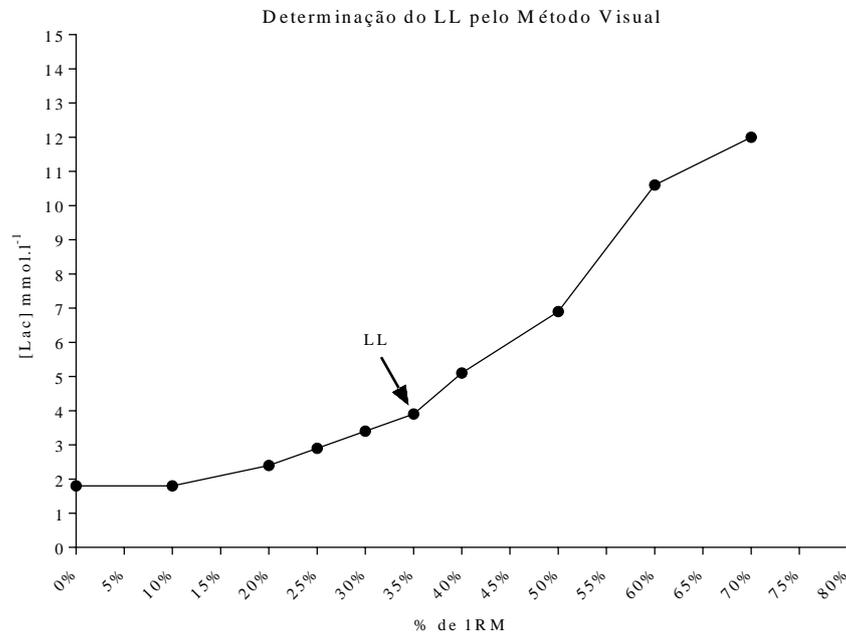
coleta sanguínea e o reajuste das cargas de trabalho para o estágio seguinte (DE SOUSA et al., 2012; DE SOUSA et al., 2011). O teste foi finalizado no momento em que o participante não executasse o movimento dentro da biomecânica correta previamente estabelecida ou pela incapacidade de realizar o número de repetições estabelecidos para a fase (DE SOUSA, et al., 2012; DE SOUSA, et al., 2011). Durante o teste, os participantes mantiveram-se sentados sobre o equipamento com o tronco horizontalmente inclinado a 45° e os joelhos e quadris flexionados a 90° (SIMÕES et al., 2010). No decorrer do movimento, os joelhos e os quadris foram estendidos e voltaram para a posição inicial após a flexão (SIMÕES et al., 2010). Todas as fases do movimento foram controladas através de um goniômetro digital (GN360, Miotec® Equipamentos Biomédicos Ltda, Porto Alegre, Brasil). Neste momento, cada avaliador experiente neste tipo de protocolo ficou incumbido pelas seguintes tarefas: a) contagem do número de repetições realizadas em cada estágio e controle da velocidade de execução; b) reajuste das cargas de trabalho para o estágio subsequente e c) coleta das amostras sanguíneas. Para a execução do protocolo incremental de cargas foi utilizado uma máquina LP 45° e anilhas de pesos variados todos da marca (Physicus®, Auriflamma, Brasil).

#### **4.4.8 Lactato Sanguíneo**

Após 30 seg do término de cada estágio no protocolo EE, e 1 min após o término de cada estágio no protocolo LP 45°, os avaliadores, após assepsia, coletaram uma amostra sanguínea por meio da punção no lóbulo da orelha. Em seguida, a primeira gota de sangue foi desprezada, e logo depois foram coletados 25 µL de sangue arterializado. Para coleta foram utilizadas tiras reagentes (Accusport BM - lactate, Roche®, Hawthorne, USA). Para a análise do lactato sanguíneo foi utilizado um analisador portátil de lactato (Accusport, Boehringer Mannheim - Roche®, Hawthorne, USA), anteriormente validado e confiável para a utilização (BISHOP, 2001) e largamente empregado em outros experimentos (BALDARI; GUIDETTI, 2000). Após a análise os valores foram individualmente expressos em mmol.l<sup>-1</sup>, seguindo as recomendações de Wasserman et al. (2005), o LL foi identificado pela análise visual gráfica, com a definição dos limiar onde houvesse a perda da linearidade e a conseqüente elevação exponencial das [Lac] (SVEDAHL; MACINTOSH, 2003).



**Figura 6:** Determinação do LL conforme o método proposto por Svedahl e MacIntosh (2003) durante o protocolo incremental realizado na EE. Os dados são representativos de um participante.



**Figura 7:** Determinação do LL conforme o método proposto por Svedahl e MacIntosh (2003) durante o protocolo incremental realizado no LP 45°. Os dados são representativos de um participante.

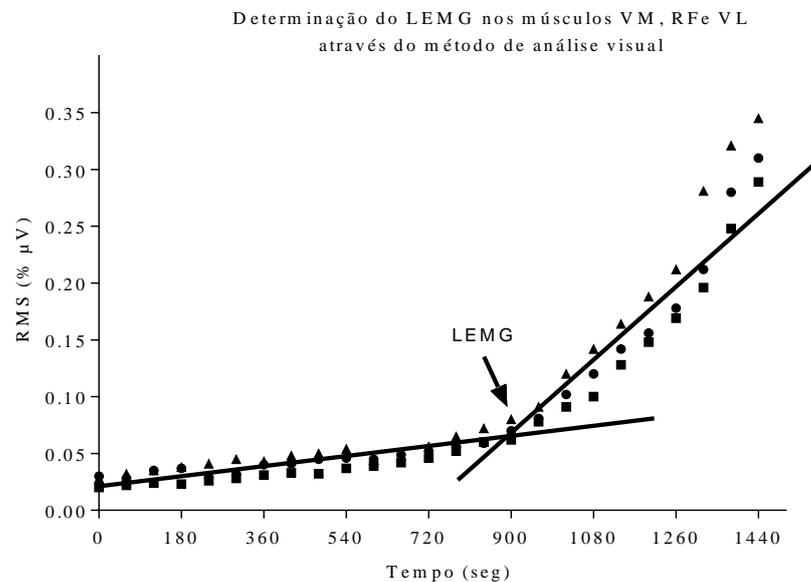
#### 4.4.9 Frequência Cardíaca

Para o registro da frequência cardíaca foi utilizado um cardiófrequencímetro (RS800cx, Polar®, Kempele, Finlândia), sendo a mesma utilizada exclusivamente para o controle durante os protocolos incrementais.

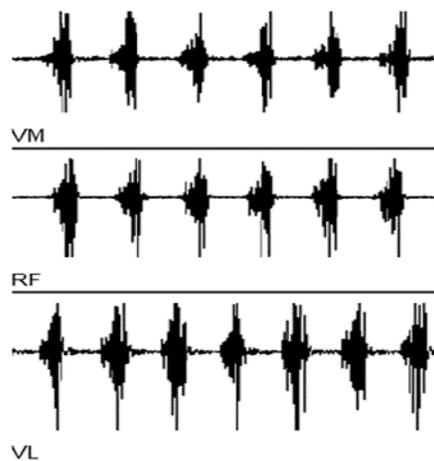
#### 4.4.10 Eletromiografia

Foram avaliados os músculos vasto medial (VM), reto femoral (RF) e vasto lateral (VL). Para evitar possíveis interferências no sinal EMG, a pele dos participantes foi preparada através dos processos de tricotomia, abrasão e limpeza com algodão e álcool isopropílico. Em seguida, os eletrodos autoadesivos de sEMG (2223 BR, 3M®, Campinas, Brasil), com gel condutor acoplado e uma superfície de captação de AgCl de 1 cm de diâmetro em forma de discos foram colocados na direção presumível das fibras musculares subjacentes com uma distância centro-a-centro de aproximadamente 2 cm. Os eletrodos de superfície foram posicionados nas respectivas musculaturas avaliadas de acordo com as recomendações do SENIAM (HERMENS et al., 1999) e fixados no lado dominante dos voluntários (BEHM et al., 2005). Os eletrodos de referência foram devidamente colocados na espinha ilíaca anterossuperior durante a coleta realizada na EE, e no processo ósseo do cotovelo durante a coleta realizada no LP 45°. Um eletromiógrafo (Miotool 400, Miotec® Equipamentos Biomédicos Ltda, Porto Alegre, Brasil), com 4 canais de entrada, 14 bits de resolução e uma taxa de aquisição por canal 2000 amostras/s, com um sensor SDS-500 com ganho máximo de 1000 vezes foi utilizado para a coleta do sinal EMG. O modo comum da taxa de rejeição foi de 106 dB e a impedância entre cada par de eletrodo foi  $< 10^{12} \Omega$ . Todos os canais dos eletromiógrafos foram devidamente calibrados antes da coleta dos dados. Após a coleta, os sinais eletromiográficos foram filtrados por meio do filtro *Butterworth* de 5ª ordem do tipo passa-banda com uma frequência de corte de 20-500 Hz. A amplitude dos sinais foi expressa com os valores médios da raiz quadrática (RMS). Os sinais eletromiográficos oriundos dos músculos avaliados durante o teste incremental realizado na EE foram normalizados pelo pico do sinal obtido durante a velocidade máxima de corrida encontrada no teste progressivo prévio (ALBERTUS-KAJEE et al., 2011). A atividade eletromiográfica mensurada em cada um dos músculos no teste incremental realizado no LP 45° foram normalizadas pelo pico da contração voluntária isométrica máxima (CVIM), obtida

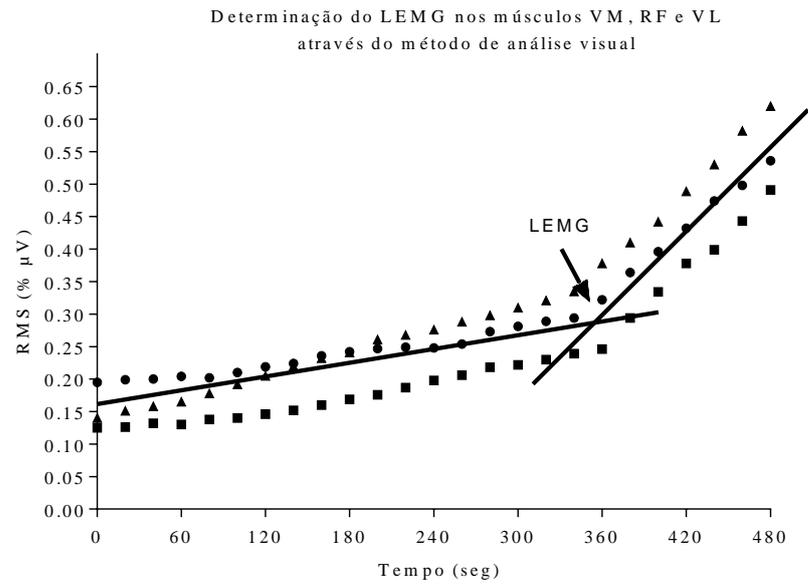
durante 5 seg de exercício isométrico realizado com os joelhos estendidos entre 100° e 105°, posicionados através de um goniômetro digital (GN360, Miotec® Equipamentos Biomédicos Ltda, Porto Alegre, Brasil). O LEMG foi identificado pelo método de inspeção visual, onde 2 pesquisadores experientes observaram os dados do RMS normalizados em função do tempo de exercício, e a partir do ponto de quebra da linearidade “*breakpoint*” desses pontos, foi atribuído o LEMG (HUG et al., 2006). A determinação do LEMG foi realizada individualmente entre os participantes.



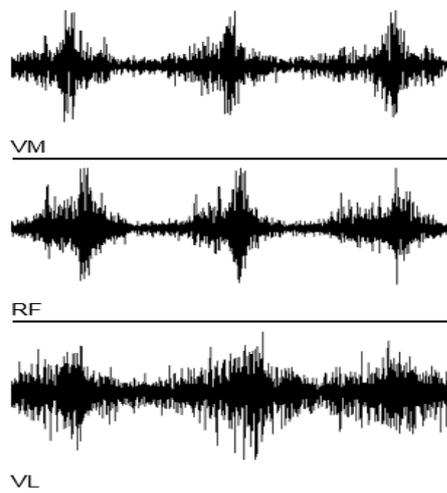
**Figura 8:** Determinação do LEMG conforme o método proposto por Hug et al. (2006) nos músculos VM ■, RF ▲ e VL ● durante o protocolo incremental realizado na EE. Os dados são representativos de um participante.



**Figura 9:** Exemplo individual de 3 seg do sinal EMG no envoltório RAW para os músculos VM, RF e VL gravados durante o protocolo incremental realizado na EE.



**Figura 10:** Determinação do LEMG conforme o método proposto por Hug et al. (2006) nos músculos VM ■, RF ▲ e VL ● durante o protocolo incremental realizado no LP 45°. Os dados são representativos de um participante.



**Figura 11:** Exemplo individual de 3 repetições do sinal EMG no envoltório RAW para os músculos VM, RF e VL gravados durante o protocolo incremental realizado no LP 45°.

## 5. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para verificar a normalidade e a homogeneidade das variâncias foram adotados os testes de *Shapiro Wilk* e *Levene*. Atendidos os pressupostos de normalidade e homogeneidade de variâncias aplicou-se o teste *Anova Two Way* com *Post Hoc* de *Bonferroni* para realizar a comparação entre os diferentes parâmetros utilizados para determinar o LAn, ou seja, LL, LEMG<sub>VM</sub>, LEMG<sub>RF</sub> e LEMG<sub>VL</sub> durante os protocolos incrementais realizados na EE e no LP 45°. Para verificar a correlação entre as variáveis metabólica (LL) e neuromusculares (LEMG<sub>VM</sub>, LEMG<sub>RF</sub> e LEMG<sub>VL</sub>) durante os protocolos incrementais realizados na EE no LP 45° utilizou-se o teste de *Pearson*. Um teste T para amostras independentes foi utilizado para realizar a comparação dos valores das [Lac], onde foi identificado o LAn entre os protocolos incrementais realizados na EE e no LP 45°. Em seguida, o teste de *Pearson* foi adotado para verificar a existência de correlação entre os diferentes protocolos incrementais das [Lac] onde foi determinado o LAn. A interpretação da correlação de *Pearson* foi avaliada de acordo com os seguintes critérios: 0 – 0,30 desprezível; 0,30 – 0,50 fraca; 0,50 – 0,70 moderada; 0,70 – 0,90 forte e 0,90 – 1,00 muito forte (HINKLE; WIERSMA; JURS, 2003). A análise visual do gráfico de *Bland Altman* (BLAND; ALTMAN, 1986) foi utilizada para verificar a concordância entre as variáveis metabólica (LL) e neuromusculares (LEMG<sub>VM</sub>, LEMG<sub>RF</sub> e LEMG<sub>VL</sub>) durante os diferentes protocolos incrementais, assim como, para verificar a concordância entre os valores das [Lac] o qual foi identificado o LAn nos diferentes protocolos incrementais adotados. Como comprovação estatística adotou-se o valor de significância  $p \leq 0,05$ . O tratamento estatístico foi realizado no *software* SPSS (20.0, IBM, Armonk, USA).

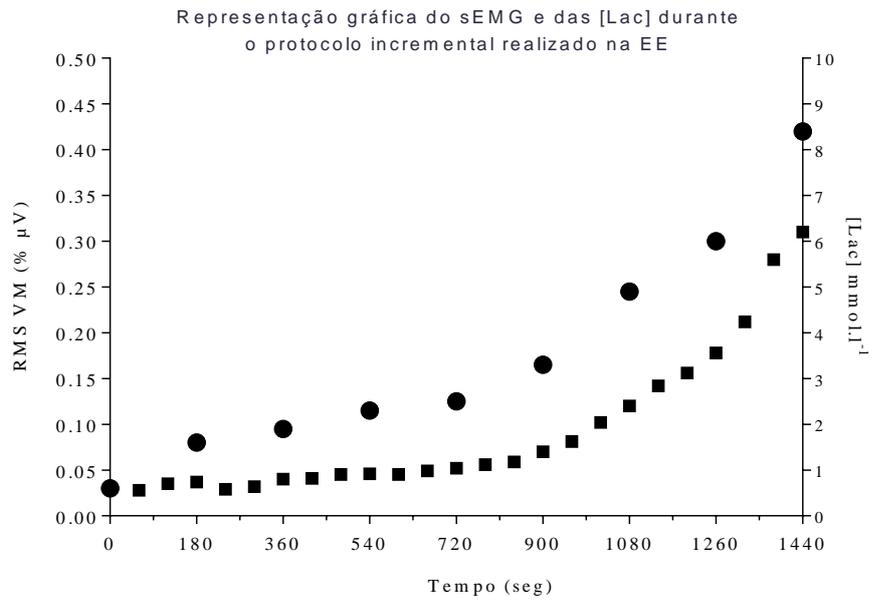
## 6. RESULTADOS

Os resultados não demonstraram diferenças significativas entre os diferentes parâmetros utilizados para determinar o LAn, ou seja, LL, LEMG<sub>VM</sub>, LEMG<sub>RF</sub> e LEMG<sub>VL</sub> durante o protocolo incremental realizado na EE (tabela 1).

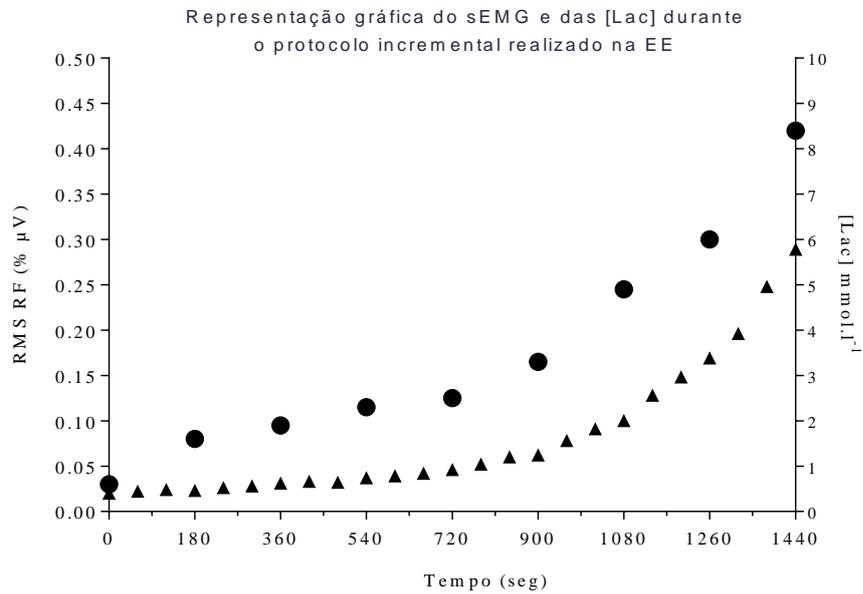
<b>TABELA 1</b>					
<b>Resultados médios (<math>\pm</math> DP) correspondentes as comparações e a correlações entre os parâmetros utilizados para identificar o LAn: LL, LEMG<sub>VM</sub>, LEMG<sub>RF</sub>, LEMG<sub>VL</sub>, durante o protocolo incremental realizado na EE.</b>					
<b>Velocidade (km.h<sup>-1</sup>) [Lac]</b>	<b>Velocidade [sEMG]</b>	<b>Significância</b>	<b>Correlação</b>	<b>Significância da correlação</b>	<b>Classificação</b>
<b>LL</b>	<b>LEM<sub>G</sub>VM</b>				
14,40 $\pm$ 1,47	13,80 $\pm$ 1,76	$p = 1,000$	$r = 0,74^*$	$p = 0,006$	forte
<b>LL</b>	<b>LEM<sub>G</sub>RF</b>				
14,40 $\pm$ 1,47	14,00 $\pm$ 1,53	$p = 1,000$	$r = 0,75^*$	$p = 0,005$	forte
<b>LL</b>	<b>LEM<sub>G</sub>VL</b>				
14,40 $\pm$ 1,47	14,20 $\pm$ 1,52	$p = 1,000$	$r = 0,84^*$	$p = 0,001$	forte

*\* $p < 0,05$  para correlação entre as variáveis*

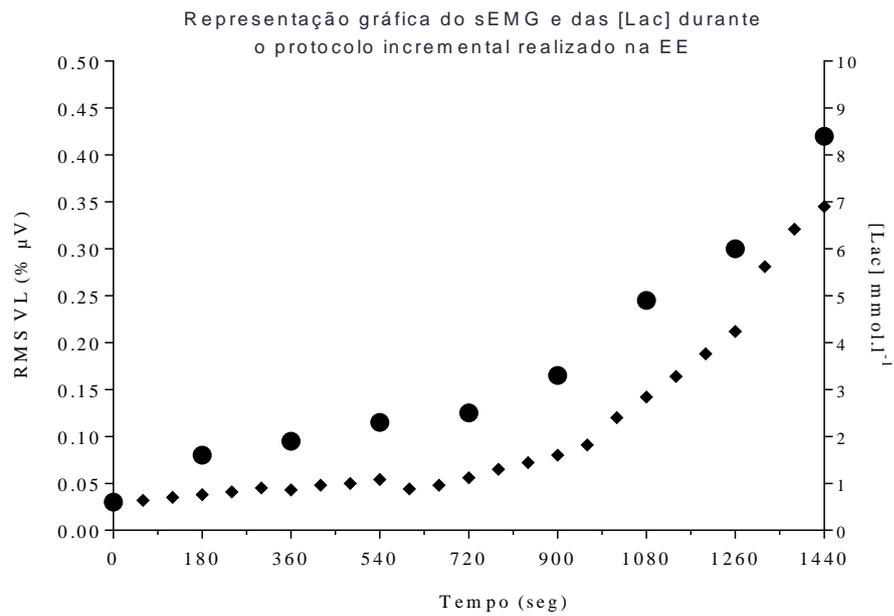
Foram encontradas correlações significativas entre as variáveis metabólica (LL) e neuromusculares (LEM<sub>G</sub>VM, LEM<sub>G</sub>RF e LEM<sub>G</sub>VL) durante o protocolo incremental na EE (tabela 1). Os gráficos abaixo mostram o comportamento do sinal EMG e das [Lac] ao longo do protocolo (figuras 12, 13, 14).



**Figura 12:** Comportamento do sEMG no músculo VM ■ e das [Lac] ● durante o protocolo incremental realizado na EE. Os dados são representativos de um participante.

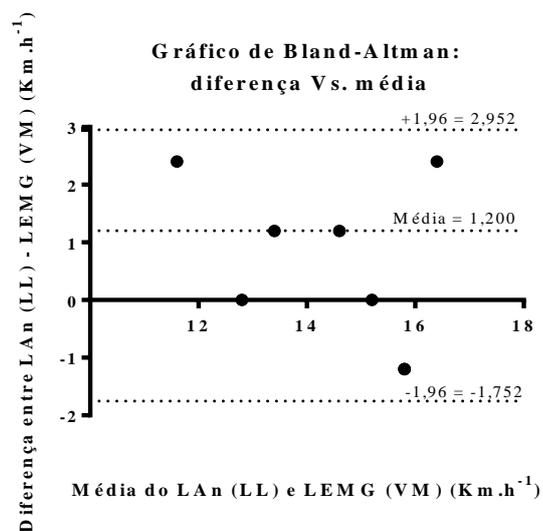


**Figura 13:** Comportamento do sEMG no músculo RF ▲ e das [Lac] ● durante o protocolo incremental realizado na EE. Os dados são representativos de um participante.

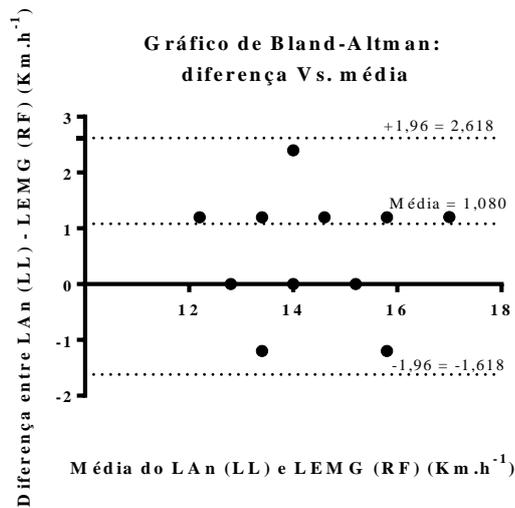


**Figura 14:** Comportamento do sEMG no músculo VL  $\blacklozenge$  e das [Lac]  $\bullet$  durante o protocolo incremental realizado na EE. Os dados são representativos de um participante.

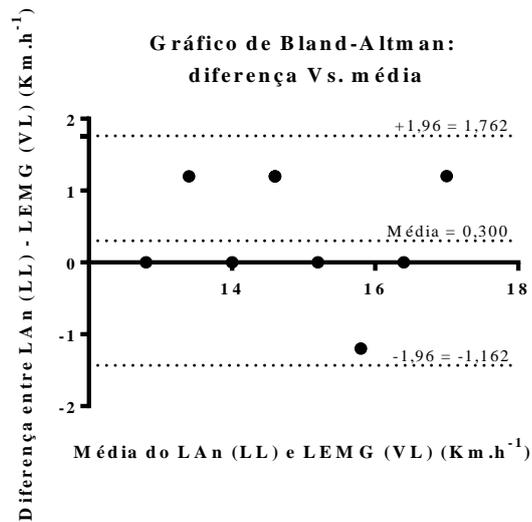
A seguir encontram-se as análises dos gráficos de *Bland Altman* entre as variáveis metabólica (LL) e neuromusculares ( $LEM_{VM}$ ,  $LEM_{RF}$  e  $LEM_{VL}$ ). Nossos resultados demonstraram concordância entre os parâmetros utilizados para determinar o LAn, estando 95% dos dados entre  $\pm 1,96$  (figuras 15, 16 e 17).



**Figura 15:** Concordância entre o LL e o  $LEM_{VM}$  em ( $km.h^{-1}$ ).



**Figura 16:** Concordância entre o LL e o LEMG<sub>RF</sub> em (km.h<sup>-1</sup>).



**Figura 17:** Concordância entre o LL e o LEMG<sub>VL</sub> em (km.h<sup>-1</sup>).

Similarmente, aos resultados anteriores não foram encontradas diferenças significativas entre os diferentes parâmetros utilizados para determinar o LAn, ou seja, LL, LEMG<sub>VM</sub>, LEMG<sub>RF</sub> e LEMG<sub>VL</sub> durante o protocolo incremental realizado no LP 45° (tabela 2).

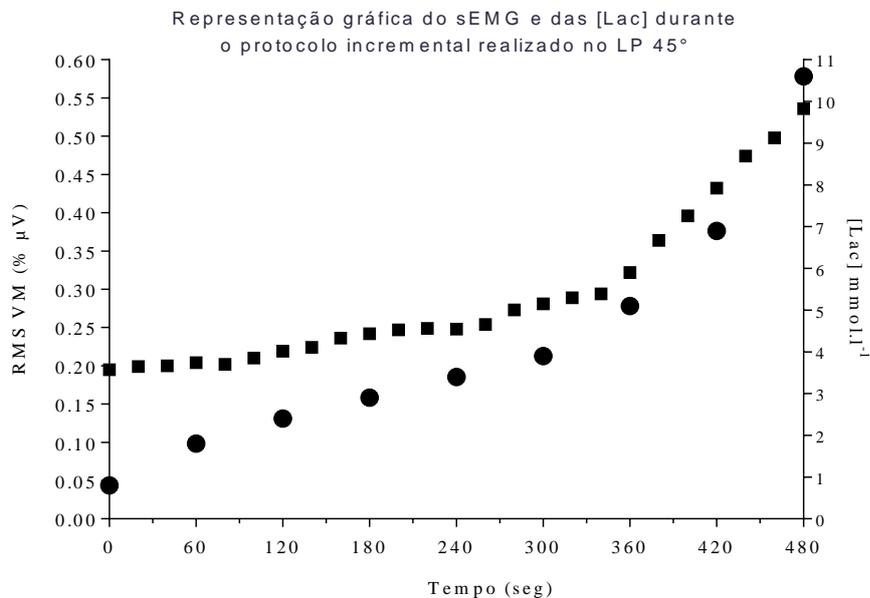
TABELA 2

Resultados médios ( $\pm$  DP) correspondentes às comparações e a correlações entre os parâmetros utilizados para identificar o LAN: LL, LEMG<sub>VM</sub>, LEMG<sub>RF</sub>, LEMG<sub>VL</sub>, durante o protocolo incremental realizado na LP 45°.

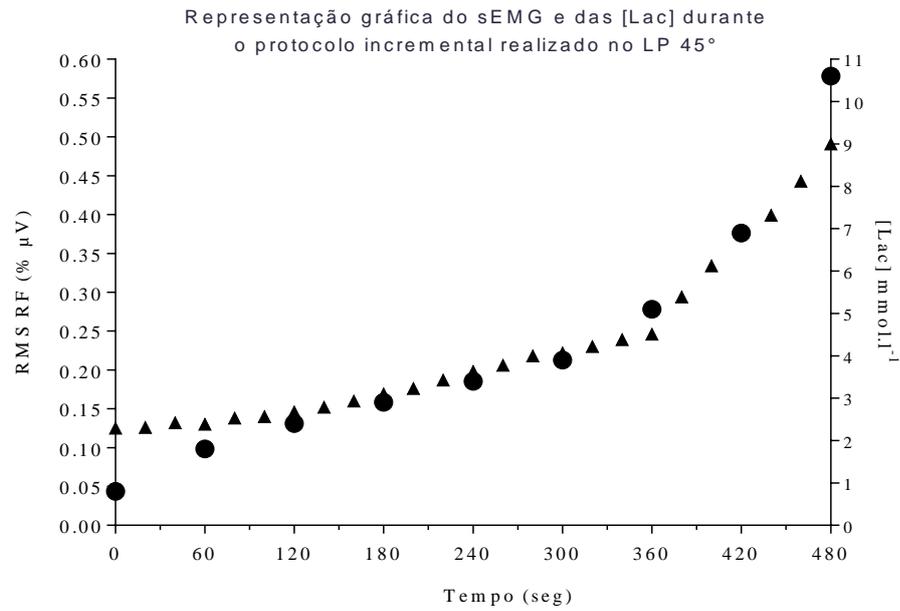
Carga Relativa (% de 1RM) [Lac]	Carga Relativa (% de 1RM) [sEMG]	Significância	Correlação	Significância da correlação	Classificação
LL	LEMG <sub>VM</sub>				
40,83 $\pm$ 7,63	37,08 $\pm$ 5,41	$p = 1,000$	$r = 0,67^*$	$p = 0,018$	moderado
LL	LEMG <sub>RF</sub>				
40,83 $\pm$ 7,63	36,85 $\pm$ 5,69	$p = 1,000$	$r = 0,65^*$	$p = 0,021$	moderado
LL	LEMG <sub>VL</sub>				
40,83 $\pm$ 7,63	38,25 $\pm$ 3,69	$p = 1,000$	$r = 0,76^*$	$p = 0,004$	forte

$*p < 0,05$  para correlação entre as variáveis

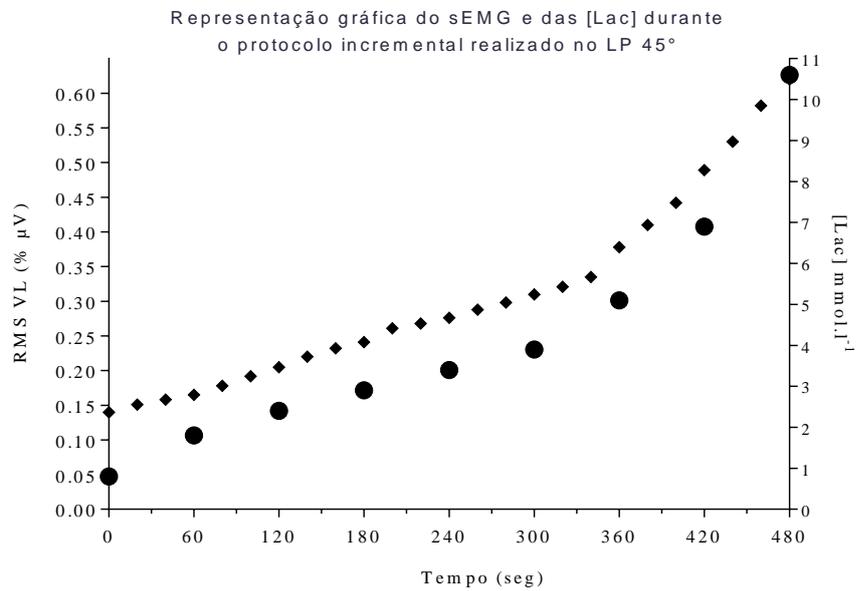
Foram encontradas correlações significativas entre as variáveis metabólica (LL) e neuromusculares (LEMG<sub>VM</sub>, LEMG<sub>RF</sub> e LEMG<sub>VL</sub>) durante o protocolo incremental no LP 45° (tabela 2). Os gráficos abaixo mostram o comportamento do sinal EMG e das [Lac] ao longo do protocolo (figuras 18, 19, 20).



**Figura 18:** Comportamento do sEMG no músculo VM ■ e das [Lac] ● durante o protocolo incremental realizado no LP 45°. Os dados são representativos de um participante.

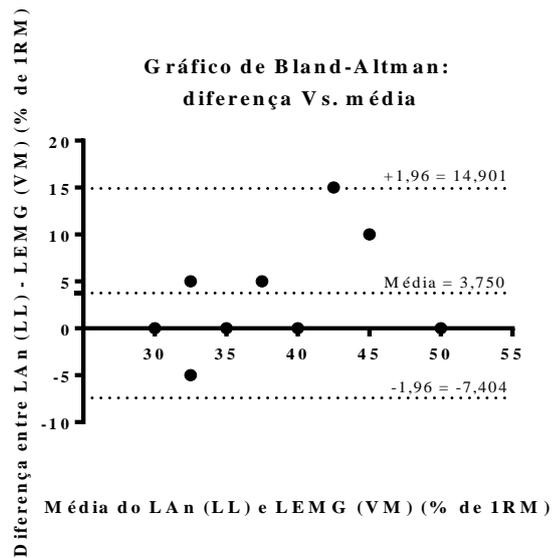


**Figura 19:** Comportamento do sEMG no músculo RF ▲ e das [Lac] ● durante o protocolo incremental realizado no LP 45°. Os dados são representativos de um participante.

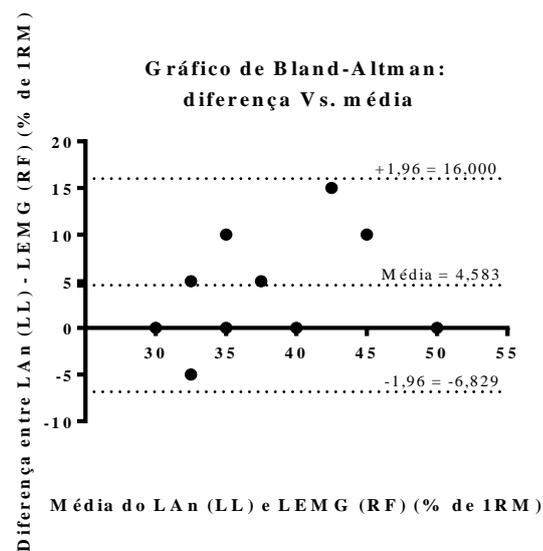


**Figura 20:** Comportamento do sEMG no músculo VL ♦ e das [Lac] ● durante o protocolo incremental realizado no LP 45°. Os dados são representativos de um participante.

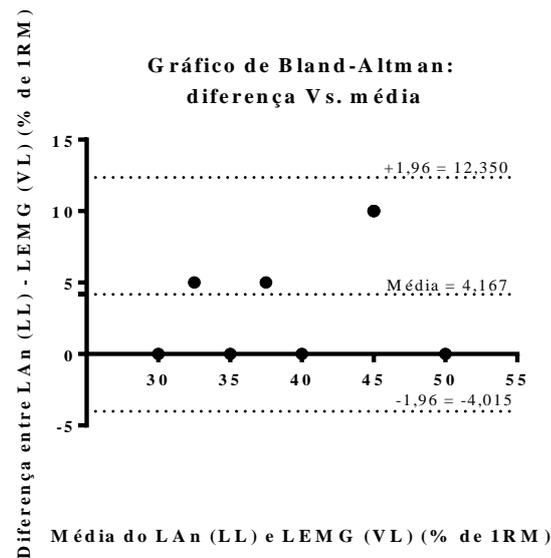
A seguir encontram-se as análises dos gráficos de *Bland Altman* entre as variáveis metabólica (LL) e neuromusculares (LEMG<sub>VM</sub>, LEMG<sub>RF</sub> e LEMG<sub>VL</sub>). Nossos resultados demonstraram concordância entre os parâmetros utilizados para determinar o LAn, estando 95% dos dados entre  $\pm 1,96$ , exceto para o LEMG<sub>VM</sub> (Figuras 21, 22 e 23).



**Figura 21:** Concordância entre o LL e o LEMG<sub>VM</sub> em (% de 1RM).



**Figura 22:** Concordância entre o LL e o LEMG<sub>RF</sub> em (% de 1RM).



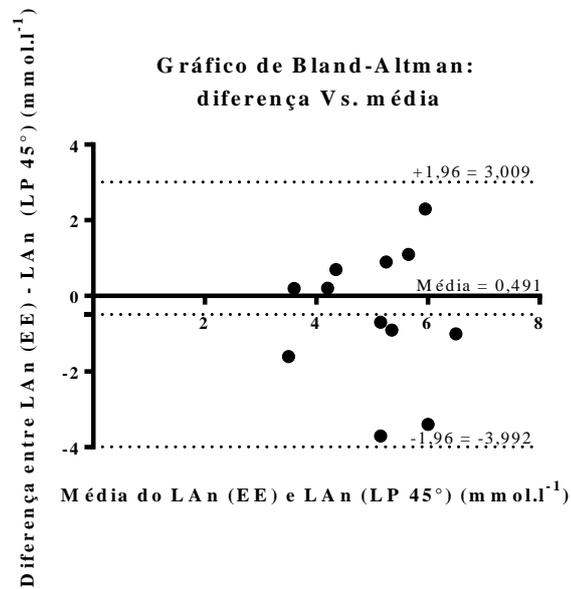
**Figura 23:** Concordância entre o LL e o LEMG<sub>VL</sub> em (% de 1RM).

Não foram verificadas diferenças significativas nos valores das [Lac], o qual foi identificado o LAn entre os protocolos incrementais realizados na EE e no LP 45° (Tabela 3). Porém, não verificou-se correlação entre os valores das [Lac], onde o LAn foi determinado entre os protocolos incrementais realizados na EE e no LP 45° (Tabela 3).

<b>TABELA 3</b>						
Resultados médios ( $\pm$ DP) correspondentes a concentração de lactato sanguíneo [Lac] ( $\text{mmol.l}^{-1}$ ) na comparação do LAn identificado na EE e no LP 45°						
LAn	EE [Lac]	LP 45° [Lac]	Significância	Correlação	Significância da correlação	Classificação
$\text{mmol.l}^{-1}$	$4,80 \pm 1,27$	$5,30 \pm 1,33$	$p = 0,367$	$r = 0,068$	$p = 0,835$	desprezível

*\*p < 0,05 para correlação entre as variáveis*

No entanto, a análise gráfica de *Bland Altman* demonstrou concordância entre os valores das [Lac], onde foi identificado o LAn entre os protocolos incrementais estudados, estando 95% dos dados dentro dos limites de concordância de  $\pm 1,96$  (Figura 24).



**Figura 24:** Concordância entre as [Lac] onde o LAn foi identificado entre os protocolo incrementais realizados na EE e no LP 45° em (mmol.l<sup>-1</sup>).

## **7. DISCUSSÃO**

Diante das diferenças existentes entre os exercícios propostos em que foram realizados os protocolos incrementais de carga, assim como, a natureza aeróbica dinâmica descontínua e dinâmica resistida desses exercícios, o presente estudo, com fins didáticos discutiu os dados através da apresentação de três artigos distintos intitulados da seguinte forma: a) Estudo das respostas eletromiográficas e lactato sanguíneo durante um protocolo de cargas incrementais realizado em esteira ergométrica; b) Estudo das respostas eletromiográficas e lactato sanguíneo durante um protocolo de cargas incrementais realizado no leg press 45°; e c) Relação entre o limiar anaeróbio identificado através do lactato sanguíneo entre os exercícios dinâmico descontínuo e resistido.

### **a) Estudo das respostas eletromiográficas e lactato sanguíneo durante um protocolo de cargas incrementais realizado em esteira ergométrica**

Inúmeras pesquisas têm relatado que os aumentos na intensidade do esforço provocam alterações nos padrões biomecânicos de corrida modificando o recrutamento dos músculos atuantes neste movimento, por conseguinte, o comportamento do sinal EMG durante protocolos incrementais realizados em EE (GAZENDAM, 2007; HANON et al., 2005). Essa complexidade limitou os estudos envolvendo esse instrumento (FRAGA; SILVA; GONÇALVES, 2009; TAYLOR; BRONKS, 1994), fazendo com que a maioria dos experimentos fossem desenvolvidos em cicloergômetro (ALBERTUS-KAJEE et al., 2011; CAMIC et al., 2010; CANDOTTI et al., 2008; JÜRIMÄE et al., 2007; KANG et al., 2014; LUCÍA et al., 1999). Neste sentido, o reduzido número de pesquisas que comprovaram a validade da sEMG para identificação do LAn, assim como, a escassez de experimentos que avaliaram a relação entre os parâmetros metabólicos considerados “*gold standard*”, LL e LV, e o parâmetro neuromuscular, LEMG, restringiram sua aplicação na prática desportiva. Diante desta problemática, os objetivos do estudo foram: (a) investigar a possibilidade de se determinar o LAn através de parâmetros metabólicos, [Lac] e neuromuscular, sEMG nos músculos VM, RF e VL; e (b) verificar se o LL apresenta relações com o LEMG<sub>VM</sub>, LEMG<sub>RF</sub> e LEMG<sub>VL</sub> e se ambos os parâmetros utilizados para a identificação apresentam os mesmos fenômenos fisiológicos.

As principais descobertas do nosso estudo indicaram a possibilidade de se determinar o LAn, através dos parâmetros metabólico [Lac] e neuromusculares, sEMG, nos músculos VM, RF e VL (tabela 1). Além disso, não foram observadas diferenças estatísticas entre as velocidades de corrida onde foi identificado o LL, LEMG<sub>VM</sub>, LEMG<sub>RF</sub> e LEMG<sub>VL</sub> (tabela 1). Houve concordância e correlações significativas entre o LL x LEMG<sub>VM</sub>, LL x LEMG<sub>RF</sub> e entre o LL x LEMG<sub>VL</sub> (tabela 1, figura 12, figura 13, figura 14).

Recentemente, algumas pesquisas têm verificado a possibilidade de utilizar a sEMG como uma ferramenta não invasiva para estimar os parâmetros metabólicos como o LL (FRAGA; SILVA; GONÇALVES, 2009; TAYLOR; BRONKS, 1994), LV (TIKKANEN et al., 2012) e o PCR (CAMIC et al., 2014) em testes incrementais realizados na EE. Neste sentido, Tikkanen et al. (2012) constataram que o LEMG foi capaz de estimar o LV<sub>2</sub> em corredores fundistas e indivíduos fisicamente ativos, sendo

encontrada uma forte correlação ( $r = 0,86$ ) entre o LEMG e o  $LV_2$  quando foi avaliado o grupo como um todo. Em um estudo similar, Camic et al. (2014) verificaram que o modelo matemático para estimar a capacidade máxima de trabalho físico que pode ser realizada no limiar de fadiga baseado na eletromiografia ( $PWC_{FT}$ ) foi capaz de estimar o PCR em estudantes moderadamente treinados do sexo masculino e feminino, sendo encontrada uma correlação moderadamente forte ( $r = 0,70$ ) entre  $PWC_{FT}$  e o PCR. A relação existente entre os parâmetros ventilatórios e eletromiográficos podem ser atribuídos ao fato de que o recrutamento muscular pode ser um sinalizador para as respostas ventilatórias (LUCÍA et al., 1999), especificamente, pela existência de mecanorreceptores que respondem ao aumento do trabalho realizado pelas UMs (ROWELL, 1992; ROWELL; O'LEARY, 1990). Particularmente, os receptores das extremidades terminais musculares, aferentes III e IV (PAGEAUX et al., 2015), podem ser ativados por estímulos mecânicos e bioquímicos induzidos pela contração muscular (BLAIN et al., 2016). Por sua vez, essas informações sensoriais são comunicadas pela medula espinhal aos vários locais do SNC (CAMIC et al., 2014), incluindo o córtex motor (BLAIN et al., 2016), induzindo repostas reflexas cardioventilatórias aumentando a atividade simpática durante o decorrer do exercício (AMANN et al., 2011).

Avaliando qual dos parâmetros, ventilatório e/ou eletromiográfico, seriam capazes de estimar o LL, Taylor e Bronks (1994) observaram em seu experimento que as [Lac] começaram a aumentar exponencialmente antes da perda de linearidade do sinal EMG, indicando que a sEMG pode não ser um método viável para estimar o LAn. Por outro lado, nosso estudo demonstrou relações entre os parâmetros metabólico, [Lac], e eletromiográficos, sEMG, onde foram encontradas concordância e fortes correlações entre o LL x  $LEM_{VM}$  ( $r = 0,74$ ), entre o LL x  $LEM_{RF}$  ( $r = 0,75$ ), e entre o LL x  $LEM_{VL}$  ( $r = 0,84$ ) (tabela 1, figura 15, figura 16, figura 17). As razões que levaram a uma resposta distinta entre os estudos pode ser elucidada pelas diferenças na técnica de corrida dos avaliados. Neste sentido, especula-se que indivíduos com técnicas deficitárias podem não serem capazes de relaxar os músculos suficientemente na fase de recuperação do ciclo de passada, provocando maior recrutamento eletromiográfico para atingir uma determinada velocidade de corrida, dificultando assim, a determinação do LEMG (TIKKANEN et al., 2012). Em outro estudo, avaliando os músculos RF, VL, BF, TA e GL, Fraga; Silva e Gonçalves (2009) encontraram relação entre o LL e o LFE somente nos músculos TA e GL.

Contraditoriamente, nossos resultados mostraram relação entre o LL e o LEMG identificado nos músculos VM, RF e VL. Apesar da maioria dos experimentos terem relatado a possibilidade de identificação do LEMG nos músculos VL (CAMIC et al., 2014; CROZARA et al., 2015; FRAGA; SILVA; GONÇALVES, 2009; GUFFEY et al., 2012; TAYLOR; BRONKS, 1994), GL (CROZARA et al., 2015; FRAGA; SILVA; GONÇALVES, 2009; TAYLOR; BRONKS, 1994), RF (CROZARA et al., 2015; FRAGA; SILVA; GONÇALVES, 2009) e BF (CROZARA et al., 2015; FRAGA; SILVA; GONÇALVES, 2009) os resultados ainda são controversos. Hanon et al. (2005) relataram que os músculos biarticulares da coxa, BF e RF, entraram em fadiga antes do músculo monoarticular, VL. Em contrapartida, Crozara et al. (2015) demonstraram que os músculos RF (biarticular) e o VL (monoarticular) são afetados de forma similar pela fadiga. Diante dessas discrepâncias entre as investigações, sugere-se que as diferenças entre os protocolos aplicados, nível de aptidão física dos sujeitos avaliados, assim como, os métodos utilizados para determinar o LEMG podem alterar a natureza da resposta eletromiográfica (CROZARA et al., 2015), dificultando inclusive as relações entre o LL e o LEMG avaliado em diferentes músculos.

Embora as razões que levam ao aumento abrupto e não linear do sinal EMG em protocolos incrementais não serem bem compreendidas (CANDOTTI et al., 2008; LUCÍA et al., 1999), é admitido que a partir do momento em que a transição aeróbia-anaeróbia é atingida, o fornecimento de ATP pelas vias oxidativas torna-se insuficiente, sendo necessário utilizar as reservas energéticas disponíveis através da glicólise anaeróbia, levando o aumento da acidose metabólica (GLADDEN, 2004; LUCÍA et al., 1999). O acúmulo de íons  $H^+$  e a consequente redução no pH da célula muscular tem sido associados aos declínios da capacidade de gerar força (AMENT; VERKERKE, 2009; SAHLIN, 1992), principalmente, por diminuir a função da bomba de  $Na^+/K^+$  no sarcolema, reduzir a liberação  $Ca^{2+}$  ATPase no retículo sarcoplasmático e da ATPase miosina envolvida na interação actina-miosina, prejudicando o processo de contração muscular (AMENT; VERKERKE, 2009; CAIRNS, 2006; FITTS, 2004; GREEN; PATLA, 1992; WESTERBLAD et al., 2002). Diante destas condições fisiológicas, para compensar o déficit das UMs do tipo I oxidativas fadigas, a força muscular deve ser aumentada durante o teste incremental através do recrutamento adicional de UMs, particularmente, do tipo IIa, glicolíticas oxidativas, e IIb, glicolíticas (LUCÍA et al., 1999). Paralelamente, o acúmulo de íons  $H^+$  e o decréscimo no pH (CAMIC et al., 2010; STOUT et al., 2007), parece não ser o único mecanismo

envolvido nos aumentos na amplitude do sinal EMG (LUCÍA et al., 1999). Nesta premissa, Braakhekke; Joosten e Stegeman (1986) observaram mudanças no sinal EMG condizentes com o recrutamento adicional de UMs em pacientes portadores da doença de McArdle's. Essas mesmas modificações, também foram observadas em indivíduos sadios durante a condição de hiperoxia, quando a atividade dos quimiorreceptores periféricos foi possivelmente abolida (MATEIKA; DUFFIN, 1994b). Dessa maneira, as modificações no sinal EMG podem não ocorrer somente pelo acúmulo de metabólitos, mas também por outros fatores como os aumentos na atividade hormonal e neural (AIRAKSINEN et al., 1992), o que em partes, pôde justificar os motivos pelo qual encontramos o LEMG nos músculos VM, RF e VL antes do LL (tabela 1).

Não obstante, nossos achados parecem estar alinhados com os demais estudos que utilizaram um protocolo incremental em cicloergômetro (CANDOTTI et al., 2008; HUG et al., 2006; LUCÍA et al., 1999), havendo correlação entre o LL e o LEMG e indicando que a sEMG pode ser um parâmetro não invasivo fiável para estimar o LL, e conseqüentemente, o LAn em corredores fundistas moderadamente treinados durante um teste incremental realizado na EE.

## **b) Estudo das respostas eletromiográficas e lactato sanguíneo durante um protocolo de cargas incrementais realizado no leg press 45°**

Atualmente, vários estudos têm enfatizado a possibilidade de se determinar o LAn através das [Lac] em protocolos incrementais realizados em ER (MOREIRA et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2006; SIMÕES et al., 2013; SIMÕES et al., 2010). Embora essas investigações tenham demonstrado que o LAn pode ser determinado em valores relativos próximos a 30% de 1RM, ainda são desconhecidos os estudos que tenham identificado tal possibilidade em corredores fundistas moderadamente treinados, dificultando a prescrição da carga de trabalho ideal para o aprimoramento da RML nesta população específica. Adicionalmente, apenas um experimento verificou a associação entre o LEMG e o LL em um protocolo incremental isométrico (DE AGUIAR et al., 2010), porém, não condizente com a realidade dinâmica da atividade esportiva. Assim, diante destas lacunas os objetivos do estudo foram: (a) investigar a possibilidade de se determinar o LAn através de parâmetros metabólicos, [Lac] e neuromuscular, sEMG nos músculos VM, RF e VL; e (b) verificar se o LL apresenta relações com o LEMG<sub>VM</sub>, LEMG<sub>RF</sub> e LEMG<sub>VL</sub> e se ambos os parâmetros utilizados para a identificação apresentam os mesmos fenômenos fisiológicos.

Os principais achados do presente estudo indicaram a possibilidade de se determinar o LAn, através dos parâmetros metabólico [Lac] e neuromusculares, sEMG, nos músculos VM, RF e VL (tabela 2). Além disso, não foram observadas diferenças estatísticas entre as cargas de exercício onde foi identificado o LL, LEMG<sub>VM</sub>, LEMG<sub>RF</sub> e LEMG<sub>VL</sub> (tabela 2). Houve concordância e correlações significativas entre o LL x LEMG<sub>RF</sub> e entre o LL x LEMG<sub>VL</sub> (tabela 2, figura 22, figura 23). Porém, apesar de haver correlação significativa entre o LL x LEMG<sub>VM</sub>, a análise visual do gráfico de *Bland Altman* não indicou concordância entre os parâmetros (tabela 2, figura 21).

Em nosso experimento, o LL determinado através do método de inspeção visual foi encontrado em 40,83% de 1RM. Já o LEMG identificado através da análise visual do “*breakpoint*” do sinal EMG proposto por Hug et al. (2006) foi encontrado em 37,08% de 1RM no VM, 36,85% de 1RM no RF e 38,25% no VL. Em relação ao LL, pesquisas anteriores que avaliaram idosos (SIMÕES et al., 2013; SIMÕES et al., 2010) e jovens (SIMÕES et al., 2013) aparentemente saudáveis, indivíduos

diagnosticados com diabetes do tipo 2 (MOREIRA et al., 2008) e treinados em musculação (OLIVEIRA et al., 2006; ROCHA et al., 2010), encontraram o LL entre 30 e 36,6% de 1RM. Alguns estudos têm destacado que fatores como a idade (ALLEN et al., 1985) e o estado de treinamento (EMHOFF et al., 2013; MESSONNIER et al., 2013), tendem a afetar a cinética das [Lac] e, conseqüentemente, a identificação do LL em protocolos incrementais realizados em exercícios aeróbios dinâmicos descontínuos. Em contrapartida, Simões et al. (2013) utilizando um protocolo incremental realizado em ER, não encontraram diferenças significativas na carga em que foi identificado o LL entre idosos e jovens saudáveis. O fator preponderante para que o LL encontrado em nosso estudo esteja acima dos valores anteriormente encontrados pela maioria das pesquisas envolvendo essa temática, podem ser parcialmente elucidados devido ao fato de que indivíduos treinados aerobiamente apresentam uma predominância de fibras do tipo I, implicando num LL relativamente mais elevado do que seus pares destreinados (IVY et al., 1980). Além disso, outras adaptações específicas relacionadas com o aumento na concentração da bomba de Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> (GREEN et al., 1993) e mioglobina (HARMS; HICKSON, 1983), melhoras na capacidade oxidativa devido ao aumento no número de mitocôndrias (SPINA et al., 1996), assim como, um equilíbrio mais acurado entre a produção e remoção de lactato (EMHOFF et al., 2013; MESSONNIER et al., 2013), podem resultar em um deslocamento do LL para intensidades mais elevadas de esforço (RØNNESTAD et al., 2015). No que se refere ao LEMG, nosso experimento demonstrou concordância e correlações moderada entre o LL e o RF e forte entre o LL e o VL. Já o LEMG do músculo VM, apesar de haver correlação moderada com o LL, não foi verificada concordância entre os parâmetros neuromuscular e metabólicos. Neste contexto, alguns experimentos têm observado estratégias alternativas do controle motor durante contrações fadigantes sustentadas de baixa intensidade (AKIMA et al., 2012; KOUZAKI et al., 2003). Assim, Akima et al. (2012) verificaram claramente em seu estudo que os músculos monoarticulares da coxa, VL e VM e o biarticular, RF, atenuaram ou ampliaram sua atividade muscular durante alguns períodos do exercício sustentado visando diminuir os efeitos da fadiga muscular e prolongar o movimento por mais tempo. Dessa maneira, podemos hipotetizar que o mesmo possa ter ocorrido durante o exercício incremental dinâmico resistido, fazendo com que a atividade eletromiográfica do VM fosse atenuada prematuramente em relação ao VL e RF,

permitindo assim, que o LEMG<sub>VM</sub> fosse identificado de maneira não concordante ao LL.

Os mecanismos responsáveis pela ocorrência do LL e do LEMG em protocolo incremental realizado em ER podem ser parcialmente elucidados por fatores hemodinâmicos e fisiológicos (DE SOUSA et al., 2012). Alguns estudos têm demonstrado que nos exercícios com intensidades superiores a 30% de 1RM (DE SOUSA et al., 2012; DE SOUSA et al., 2011; MOREIRA et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2006; SIMÕES et al., 2013; SIMÕES et al., 2010), ocorre uma compressão dos capilares sanguíneos da musculatura ativa (SIMÕES et al., 2010), ocasionando um bloqueio (WILLIAMS et al., 2007) e provocando uma redução significativa no fluxo sanguíneo (SIMÕES et al., 2010). Este evento reduz a disponibilidade de oxigênio para o músculo (SIMÕES et al., 2010) e estimula a atividade da glicólise anaeróbia (DE SOUSA et al., 2012; DE SOUSA et al., 2011). A gradual exaustão do metabolismo aeróbio é sucedido por um maior recrutamento de fibras do tipo IIa (glicolíticas oxidativas) e IIb (glicolíticas) (SIMÕES et al., 2010), tornando o exercício proporcionalmente mais dependente do metabolismo anaeróbio em relação ao metabolismo oxidativo, onde temos proporcionalmente maior participação das fibras do tipo I. A atividade da enzima lactato desidrogenase, o acúmulo de íons H<sup>+</sup> e a consequente redução do pH no interior da célula muscular estimula o recrutamento de fibras do tipo IIa e IIb (CAMIC et al., 2010; KOHN; ESSEN-GUSTAVSSON; MYBURGH, 2011; STOUT et al., 2007), favorecendo a produção de lactato e provocando o seu aumento exponencial em intensidades mais elevadas de esforço (SIMÕES et al., 2010). Portanto, a redução na disponibilidade de oxigênio ocasionado pela restrição do fluxo sanguíneo, proporciona um aumento na participação das vias energéticas glicolíticas, permitindo a identificação do ponto de transição entre as diferentes vias energéticas metabólicas (DE SOUSA et al., 2012; DE SOUSA et al., 2011) e a determinação do LL e do LEMG. Apesar de não haver diferenças significativas e existir correlações significativas entre o LEMG<sub>VM</sub>, LEMG<sub>RF</sub> e LEMG<sub>VL</sub> com o LL, percebemos em nossa pesquisa que o LEMG de todas as musculaturas estudadas foi identificado em cargas relativas abaixo do LL (tabela 2). A razão para o ocorrido, pode estar relacionada ao fato de que o acúmulo de íons H<sup>+</sup> e o decréscimo no pH (CAMIC et al., 2010; STOUT et al., 2007), parecem não serem os únicos mecanismos envolvidos nos aumentos da amplitude do sinal EMG (LUCÍA et al., 1999). Neste sentido, algumas investigações têm verificado aumentos na amplitude

do sinal EMG em situações de hiperoxia (MATEIKA; DUFFIN, 1994a;1994b), advertindo que essas elevações podem ocorrer possivelmente por outros fatores que estão associados aos aumentos na atividade hormonal e neural (AIRAKSINEN et al., 1992), o que pôde justificar a ocorrência do LEMG antes do LL.

Contudo, as relações entre as variáveis metabólica, LL e neuromuscular, LEMG, nos músculos RF e VL, indicam que a sEMG pode ser uma ferramenta atrativa e não invasiva para determinar o LAn e/ou estimar o LL em corredores fundistas moderadamente treinados durante um teste incremental realizado no LP 45°. Além disso, ressaltamos que a carga de trabalho onde foi determinado o LAn, em torno de 40% de 1RM, deve ser considerada para prescrição do TF visando o aprimoramento da RML para esta população específica.

### **c) Relação entre o limiar anaeróbio identificado através do lactato sanguíneo entre os exercícios dinâmico descontínuo e resistido**

A identificação do LAn tem sido considerado um índice fidedigno para se determinar os diferentes domínios de intensidade (JÜRIMÄE et al., 2007; PRINGLE; JONES, 2002), provendo informações valiosas acerca dos sistemas fisiológicos presentes durante o exercício (GARNACHO-CASTAÑO et al., 2015), sendo portanto, exaustivamente estudado em protocolos incrementais realizados em cicloergômetro e EE (CANDOTTI et al., 2008; HUG et al., 2006; JÜRIMÄE et al., 2007; KINDERMANN et al., 1979; LUCÍA et al., 1999; TAYLOR; BRONKS, 1994), e recentemente, em ER (MOREIRA et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2006; SIMÕES et al., 2013; SIMÕES et al., 2014; SIMÕES et al., 2010). No entanto, apenas um estudo buscou verificar a relação do comportamento metabólico, [Lac], entre protocolos incrementais realizados em cicloergômetro e LP 45° (SIMÕES et al., 2014). Porém, até a presente data nenhum estudo procurou avaliar esta relação entre protocolos incrementais realizados na EE e LP 45° em corredores fundistas moderadamente treinados. Dessa maneira, o objetivo principal do estudo foi verificar a relação do LAn identificado através das [Lac] entre os protocolos incrementais realizados em EE e no LP 45°.

Nossos principais resultados demonstraram não haver diferença significativa nas [Lac] em que foi identificado o LAn entre os protocolos incrementais realizados na EE e no LP 45° (tabela 3). Não foi encontrada correlação significativa nos valores das [Lac] onde foi determinado o LAn entre os protocolos incrementais realizados na EE e no LP 45°, sendo a classificação da correlação considerada desprezível ( $r = 0,068$ ) (tabela 3). Porém, a análise visual do gráfico de *Bland Altman* demonstrou concordância entre esses protocolos (figura 24).

Na literatura específica, apenas um estudo buscou verificar a relação do comportamento metabólico, [Lac], entre protocolos dinâmicos descontínuos e resistido (SIMÕES et al., 2014). Nesta premissa, Simões et al. (2014) avaliando idosos saudáveis não observaram diferenças significativas nas [Lac] em que foi determinado o LAn entre os protocolos incrementais realizados em cicloergômetro e no LP 45°. Porém, observaram que após o LAn, os valores das [Lac] foram proporcionalmente mais elevados no LP 45° do que no cicloergômetro. Em nosso estudo, apesar de não termos encontrado diferenças significativa nos valores do LAn entre os diferentes

protocolos incrementais realizados, o LP 45° demonstrou maiores valores das [Lac] quando comparado a EE. Esses achados podem ser atribuídos aos fatores hemodinâmicos que são mais proeminentes durante o LP 45° (SIMÕES et al., 2014), onde é observado um componente estático entre as fases concêntrica e excêntrica do exercício (SIMÕES et al., 2014), sendo esse, semelhante aos exercício isométricos (PETROFSKY et al., 1981). Assim, de acordo com Petrofsky et al. (1981), a elevação da tensão muscular provocaria um colapso nos vasos sanguíneos restringindo o fluxo sanguíneo e diminuindo a oxigenação para o músculo ativo, provocando alterações metabólicas e, conseqüentemente, aumentos na produção de lactato.

Além disso, alguns experimentos demonstraram haver diferença significativa entre o LAn identificado em exercícios incrementais com características diferentes (MEDELLI et al., 1993; SCHNEIDER; POLLACK, 1991). Neste sentido, Medelli et al. (1993) avaliando triatletas de elite relataram diferença estatisticamente significativa entre o %VO<sub>2máx</sub> onde foi identificado o LAn, sendo 1,5% maior no teste incremental realizado na EE em comparação com o cicloergômetro. Adicionalmente, outros estudos têm mostrado que a especificidade do exercício que é utilizado no treinamento, assim como, o instrumento utilizado para realizar o teste incremental pode influenciar variáveis como a MFEL e o VO<sub>2máx</sub> (BOUCKAERT; VRIJENS; PANNIER, 1990). Dessa forma, podemos inferir que fatores como a inexperiência dos avaliados em protocolo incremental realizado no ER, além da restrição do fluxo sanguíneo provocando alterações metabólicas que levam os aumentos na produção de lactato, podem ter contribuído para que encontrássemos maiores valores nas [Lac] onde foi identificado o LAn durante o teste incremental realizado no LP 45° em comparação com a EE, apesar de não existir diferença significativa nos valores encontrados em ambos os protocolos.

Uma importante limitação de nosso experimento foi não termos utilizado um teste incremental preliminar para obter o pico da velocidade de corrida em EE como foi proposto por Noakes; Myburgh e Schall (1990). Dessa maneira, seria possível fracionar as intensidades em 10, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 70, 80 e 90% do pico da velocidade de corrida, e posteriormente, realizar um novo teste progressivo para identificar o LAn. Assim, seria possível comparar de forma mais equalizada e fidedigna com o teste progressivo realizado no LP 45°, sendo semelhante ao que foi realizado no estudo de Simões et al. (2014). Não obstante, apesar de nosso estudo ter encontrado semelhanças entre as [Lac] o qual foi identificado o LAn, e concordância

entre os testes incrementais realizados no LP 45° e na EE, ainda são necessários estudos complementares que apresentem uma abordagem metodológica mais complexa e com mais parâmetros de avaliação para solidificar as relações existentes entre ambos os protocolos incrementais.

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS E APLICAÇÕES PRÁTICAS

Em síntese, em relação ao estudo (a), nosso experimento demonstrou relações entre o LL e o LEMG identificado nos músculos VM, RF e VL, indicando que a sEMG pode ser um método não invasivo atrativo para estimar o LAn em corredores fundistas moderadamente treinados durante um protocolo incremental de cargas realizado na EE. Porém, advertimos a necessidade de outros estudos que procurem avaliar as demais musculaturas atuantes no movimento específico de corrida, visto que alguns experimentos reportaram que os mesmos podem responder de forma distinta a fadiga, e conseqüentemente dificultar a sua utilização para a determinação do LEMG, minimizando as relações ocorrentes com os parâmetros metabólicos considerados “*gold standard*”, como o LV e o LL. Adicionalmente, recomendamos novas pesquisas que procurem avaliar indivíduos com diversos níveis de treinamento para elucidar se a sEMG pode ser um parâmetro não invasivo viável para a identificação do LAn nessas populações, dado que o sinal EMG já se mostrou bastante influenciável pelo nível de treinamento, assim como, pela técnica de corrida.

Similarmente ao estudo (a), o estudo (b) também evidenciou relações entre o LL e o LEMG determinado em todos os músculos avaliados, demonstrando que a sEMG pode ser uma ferramenta importante para estimar o LAn durante protocolo incremental de cargas realizado no LP 45°. Nossos achados ainda revelaram que o percentual da carga em que foi identificado o LAn em corredores fundistas moderadamente treinados estão acima dos valores encontrados nas demais populações estudadas até a presente data. Complementarmente, sugerimos que o percentual de carga encontrado em nosso estudo, em torno de 40% de 1RM, deva ser utilizado no âmbito do TR que vise o aprimoramento da RML para a melhora do desempenho esportivo em corredores fundistas.

No que se refere ao estudo (c), nossos achados mostraram concordância entre o LAn identificado através das [Lac] entre ambos os protocolos aplicados. Entretanto, ainda faz-se necessário experimentos que equalizem a progressão das cargas aplicadas em ambos os protocolos através do fracionamento das cargas máximas encontradas em testes prévios realizados LP 45° e EE. Dessa maneira, a provável confirmação da relação entre ambos os protocolos poderia refletir na utilização de testes progressivos no LP 45° como uma ferramenta para avaliar as adaptações oriundas do TR em corredores fundistas, visto que atualmente são utilizados testes como 1RM e saltos que são bastante inespecíficos, especificamente, por não

considerarem os pontos de transição fisiológica que são sensíveis as adaptações ao treinamento de *endurance*.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIRAKSINEN, O. et al. Real-time evaluation of anaerobic threshold with rms-EMG of working and nonworking muscles during incremental bicycle ergometer test. **Acupuncture & electro-therapeutics research**, v. 17, n. 4, p. 259-271, 1992.

AKIMA, H. et al. Alternate muscle activity patterns among synergists of the quadriceps femoris including the vastus intermedius during low-level sustained contraction in men. **Muscle & nerve**, v. 46, n. 1, p. 86-95, 2012.

ALBERTUS-KAJEE, Y. et al. Alternative methods of normalising EMG during running. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 21, n. 4, p. 579-586, 2011.

ALLEN, D. G.; LAMB, G. D.; WESTERBLAD, H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. **Physiological reviews**, v. 88, n. 1, p. 287-332, 2008.

ALLEN, W. K. et al. Lactate threshold and distance-running performance in young and older endurance athletes. **Journal of Applied Physiology**, v. 58, n. 4, p. 1281-1284, 1985.

AMANN, M. et al. Implications of group III and IV muscle afferents for high-intensity endurance exercise performance in humans. **The Journal of physiology**, v. 589, n. 21, p. 5299-5309, 2011.

AMENT, W.; VERKERKE, G. J. Exercise and fatigue. **Sports Medicine**, v. 39, n. 5, p. 389-422, 2009.

BAECHLE, T. R.; EARLE, R. W. **Essentials of strength training and conditioning**. Human kinetics, 2008. ISBN 0736058036.

BALDARI, C.; GUIDETTI, L. A simple method for individual anaerobic threshold as predictor of max lactate steady state. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 32, n. 10, p. 1798-1802, 2000.

BARROS, C. et al. Limiar de lactato em exercício resistido. **Motriz**, v. 10, n. 1, p. 31-6, 2004.

BASMAJIAN, J. V. Electromyographic analyses of basic movement patterns. **Exercise and sport sciences reviews**, v. 1, n. 1, p. 259-284, 1973.

BASMAJIAN, J. V.; DE LUCA, C. Muscles alive. **Proceedings of The Royal Society of Medicine**, v. 278, p. 126, 1985.

BASSETT, D.; HOWLEY, E. T. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 32, n. 1, p. 70-84, 2000.

BEAVER, W. L.; WASSERMAN, K.; WHIPP, B. J. Improved detection of lactate threshold during exercise using a log-log transformation. **Journal of Applied Physiology**, v. 59, n. 6, p. 1936-1940, 1985.

BEHM, D. G. et al. Trunk muscle electromyographic activity with unstable and unilateral exercises. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 19, n. 1, p. 193-201, 2005.

BENEKE, R. Maximal lactate steady state concentration (MLSS): experimental and modelling approaches. **European Journal of Applied Physiology**, v. 88, n. 4-5, p. 361-369, 2003.

BENTLEY, D. J.; NEWELL, J.; BISHOP, D. Incremental exercise test design and analysis: implications for performance diagnostics in endurance athletes. **Sports Med**, v. 37, n. 7, p. 575-86, 2007.

BERGSTROM, H. C. et al. An examination of neuromuscular and metabolic fatigue thresholds. **Physiol Meas**, v. 34, n. 10, p. 1253-67, Oct 2013.

BERTUZZI, R. C. et al. Metabolismo do lactato: uma revisão sobre a bioenergética e a fadiga muscular. **Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum**, v. 11, n. 2, p. 226-234, 2009.

BERTUZZI, R. et al. Energy system contributions during incremental exercise test. **J Sports Sci Med**, v. 12, n. 3, p. 454-60, 2013.

BISHOP, D. Evaluation of the Accusport® lactate analyser. **International journal of sports medicine**, v. 22, n. 7, p. 525-530, 2001.

BLAIN, G. M. et al. Group III/IV muscle afferents limit the intramuscular metabolic perturbation during whole body exercise in humans. **The Journal of physiology**, 2016.

BLAND, J. M.; ALTMAN, D. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. **The lancet**, v. 327, n. 8476, p. 307-310, 1986.

BORG, G. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. **Scand j rehabil med**, v. 2, p. 92-98, 1970.

BOTTINELLI, R.; REGGIANI, C. Human skeletal muscle fibres: molecular and functional diversity. **Progress in biophysics and molecular biology**, v. 73, n. 2, p. 195-262, 2000.

BOUCKAERT, J.; VRIJENS, J.; PANNIER, J. Effect of specific test procedures on plasma lactate concentration and peak oxygen uptake in endurance athletes. **The Journal of sports medicine and physical fitness**, v. 30, n. 1, p. 13-18, 1990.

BRAAKHEKKE, J.; JOOSTEN, E.; STEGEMAN, D. Surface EMG, McArdle's disease and exercise intolerance. **Muscle & nerve**, v. 9, n. 7, p. 669, 1986.

BROOKS, G. A. Lactate doesn't necessarily cause fatigue: why are we surprised? **The Journal of physiology**, v. 536, n. 1, p. 1-1, 2001.

BURKOW-HEIKKINEN, L. Non-invasive physiological monitoring of exercise and fitness. **Neurological research**, v. 33, n. 1, p. 3-17, 2011.

CAIRNS, S. P. Lactic acid and exercise performance. **Sports Medicine**, v. 36, n. 4, p. 279-291, 2006.

CAMATA, T. et al. Association between the electromyographic fatigue threshold and ventilatory threshold. **Electromyography & Clinical Neurophysiology**, v. 49, n. 6, p. 305, 2009.

CAMIC, C. et al. An EMG frequency-based test for estimating the neuromuscular fatigue threshold during cycle ergometry. **Eur J Appl Physiol**, v. 108, n. 2, p. 337-45, Jan 2010.

CAMIC, C. L. et al. An EMG frequency-based test for estimating the neuromuscular fatigue threshold during cycle ergometry. **Eur J Appl Physiol**, v. 108, n. 2, p. 337-45, Jan 2010.

CAMIC, C. L. et al. An electromyographic-based test for estimating neuromuscular fatigue during incremental treadmill running. **Physiological measurement**, v. 35, n. 12, p. 2401, 2014.

CANDOTTI, C. T. et al. Comparing the lactate and EMG thresholds of recreational cyclists during incremental pedaling exercise. **Can J Physiol Pharmacol**, v. 86, n. 5, p. 272-8, May 2008.

CHENG, B. et al. A new approach for the determination of ventilatory and lactate thresholds. **International journal of sports medicine**, v. 13, n. 7, p. 518-522, 1992.

NATIONAL STRENGTH AND CONDITIONING ASSOCIATION. **Exercise technique manual for resistance training**. Human Kinetics, 2008.

COYLE, E. et al. Glycogen usage and performance relative to lactate threshold. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 16, n. 2, p. 120, 1984.

CROZARA, L. F. et al. Utility of electromyographic fatigue threshold during treadmill running. **Muscle Nerve**, Mar 18 2015.

DAVIS, J. A. Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. **Med Sci Sports Exerc**, v. 17, n. 1, p. 6-21, Feb 1985.

DE AGUIAR, A. et al. Efeito do incremento de carga na resposta eletromiografica e no lactato sangüíneo durante exercício estático. **Revista Andaluza de Medicina del Deporte**, v. 3, n. 2, p. 62-67, 2010.

DE LUCA, C. J. The use of surface electromyography in biomechanics. **Journal of applied biomechanics**, v. 13, p. 135-163, 1997.

DE SOUSA, N. et al. Acid-base balance at lactate threshold in resistance exercise. **Science & Sports**, v. 28, n. 1, p. e1-e7, 2013.

DE SOUSA, N. et al. Acute cardiorespiratory and metabolic responses during resistance exercise in the lactate threshold intensity. **International journal of sports medicine**, v. 33, n. 2, p. 108, 2012.

DE SOUSA, N. M. et al. Acute cardiorespiratory and metabolic responses during resistance exercise in the lactate threshold intensity. **Int J Sports Med**, v. 33, n. 2, p. 108-13, Feb 2012.

DE SOUSA, N. M. F. et al. The measurement of lactate threshold in resistance exercise: a comparison of methods. **Clinical physiology and functional imaging**, v. 31, n. 5, p. 376-381, 2011.

DEKERLE, J. et al. Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. **European journal of applied physiology**, v. 89, n. 3-4, p. 281-288, 2003.

DEL COSO, J. et al. Respiratory compensation and blood pH regulation during variable intensity exercise in trained versus untrained subjects. **Eur J Appl Physiol**, v. 107, n. 1, p. 83-93, Sep 2009.

DEVRIES, H. A. et al. The relation between critical power and neuromuscular fatigue as estimated from electromyographic data. **Ergonomics**, v. 25, n. 9, p. 783-791, 1982.

DEVRIES, H. A. et al. Factors affecting the estimation of physical working capacity at the fatigue threshold. **Ergonomics**, v. 33, n. 1, p. 25-33, 1990.

DI MICHELE, R. et al. Comparison of physiological responses to an incremental running test on treadmill, natural grass, and synthetic turf in young soccer players. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 23, n. 3, p. 939-945, 2009.

DI MICHELE, R. et al. Estimation of the anaerobic threshold from heart rate variability in an incremental swimming test. **J Strength Cond Res**, v. 26, n. 11, p. 3059-66, Nov 2012.

DIMITROV, G. et al. Simulation analysis of interference EMG during fatiguing voluntary contractions. Part II—Changes in amplitude and spectral characteristics. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 18, n. 1, p. 35-43, 2008.

EDWARDS, A.; CLARK, N.; MACFADYEN, A. Lactate and ventilatory thresholds reflect the training status of professional soccer players where maximum aerobic power is unchanged. **Journal of sports science & medicine**, v. 2, n. 1, p. 23, 2003.

EMHOFF, C. A. W. et al. Direct and indirect lactate oxidation in trained and untrained men. **Journal of Applied Physiology**, v. 115, n. 6, p. 829-838, 2013.

FARINA, D. et al. Surface EMG crosstalk between knee extensor muscles: experimental and model results. **Muscle & nerve**, v. 26, n. 5, p. 681-695, 2002.

FAUDE, O.; KINDERMANN, W.; MEYER, T. Lactate threshold concepts. **Sports medicine**, v. 39, n. 6, p. 469-490, 2009.

FERLEY, D. D.; OSBORN, R. W.; VUKOVICH, M. D. The Effects of Uphill Vs. Level-Grade High-Intensity Interval Training on  $\dot{V}o_{2max}$ ,  $V_{max}$ , VLT, and  $T_{max}$  in Well-Trained Distance Runners. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 27, n. 6, p. 1549-1559, 2013.

FITTS, R. Mechanisms of muscular fatigue. 2004.

FRAGA, C. H. W.; SILVA, S. R. D. D.; GONÇALVES, M. Efeito da velocidade de corrida em variáveis eletromiográficas e metabólicas. **Motriz rev. educ. fís.(Impr.)**, v. 15, n. 4, p. 911-918, 2009.

GABRIEL, D. A. et al. Analysis of surface EMG spike shape across different levels of isometric force. **Journal of neuroscience methods**, v. 159, n. 1, p. 146-152, 2007.

GARNACHO-CASTAÑO, M. et al. Acute physiological and mechanical responses during resistance exercise executed at the lactate threshold workload. **Journal of strength and conditioning research/National Strength & Conditioning Association**, 2015.

GAZENDAM, M. G.; HOF, A. L. Averaged EMG profiles in jogging and running at different speeds. **Gait & posture**, v. 25, n. 4, p. 604-614, 2007.

GLADDEN, L. Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium. **The Journal of physiology**, v. 558, n. 1, p. 5-30, 2004.

GLADDEN, L. B. Lactate transport and exchange during exercise. **Comprehensive Physiology**, 1996.

GRASSI, B.; ROSSITER, H. B.; ZOLADZ, J. A. Skeletal muscle fatigue and decreased efficiency: two sides of the same coin? **Exercise and sport sciences reviews**, v. 43, n. 2, p. 75-83, 2015.

GREEN, H. et al. Increases in human skeletal muscle Na (+)-K (+)-ATPase concentration with short-term training. **American Journal of Physiology-Cell Physiology**, v. 264, n. 6, p. C1538-C1541, 1993.

GREEN, H.; PATLA, A. Maximal aerobic power: neuromuscular and metabolic considerations. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 24, n. 1, p. 38-46, 1992.

GUFFEY, D. R. et al. Estimating electromyographic and heart rate fatigue thresholds from a single treadmill test. **Muscle Nerve**, v. 46, n. 4, p. 577-81, Oct 2012.

HALL, J. E.; GUYTON, A. C. **Textbook of medical physiology**. Saunders London, 2011.

HANON, C.; THÉPAUT-MATHIEU, C.; VANDEWALLE, H. Determination of muscular fatigue in elite runners. **European journal of applied physiology**, v. 94, n. 1-2, p. 118-125, 2005.

HARMS, S. J.; HICKSON, R. C. Skeletal muscle mitochondria and myoglobin, endurance, and intensity of training. **Journal of Applied Physiology**, v. 54, n. 3, p. 798-802, 1983.

HECK, H. et al. Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. **International journal of sports medicine**, n. 6, p. 117-30, 1985.

HENDRIX, C. R. et al. A new EMG frequency-based fatigue threshold test. **J Neurosci Methods**, v. 181, n. 1, p. 45-51, Jun 30 2009.

HENNEMAN, E. et al. Rank order of motoneurons within a pool: law of combination. **Journal of Neurophysiology**, v. 37, n. 6, p. 1338-1349, 1974.

HENNEMAN, E.; SOMJEN, G.; CARPENTER, D. O. Excitability and inhibibility of motoneurons of different sizes. **Journal of neurophysiology**, v. 28, n. 3, p. 599-620, 1965.

HERMENS, H. J. et al. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. **Journal of electromyography and Kinesiology**, v. 10, n. 5, p. 361-374, 2000.

HERMENS, H. J. et al. European recommendations for surface electromyography. **Roessingh Research and Development**, v. 8, n. 2, p. 13-54, 1999.

HINKLE, D. E.; WIERSMA, W.; JURIS, S. G. Applied statistics for the behavioral sciences. 2003.

HOTTENROTT, K.; LUDYGA, S.; SCHULZE, S. Effects of high intensity training and continuous endurance training on aerobic capacity and body composition in recreationally active runners. **Journal of sports science & medicine**, v. 11, n. 3, p. 483, 2012.

HUG, F. Can muscle coordination be precisely studied by surface electromyography? **Journal of electromyography and kinesiology**, v. 21, n. 1, p. 1-12, 2011.

HUG, F. et al. EMG signs of neuromuscular fatigue related to the ventilatory threshold during cycling exercise. **Clin Physiol Funct Imaging**, v. 23, n. 4, p. 208-14, Jul 2003a.

HUG, F. et al. ACOMPARISON OF VISUAL AND MATHEMATICAL DETECTION OF THE ELECTROMYOGRAPHIC THRESHOLD DURING INCREMENTAL PEDALING EXERCISE: APILOT STUDY. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 20, n. 3, p. 704-708, 2006.

HUG, F. et al. EMG threshold determination in eight lower limb muscles during cycling exercise: a pilot study. **International journal of sports medicine**, v. 27, n. 6, p. 456-462, 2006.

HUG, F. et al. Occurrence of electromyographic and ventilatory thresholds in professional road cyclists. **Eur J Appl Physiol**, v. 90, n. 5-6, p. 643-6, Nov 2003b.

HUGHSON, R. L.; WEISIGER, K. H.; SWANSON, G. D. Blood lactate concentration increases as a continuous function in progressive exercise. **Journal of Applied Physiology**, v. 62, n. 5, p. 1975-1981, 1987.

IVY, J. et al. Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold. **Journal of Applied Physiology**, v. 48, n. 3, p. 523-527, 1980.

JUEL, C. et al. Effect of high-intensity intermittent training on lactate and H<sup>+</sup> release from human skeletal muscle. **American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism**, v. 286, n. 2, p. E245-E251, 2004.

JÜRIMÄE, J. et al. Aerobic–anaerobic transition intensity measured via EMG signals in athletes with different physical activity patterns. **European journal of applied physiology**, v. 101, n. 3, p. 341-346, 2007.

KALMAR, J.; CAFARELLI, E. Central excitability does not limit postfatigue voluntary activation of quadriceps femoris. **Journal of applied physiology**, v. 100, n. 6, p. 1757-1764, 2006.

KANG, S. K. et al. Objectivity and validity of EMG method in estimating anaerobic threshold. **Int J Sports Med**, v. 35, n. 9, p. 737-42, Aug 2014.

KEIR, D. A. et al. Exercise Intensity Thresholds: Identifying the Boundaries of Sustainable Performance. **Medicine and science in sports and exercise**, 2015.

KINDERMANN, W.; SIMON, G.; KEUL, J. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training.

**European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 42, n. 1, p. 25-34, 1979.

KOHN, T. A.; ESSEN-GUSTAVSSON, B.; MYBURGH, K. H. Specific muscle adaptations in type II fibers after high-intensity interval training of well-trained runners. **Scand J Med Sci Sports**, v. 21, n. 6, p. 765-72, Dec 2011.

KOMI, P. V. et al. Force and EMG power spectrum during eccentric and concentric actions. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 32, n. 10, p. 1757-1762, 2000.

KOUZAKI, M. et al. Local blood circulation among knee extensor synergists in relation to alternate muscle activity during low-level sustained contraction. **Journal of Applied Physiology**, v. 95, n. 1, p. 49-56, 2003.

KUIPERS, H. et al. Effects of stage duration in incremental running tests on physiological variables. **International journal of sports medicine**, v. 24, n. 7, p. 486-491, 2003.

LUCIA, A.; HOYOS, J.; CHICHARRO, J. L. Physiology of professional road cycling. **Sports Med**, v. 31, n. 5, p. 325-37, 2001.

LUCÍA, A. et al. Analysis of the aerobic-anaerobic transition in elite cyclists during incremental exercise with the use of electromyography. **British journal of sports medicine**, v. 33, n. 3, p. 178-185, 1999.

LUNDBERG, M. A. et al. Computerized estimation of lactate threshold. **Computers and Biomedical Research**, v. 19, n. 5, p. 481-486, 1986.

MALEK, M. H.; COBURN, J. W. Mechanomyographic responses are not influenced by the innervation zone for the vastus medialis. **Muscle & nerve**, v. 44, n. 3, p. 424-431, 2011.

MALEK, M. H. et al. Proposed tests for measuring the running velocity at the oxygen consumption and heart rate thresholds for treadmill exercise. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 19, n. 4, p. 847-852, 2005.

MASUDA, K. et al. Changes in surface EMG parameters during static and dynamic fatiguing contractions. **J Electromyogr Kinesiol**, v. 9, n. 1, p. 39-46, Feb 1999.

MATÉ-MUÑOZ, J. L. et al. Cardiorespiratory and Metabolic Responses to Loaded Half Squat Exercise Executed at an Intensity Corresponding to the Lactate Threshold. **Journal of sports science & medicine**, v. 14, n. 3, p. 648, 2015.

MATEIKA, J. H.; DUFFIN, J. Coincidental changes in ventilation and electromyographic activity during consecutive incremental exercise tests. **European journal of applied physiology and occupational physiology**, v. 68, n. 1, p. 54-61, 1994a.

\_\_\_\_\_. The ventilation, lactate and electromyographic thresholds during incremental exercise tests in normoxia, hypoxia and hyperoxia. **European journal of applied physiology and occupational physiology**, v. 69, n. 2, p. 110-118, 1994b.

MEDELLI, J. et al. Maximal oxygen uptake and aerobic-anaerobic transition on treadmill and bicycle in triathletes. **The Japanese journal of physiology**, v. 43, n. 3, p. 347-360, 1993.

MERLETTI, R. et al. Effect of age on muscle functions investigated with surface electromyography. **Muscle & nerve**, v. 25, n. 1, p. 65-76, 2002.

MERLETTI, R.; PARKER, P. A. **Electromyography: physiology, engineering, and non-invasive applications**. John Wiley & Sons, 2004. ISBN 0471675806.

MESSONNIER, L. A. et al. Lactate kinetics at the lactate threshold in trained and untrained men. **Journal of Applied Physiology**, v. 114, n. 11, p. 1593-1602, 2013.

MEYER, T. et al. A conceptual framework for performance diagnosis and training prescription from submaximal gas exchange parameters--theory and application. **Int J Sports Med**, v. 26 Suppl 1, p. S38-48, Feb 2005.

MOREIRA, S. R. et al. Methods to identify the lactate and glucose thresholds during resistance exercise for individuals with type 2 diabetes. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 22, n. 4, p. 1108-1115, 2008.

MORITANI, T.; DEVRIES, H. A. Reexamination of the relationship between the surface integrated electromyogram (IEMG) and force of isometric contraction. **American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation**, v. 57, n. 6, p. 263-277, 1978.

MORITANI, T. et al. Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold. **Ergonomics**, v. 24, n. 5, p. 339-350, 1981.

MORITANI, T.; STEGEMAN, D.; MERLETTI, R. Basic physiology and biophysics of EMG signal generation. **Electromyography Physiology Engineering and Noninvasive Applications**, p. 1-20, 2004.

MORITANI, T. et al. Relationship between myoelectric signals and blood lactate during incremental forearm exercise. **American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation**, v. 63, n. 3, p. 122-132, 1984.

MORITANI, T.; YOSHITAKE, Y. The use of electromyography in applied physiology. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 8, n. 6, p. 363-381, 1998.

NOAKES, T. D.; MYBURGH, K. H.; SCHALL, R. Peak treadmill running velocity during the VO<sub>2</sub> máx test predicts running performance. **Journal of sports sciences**, v. 8, n. 1, p. 35-45, 1990.

OLIVEIRA, J. C. D. et al. Identificação do limiar de lactato e limiar glicêmico em exercícios resistidos. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 12, n. 6, p. 333-338, 2006.

PAGEAUX, B. et al. Central alterations of neuromuscular function and feedback from group III-IV muscle afferents following exhaustive high-intensity one-leg dynamic exercise. **American journal of physiology-Regulatory, integrative and comparative physiology**, v. 308, n. 12, p. R1008-R1020, 2015.

PATON, W. D.; WAUD, D. The margin of safety of neuromuscular transmission. **The Journal of physiology**, v. 191, n. 1, p. 59-90, 1967.

PETROFSKY, J. S. et al. Blood flow and metabolism during isometric contractions in cat skeletal muscle. **Journal of Applied Physiology**, v. 50, n. 3, p. 493-502, 1981.

PITT, B. et al. The electromyographic threshold in boys and men. **Eur J Appl Physiol**, v. 115, n. 6, p. 1273-81, Jun 2015.

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

RAINOLDI, A. et al. Surface EMG alterations induced by underwater recording. **Journal of electromyography and Kinesiology**, v. 14, n. 3, p. 325-331, 2004.

RIBEIRO, J. et al. Metabolic and ventilatory thresholds assessment in front crawl swimming. **J Sports Med Phys Fitness**, Jul 29 2014.

ROBERGS, R. A.; GHIASVAND, F.; PARKER, D. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. **Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol**, v. 287, n. 3, p. R502-16, Sep 2004.

ROBERTSON, G. et al. **Research methods in biomechanics, 2E**. Human Kinetics, 2013. ISBN 0736093400.

ROCHA, R. M. et al. A Variação do método de incremento de cargas não altera a determinação do limiar de lactato em exercício resistido. **Rev. bras. med. esporte**, v. 16, n. 4, p. 282-285, 2010.

ROECKER, K. et al. Predicting competition performance in long-distance running by means of a treadmill test. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 30, p. 1552-1557, 1998.

RØNNESTAD, B. et al. Short intervals induce superior training adaptations compared with long intervals in cyclists—An effort-matched approach. **Scandinavian journal of medicine & science in sports**, v. 25, n. 2, p. 143-151, 2015.

ROWELL, L. B. Reflex control of the circulation during exercise. **International journal of sports medicine**, v. 13, p. S25-7, 1992.

ROWELL, L. B.; O'LEARY, D. S. Reflex control of the circulation during exercise: chemoreflexes and mechanoreflexes. **Journal of Applied Physiology**, v. 69, n. 2, p. 407-418, 1990.

SAHLIN, K. Metabolic factors in fatigue. **Sports Medicine**, v. 13, n. 2, p. 99-107, 1992.

SCHNEIDER, D.; POLLACK, J. Ventilatory threshold and maximal oxygen uptake during cycling and running in female triathletes. **International journal of sports medicine**, v. 12, n. 4, p. 379-383, 1991.

SEDANO, S. et al. Concurrent training in elite male runners: the influence of strength versus muscular endurance training on performance outcomes. **J Strength Cond Res**, v. 27, n. 9, p. 2433-43, Sep 2013.

SEILER, K. S.; KJERLAND, G. Ø. Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an “optimal” distribution? **Scandinavian journal of medicine & science in sports**, v. 16, n. 1, p. 49-56, 2006.

SIMÕES, R. et al. Lactate and heart rate variability threshold during resistance exercise in the young and elderly. **International journal of sports medicine**, v. 34, n. 11, p. 991-996, 2013.

SIMÕES, R. P. et al. Identification of anaerobic threshold by analysis of heart rate variability during discontinuous dynamic and resistance exercise protocols in healthy older men. **Clinical physiology and functional imaging**, v. 34, n. 2, p. 98-108, 2014.

SIMÕES, R. P. et al. Heart-rate variability and blood-lactate threshold interaction during progressive resistance exercise in healthy older men. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 24, n. 5, p. 1313-1320, 2010.

SJÖDIN, B.; JACOBS, I. Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. **International journal of sports medicine**, v. 2, n. 1, p. 23-26, 1981.

SMITH, C. G.; JONES, A. M. The relationship between critical velocity, maximal lactate steady-state velocity and lactate turnpoint velocity in runners. **European journal of applied physiology**, v. 85, n. 1-2, p. 19-26, 2001.

SOUSA, N. et al. Limiar de lactato em exercício resistido em idosos. **Motricidade**, v. 9, n. 1, p. 87-94, 2013.

SPINA, R. J. et al. Mitochondrial enzymes increase in muscle in response to 7-10 days of cycle exercise. **Journal of Applied Physiology**, v. 80, n. 6, p. 2250-2254, 1996.

STAINSBY, W.; BRECHUE, W.; O'DROBINAK, D. Regulation of muscle lactate production. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 23, n. 8, p. 907-911, 1991.

STANULA, A. et al. Calculating lactate anaerobic thresholds in sports involving different endurance preparation. **Journal of Exercise Science & Fitness**, v. 11, n. 1, p. 12-18, 2013.

STOUT, J. et al. Effects of  $\beta$ -alanine supplementation on the onset of neuromuscular fatigue and ventilatory threshold in women. **Amino acids**, v. 32, n. 3, p. 381-386, 2007.

STREET, D.; BANGSBO, J.; JUEL, C. Interstitial pH in human skeletal muscle during and after dynamic graded exercise. **The Journal of physiology**, v. 537, n. 3, p. 993-998, 2001.

SVEDAHL, K.; MACINTOSH, B. R. Anaerobic threshold: the concept and methods of measurement. **Can J Appl Physiol**, v. 28, n. 2, p. 299-323, Apr 2003.

TAYLOR, A.; BRONKS, R. Electromyographic correlates of the transition from aerobic to anaerobic metabolism in treadmill running. **European journal of applied physiology and occupational physiology**, v. 69, n. 6, p. 508-515, 1994.

THOMAS, J. R.; NELSON, J. K.; SILVERMAN, S. J. **Métodos de pesquisa em atividade física**. Artmed, 2012. ISBN 8536327146.

TIKKANEN, O. et al. Ventilatory threshold during incremental running can be estimated using EMG shorts. **Physiological measurement**, v. 33, n. 4, p. 603, 2012.

VESTERINEN, V. et al. Monitoring Training Adaptation With a Submaximal Running Test in Field Conditions. **International journal of sports physiology and performance**, 2015.

WAKELING, J. M.; UEHLI, K.; ROZITIS, A. I. Muscle fibre recruitment can respond to the mechanics of the muscle contraction. **Journal of The Royal Society Interface**, v. 3, n. 9, p. 533-544, 2006.

WASSERMAN, K. Breathing during exercise. **The New England journal of medicine**, v. 298, n. 14, p. 780-785, 1978.

WASSERMAN, K. et al. **Principles of exercise testing and interpretation: including pathophysiology and clinical applications**. Lippincott Williams & Wilkins Philadelphia, 2005. ISBN 0781748763.

WASSERMAN, K.; MCILROY, M. B. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. **The American journal of cardiology**, v. 14, n. 6, p. 844-852, 1964.

WASSERMAN, K. et al. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. **Journal of applied physiology**, v. 35, n. 2, p. 236-243, 1973.

WELTMAN, A. et al. Reliability and validity of a continuous incremental treadmill protocol for the determination of lactate threshold, fixed blood lactate concentrations, and VO<sub>2</sub>max. **International journal of sports medicine**, v. 11, n. 1, p. 26-32, 1990.

WESTERBLAD, H.; ALLEN, D. G.; LÄNNERGREN, J. Muscle fatigue: lactic acid or inorganic phosphate the major cause? **Physiology**, v. 17, n. 1, p. 17-21, 2002.

WILLIAMS, M. A. et al. Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease: 2007 update a scientific statement from the american heart association council on clinical cardiology and council on nutrition, physical activity, and metabolism. **Circulation**, v. 116, n. 5, p. 572-584, 2007.

YOSHIDA, T. et al. Blood lactate parameters related to aerobic capacity and endurance performance. **European journal of applied physiology and occupational physiology**, v. 56, n. 1, p. 7-11, 1987.

YOSHIDA, T.; SUDA, Y.; TAKEUCHI, N. Endurance training regimen based upon arterial blood lactate: effects on anaerobic threshold. **European journal of applied physiology and occupational physiology**, v. 49, n. 2, p. 223-230, 1982.

## Anexo 1: Parecer de aprovação do Comitê de Ética e Pesquisas Envolvendo Seres Humanos



### PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

#### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** Limiar de lactato, limiar eletromiográfico no exercício resistido e esteira e teste em pista em corredores

**Pesquisador:** Sandro Fernandes da Silva

**Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 53675416.3.0000.5148

**Instituição Proponente:** Universidade Federal de Lavras

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

#### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 1.522.858

#### **Apresentação do Projeto:**

OK

#### **Objetivo da Pesquisa:**

OK

#### **Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

OK

#### **Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

OK

#### **Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

OK

#### **Recomendações:**

#### **Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

Todas as pendências éticas foram atendidas de acordo com a Resolução 466/2012 do CNS.

#### **Considerações Finais a critério do CEP:**

Ao Final do experimento o pesquisador deverá enviar relatório final, indicando ocorrências e efeitos adversos quando houver.

**Endereço:** Campus Universitário Cx Postal 3037

**Bairro:** PRPICOEP

**CEP:** 37.200-000

**UF:** MG

**Município:** LAVRAS

**Telefone:** (35)3829-5182

**E-mail:** coep@nintec.ufa.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
LAVRAS



Continuação do Parecer: 1.522.858

**Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:**

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_670927.pdf	11/04/2016 11:02:33		Acelto
Outros	COMENTARIOSETICOSFINAL.doc	11/04/2016 11:02:08	Sandro Fernandes da Silva	Acelto
Outros	RESPOSTAS.pdf	11/04/2016 11:01:04	Sandro Fernandes da Silva	Acelto
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLÉposcorrecaoTermodeassentimento.doc	11/04/2016 10:14:17	Sandro Fernandes da Silva	Acelto
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	PROJETOCOMITEDEETICAFINAL.pdf	11/04/2016 10:10:23	Sandro Fernandes da Silva	Acelto
Outros	cartaliberacao.pdf	01/03/2016 13:44:56	Sandro Fernandes da Silva	Acelto
Folha de Rosto	FolhadeRostosandro.pdf	01/03/2016 13:42:21	Sandro Fernandes da Silva	Acelto

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

LAVRAS, 29 de Abril de 2016

Assinado por:  
Glancarla Aparecida Botelho Santos  
(Coordenador)

Endereço: Campus Universitário Cx Postal 3037

Bairro: PRP/COEP

CEP: 37.200-000

UF: MG

Município: LAVRAS

Telefone: (35)3829-5182

E-mail: coep@nintec.ufia.br

## Anexo 2: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA

COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA COM SERES HUMANOS-COEP

### TERMO DE CONSENTIMENTO

Nome: \_\_\_\_\_

**I - TÍTULO DO TRABALHO EXPERIMENTAL:** Limiar de lactato, limiar eletromiográfico no exercício resistido e esteira e teste em pista em corredores.

**Pesquisador Responsável:** *Sandro Fernandes da Silva*

#### II - OBJETIVOS

O presente estudo terá por objetivo avaliar e obter intensidades através dos testes de limiares de lactato e eletromiográfico e posteriormente avaliar os efeitos de um treinamento de resistência em exercício resistido no desempenho de corredores de 5km.

#### III – JUSTIFICATIVA

Avaliações de limiares metabólicos e eletromiográficos apresentam uma relação direta como controle e prescrição do treinamento. Adicionalmente, programas de treinamento de resistência neuromusculares em exercício resistido podem alterar significativamente as respostas de desempenho dos corredores em uma prova de 5km.

#### IV - PROCEDIMENTOS DO EXPERIMENTO

Durante a realização da pesquisa, serão feitas com você a anamnese (pergunta diagnósticas para conhecimentos sobre a sua saúde e pré-disposição para a pesquisa), avaliações da composição corporal (dimensões corporais e percentual de gordura), avaliações da força dinâmica, avaliação do limiar de lactato e eletromiográfico. Os três últimos consistem respectivamente em uma avaliação de uma repetição máxima e conseqüentemente um treino de 21 séries de 15 repetições no exercício leg press 45º com eletrodos de superfície conectados à sua pele, seguido por uma avaliação progressiva em esteira, também com eletrodos conectados à pele e também retirada de sangue no lóbulo da orelha para análise do lactato.

#### V - RISCOS ESPERADOS

O experimento será invasivo (uma gota de sangue, aproximadamente 25µL) e não invasivo. Em relação à coleta de sangue a punção será realizada no lobo da orelha com a utilização de lanceta descartável. Para cada amostra, será passado algodão na

superfície desejada para retirada de possíveis gotas de suor, as quais poderiam contaminar as amostras. Durante a coleta sanguínea os avaliadores estarão utilizando luvas cirúrgicas. Quanto a fixação dos eletrodos, a pele dos participantes será preparada através dos processos de tricotomia, abrasão e limpeza com algodão e álcool isopropílico, não proporcionando risco algum ao participante. Já os testes no aparelho leg press 45° serão realizados da mesma forma que os treinamentos diários, podendo causar dores musculares tardias, o que não é um risco para este tipo de amostra. Não haverá modificação do desenvolvimento de suas atividades regulares. A assistência será realizada através do serviço de vigilância da UFLA que transportara o indivíduo ao centro de atendimento médico mais próximo, onde o responsável pela pesquisa fará o acompanhamento. O voluntário da pesquisa, será ressarcido integralmente pelo pesquisador responsável caso haja alguma ocorrência em função da execução das atividades propostas.

#### **VI – BENEFÍCIOS**

O desenvolvimento do estudo poderá proporcionar a um elevado número de corredores, independentemente do nível de condicionamento, um método de treinamento de resistência neuromuscular capaz de melhorar a sua *performance* em provas, dentro de um curto espaço de tempo. Visto que a associação dos treinamentos de resistência de força através da musculação e treinamentos específicos de corrida são eficazes e muito utilizados por esse público, oferecer uma forma de treinamento complementar e de fácil acesso torna o trabalho bastante aplicável.

#### **VII – CRITÉRIOS PARA SUSPENDER OU ENCERRAR A PESQUISA**

A pesquisa pode ser suspensa caso apresente irregularidades nos procedimentos e nos critérios apresentados acima.

#### **VIII - CONSENTIMENTO PÓS-INFORMAÇÃO**

Eu \_\_\_\_\_, certifico que, tendo lido ou ouvido, as informações acima e suficientemente esclarecido (a) de todos os itens, estou plenamente de acordo com a realização do experimento. Assim, eu autorizo a execução do trabalho de pesquisa exposto a cima.

Lavras, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2016.

NOME (legível) \_\_\_\_\_

RG \_\_\_\_\_

ASSINATURA \_\_\_\_\_

**ATENÇÃO:** A sua participação na pesquisa é voluntária. Em caso de dúvidas, escreva para e-mail do pesquisador responsável: [sandrosf@def.ufla.br](mailto:sandrosf@def.ufla.br)

**Anexo 3: Escala de Borg (1970)**

6	-
7	<b>muito fácil</b>
8	-
9	<b>fácil</b>
10	-
11	<b>relativamente fácil</b>
12	-
13	<b>ligeiramente cansativo</b>
14	-
15	<b>cansativo</b>
16	-
17	<b>muito cansativo</b>
18	-
19	<b>exaustivo</b>
20	-