

LENISE FRONCHETTI

**LIMIAR DE VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA EM
DIFERENTES PROTOCOLOS ERGOMÉTRICOS**

FLORIANÓPOLIS – SC

2008

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE E DO ESPORTE – CEFID**

LENISE FRONCHETTI

**LIMIAR DE VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA EM
DIFERENTES PROTOCOLOS ERGOMÉTRICOS**

Dissertação apresentada à comissão examinadora como requisito para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano, da Universidade do Estado de Santa Catarina.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Roberto De-Oliveira

FLORIANÓPOLIS – SC

2008

LENISE FRONCHETTI

**LIMIAR DE VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA EM
DIFERENTES PROTOCOLOS ERGOMÉTRICOS**

Dissertação apresentada à comissão examinadora como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-graduação em Ciências do Movimento Humano, da Universidade do Estado de Santa Catarina.

Comissão Examinadora

Orientador:

Prof. Dr. Fernando Roberto de Oliveira
UFLA – MG

Membro

Prof. Dr. Fábio Yuzo Nakamura
UEL – PR

Membro

Prof. Dr. Sebastião Iberes Lopes Melo
UDESC – SC

Membro

Prof. Dr. Jorge Roberto Perrout de Lima
UFJF – MG

FLORIANÓPOLIS – SC

2008

*Dedico aos meus pais,
Valderi e Anélia.*

AGRADECIMENTOS

Há tanto para agradecer, pois, viver com intensidade todos os progressos e percalços que a vida e essa fase de mestrado nos permitem e/ou impõe, é algo possível quando temos com quem compartilhar nossas perspectivas, dúvidas, alegrias, medos, ideais, indignações, afeto, lágrimas. Agradeço àqueles que fizeram parte da minha vida, e tornaram esse processo acadêmico mais leve e alegre.

A Deus, centro inefável para quem se direcionam e se fundem todas as ciências, artes e verdades superiores... Afinal, não existe um constructo mais perfeito que Ele!!! Agradeço pela vida, experiências, inspirações, zelo, sabedoria e força.

Aos meus pais Anélia e Valderi, por todo amor, educação, sacrifícios, confiança, incentivos, alegrias e exemplo de vida. Amo vocês!!!

Ao meu irmão Adeilton e sobrinhos Airton e Andrei pelo apoio, carinho e amizade, pessoas muito especiais a quem amo muito!!!

Ao meu orientador Prof. Dr. Fernando Roberto de Oliveira, pelas oportunidades e constantes desafios acadêmicos, pelos ensinamentos e privilégio de ser aluna de um excelente profissional, sobretudo, pela pessoa grandiosa que és, por se mostrar amigo, e, exemplo de caráter e integridade, em diversas situações que se apresentaram durante o mestrado.

Aos professores Dr. Jorge Roberto Perrou de Lima, Dr. Sebastião Iberes Lopes Melo, Dr^a Monique da Silva Gevaerd por participarem como banca examinadora desta pesquisa e pelas contribuições acadêmicas; em especial, ao Prof. Dr. Fábio Yuzo Nakamura com quem iniciei essa trajetória de pesquisa em fisiologia do exercício, agradeço pelo incentivo, dicas e colaboração no percurso do mestrado.

Ao amigo Adriano Eduardo Lima-Silva pelos ensinamentos e discussões acadêmicas, pela força, conselhos, risadas, pela disposição, paciência, e contribuições valiosas para o desenvolvimento desta pesquisa.

A Poliana Piovezana (Polly) pela amizade, apoio, viagens, visitas periódicas a “Krauss”, e por compartilhar os momentos tensos e os de alegria no decorrer desta fase.

A amiga Lucieli Cambri pelas conversas, incentivos, conselhos e discussões acadêmicas, além das pipocas e ruffles tabajara entre as caminhadas quase periódicas no Parque Coqueiros (rs).

Aos amigos e colegas Tony Charles Fernandes, George Vieira, Rafaella Zulianello, Juliana Décimo e Michele Souza, pela amizade, incentivos, colaborações, discussões acadêmicas e pelos agradáveis momentos no LAPEM.

As amigas Thuane Roza Huyer e Amabile Dario pelo carinho, apoio, risadas, e pela disposição e auxílio imprescindível nas coletas de dados.

A amiga e eterna veterana Letícia Malavasi pelas conversas, incentivos e dicas acadêmicas.

Aos amigos e colegas do Laboratório de Pesquisa Morfo-Funcional (LAPEM), Prof. Lourival Carminatti, Luís Augusto, Vitor Pereira Costa, Helídia Mayer, Daiana Collato, Bruno Honorato da Silveira, Erick Loth, Bruna Piacentini Stüpp, Ederson Rozanski, Thiago Reginaldo, Alexandre Biazoli, Wladimir Kulkamp, Prof. Jóris Pazin, Winston Boff, André Szucs, Guilherme Wayss Freccia, Leonardo de Lucca, Diogo Cardoso, Henrique Faraco, Victor Avalos e Giuliano Mannrich, agradeço pela amizade, colaboração e boa convivência no LAPEM.

As amigas Debora Calderón, Débora Brehm, Rosemeri Michael, Junara Costa, e aos amigos Vander Vigolo e Afonso Alberto pela amizade, compreensão, paciência, churrascos, praia, conversas, risadas, grandes partidas de truco. Valeu por tudo!!! Vocês são muito especiais!!!

Aos todos meus amigos que mesmo de longe sempre acompanharam e torceram pela finalização dessa etapa acadêmica.

A todos que participaram, direta ou indiretamente, deste processo.

*“Existe somente uma idade para a gente ser feliz,
somente uma época na vida de cada pessoa
em que é possível sonhar e fazer planos
e ter energia bastante para realizá-las
a despeito de todas as dificuldades e obstáculos.*

*Uma só idade para a gente se encantar com a vida
e viver apaixonadamente
e desfrutar tudo com toda intensidade*

*...
Tempo de entusiasmo e coragem
em que todo o desafio é mais um convite à luta
que a gente enfrenta com toda disposição
de tentar algo novo, de novo e de novo,
e quantas vezes for preciso.*

*Essa idade tão fugaz na vida da gente
chama-se presente
e tem a duração do instante que passa.”*

Mário Quintana

RESUMO

A variabilidade da frequência cardíaca (VFC) diminui gradativamente durante exercício progressivo, com tendência a uma estabilização em cargas intermediárias. Inicialmente, foi demonstrada a possibilidade de identificação de um primeiro limiar desta variável (LiVFC₁), assumido como demarcador da transição da retirada vagal para a predominância da atividade simpática no controle da FC. Posteriormente, foi apresentada a possibilidade de um segundo ponto de transição (LiVFC₂). O objetivo deste estudo foi obter evidências adicionais de validade na determinação destes LiVFC, verificando a influência do protocolo de teste nos diversos critérios empregados. Vinte e um sujeitos saudáveis (24,8 ± 5,2 anos; 76,7 ± 11,4 kg; 178,8 ± 7,8 cm) foram submetidos aleatoriamente a três testes experimentais em cicloergômetro: PA_{15W/1}; PB_{30W/1}; e PC_{45W/3}. Foram medidas a VFC – índice SD1 da plotagem de Poincaré – (Polar[®] S810i) e concentrações sanguíneas de lactato (YSI[®] 1500 Sport). Para determinação do LiVFC₁ considerou-se os métodos: 1º) LiVFC_{LIM} – SD1 inferior a 3 ms; 2º) LiVFC_{TUL} – diferença entre o SD1 de dois estágios consecutivos for menor que 1 ms; e para o LiVFC₂: 1º) LiVFC_{2LIM} – subdivisão da curva de VFC em duas retas, a partir do LiVFC_{LIM}. Os limiares de lactato foram identificados a partir dos seguintes critérios para LL₁: 1º) LL_{1NADIR} - menor valor equivalente de [La]/carga; 2º) LL_{1FIXO} – 2 mmol.l⁻¹; e para LL₂: 1º) LL_{2THO} – carga que precede dois aumentos consecutivos, superiores ou iguais a 1 mmol.l⁻¹; 2º) LL_{2FIXO} – 4 mmol.l⁻¹. Na análise intra-protocolo para o primeiro limiar de transição (LT₁), verificou-se que a carga referente ao método LiVFC_{LIM} foi similar entre os protocolos; enquanto que, no LiVFC_{TUL} os valores do PC_{45W/3} foram superiores e diferentes do PA_{15W/1} (p ≤ 0,05). Além disso, verificou-se, que tanto sob efeito da amplitude quanto da duração do estágio, os LiVFC₁ acompanharam as alterações nos LL₁. Para os distintos critérios de LT₁, observou-se que estão em intensidades semelhantes no PA_{15W/1} (r = 0,45 – 0,47; p ≤ 0,05) e no PB_{30W/1}. Por outro lado, para o segundo limiar de transição (LT₂), a carga no LiVFC_{2LIM} apresentou valores maiores no PB_{30W/1} comparada aos do PA_{15W/1} (p ≤ 0,05). Ao se testar a influencia dos distintos protocolos, o LiVFC_{2LIM} variou em magnitude e direção contrária as alterações no LL₂. Os diversos métodos do LT₂ diferem nos três protocolos, mas apresentam moderado grau de associação (r = 0,43 a 0,72). Desse modo, pode-se concluir que a despeito das evidências de que o LiVFC_{LIM} não é protocolo-dependente, é necessário cautela na utilização deste como variável indicadora da aptidão aeróbia devido à baixa associação aos LL₁. Contudo, o LiVFC_{2LIM} sofre modificações com as alterações na amplitude e duração dos protocolos, no entanto, apresenta razoável poder discriminatório da aptidão aeróbia, mesmo que situado em intensidade distinta dos LL₂.

Palavras-chave: Limiar de variabilidade da frequência cardíaca. Limiar de lactato. Limiar Anaeróbio, Protocolos de exercício incremental.

ABSTRACT

The heart rate variability (VFC) decreases gradually during progressive exercise, which tends to stabilization in intermediate loads. Initially, the possibility of identification of a threshold of this variable (LiVFC₁), assumed as demarcating of the transition of the vagal withdrawal for the predominance of the sympathetic activity in the control of the FC was demonstrated. Later, a possibility of a second point of transition was presented (LiVFC₂). The objective of this research was to obtain more evidences of validity of the determination of this LiVFC, verifying the influence of the protocol of test in the diverse employed methods. Twenty one healthy subjects ($24,8 \pm 5,2$ years; $76,7 \pm 11,4$ kg; $178,8 \pm 7,8$ cm) were submitted randomly to three experimental tests in an ergometer cycle: PA_{15W/1'}; PB_{30W/1'} and PC_{45W/3'}. The VFC - SD1 index of the Poincaré plots - (Polar® S810i) and blood lactate concentrations was measured (YSI@1500 Sport). Determination of LiVFC₁ was considered by these methods: 1° LiVFC_{LIM} - SD1 minor the 3 ms; 2° LiVFC_{TUL} - difference between the SD1 of two consecutive stages < 1 ms; of LiVFC₂: 1° LiVFC_{2LIM} - subdivision of curve of VFC in two straight lines, from the LiVFC_{LIM}. The lactate thresholds was identified from the following method for LL₁: 1° LL_{1NADIR} - smaller value equivalent of [La] /load; 2° LL_{1FIXO} - 2 mmol·l⁻¹; for LL₂: 1° LL_{2THO} - previous load to two consecutive increases, higher or equal the 1 mmol·l⁻¹; 2° LL_{2FIXO} - 4 mmol·l⁻¹. In analysis intra-protocol for the first threshold of transition (LT₁), it was verified that the referring load to the LiVFC_{LIM} method was similar between the protocols; whereas, in the LiVFC_{TUL} the values of PC_{45W/3'} was greater and different of the PA_{15W/1'} ($p \leq 0,05$). Moreover, it was verified, that as much under effect of the increment and/or duration of stage, the LiVFC₁ followed the alterations in the LL₁. The distinct methods of LT₁, it was observed that are in comparable levels in the PA_{15W/1'} ($r = 0,45 - 0,47$; $p \leq 0,05$) and in the PB_{30W/1'}. On the other hand, the second threshold of transition (LT₂), the load in the LiVFC_{2LIM} presented higher values in the PB_{30W/1'} compared with PA_{15W/1'} ($p \leq 0,05$). To testing it influences the distinct protocols, the LiVFC_{2LIM} varied contrary direction the alterations in the LL₂. The diverse methods of the LT₂ differ in the three protocols, but they present moderate degree of association ($r = 0,43 - 0,72$). These data show that, the spite of the evidences of that the LiVFC_{LIM} is not dependent protocol, is necessary caution in the use of this as an indicator of aerobic fitness, which had low the association to the LL₁. On the other hand, the LiVFC_{2LIM} suffers modifications because the alteration in the amplitude and duration of the protocols, however, shows enough discriminatory power of the aerobic fitness, that exactly situated in distinct intensity of the LL₂.

Keywords: Heart rate variability threshold. Lactate threshold. Anaerobic threshold. Protocols incremental exercise.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – MÉDIA E DESVIO PADRÃO (DP) DAS VARIÁVEIS OBTIDAS PARA CARACTERIZAÇÃO DOS SUJEITOS	47
TABELA 2 – MÉDIA E DESVIO PADRÃO (DP) DAS VARIÁVEIS OBTIDAS EM REPOUSO E NO TESTE PROGRESSIVO NOS TRÊS PROTOCOLOS	48
TABELA 3 – Identificação dos LiVFC e LL em valores absolutos e relativos (n = 21)	49
TABELA 4 – VALORES MÉDIOS DA COMPARAÇÃO DO LiVFC ₁ PARA AS VARIÁVEIS CARGA E FC EM DIFERENTES PROTOCOLOS	51
TABELA 5 – VALORES MÉDIOS DA COMPARAÇÃO DO LL ₁ PARA AS VARIÁVEIS CARGA E FC EM DIFERENTES PROTOCOLOS	52
TABELA 6 – CORRELAÇÃO INTRA-CRITÉRIO PARA O LiVFC _{LIM} , LiVFC _{TUL} , LL _{1NADIR} E LL _{1FIXO}	54
TABELA 7 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE OS DIFERENTES MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DO LiVFC ₁ E LL ₁ EM CADA PROTOCOLO	59
TABELA 8 – VALORES MÉDIOS ± DESVIO PADRÃO (DP) PARA A CARGA E FC CORRESPONDENTE AO LiVFC ₂ , SEGUNDO DIFERENTES PROTOCOLOS	61
TABELA 9 – VALORES MÉDIOS ± DESVIO PADRÃO (DP) PARA A CARGA E FC CORRESPONDENTE AO LL ₂ , SEGUNDO DIFERENTES PROTOCOLOS	61
TABELA 10 – CORRELAÇÃO INTRA-CRITÉRIO PARA O LiVFC _{2LIM} , LL _{2FIXO} E LL _{2THO}	64
TABELA 11 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE OS DIFERENTES MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DO LiVFC ₂ E LL ₂ EM CADA PROTOCOLO	67

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- FIGURA 1** – DOMÍNIOS DE EXERCÍCIO: MODERADO, INTENSO E SEVERO, DELIMITADOS PELOS LIMIARES DE LACTATO (LL_1 E LL_2). ADAPTADO DO MODELO PROPOSTO POR GAESSER E POOLE (1996) COM VARIÁVEIS VENTILATÓRIAS E $[LA]$ **25**
- FIGURA 2** – CURVA DE VFC EM FUNÇÃO DA INTENSIDADE DE ESFORÇO E IDENTIFICAÇÃO DO LIVFC, DURANTE EXERCÍCIO PROGRESSIVO..... **26**
- FIGURA 3** – IDENTIFICAÇÃO DOS $LIVFC_1$ E $LIVFC_2$, ATRAVÉS DO MODELO MATEMÁTICO DE INTERSECÇÃO DE RETAS (ABAD, 2006) **32**
- FIGURA 4** – LIMIARES DE TRANSIÇÃO DETERMINADOS PELOS COMPONENTES VENTILATÓRIOS E DE VFC. O $LIVFC_1$ (HFT_1) CORRESPONDE AO PRIMEIRO AUMENTO $HF.F_{HF}$, E O $LIVFC_2$ (HFT_2) AO SEGUNDO AUMENTO ABRUPTO NO $HF.F_{HF}$ (COTTIN ET AL., 2006B) **33**
- FIGURA 5** – DESENHO EXPERIMENTAL DA REALIZAÇÃO DOS TESTES PROGRESSIVOS **40**
- FIGURA 6** – COMPORTAMENTO DA VFC E $[LA]$ DURANTE TESTE PROGRESSIVO NOS PROTOCOLOS A, B E C **50**
- FIGURA 7** – COMPARAÇÃO DO Δ CARGA (PAINEL SUPERIOR) E Δ FC (PAINEL INFERIOR) ENTRE OS MÉTODOS DE LT_1 **53**
- FIGURA 8** – PLOTAGEM DE BLAND-ALTMAN PARA COMPARAÇÃO ENTRE O PRIMEIRO $LIVFC$ E LL , DETERMINADOS POR DIFERENTES CRITÉRIOS NO $PA_{15W/1}$ **55**
- FIGURA 9** – PLOTAGEM DE BLAND-ALTMAN PARA COMPARAÇÃO ENTRE O PRIMEIRO $LIVFC$ E LL , DETERMINADOS POR DIFERENTES CRITÉRIOS NO $PB_{30W/1}$ **56**
- FIGURA 10** – PLOTAGEM DE BLAND-ALTMAN PARA COMPARAÇÃO ENTRE O PRIMEIRO $LIVFC$ E LL , DETERMINADOS POR DIFERENTES CRITÉRIOS NO $PC_{45W/3}$ **57**
- FIGURA 11** – COMPARAÇÃO ENTRE OS CRITÉRIOS DE IDENTIFICAÇÃO DO LT_1 PARA VARIÁVEL CARGA (PAINEL SUPERIOR) E FC (PAINEL INFERIOR) EM CADA PROTOCOLO DE TESTE PROGRESSIVO..... **58**

- FIGURA 12** – COMPARAÇÃO DO Δ CARGA (PAINEL SUPERIOR) E Δ FC (PAINEL INFERIOR) ENTRE OS MÉTODOS DE LT_2 **63**
- FIGURA 13** – PLOTAGEM DE BLAND-ALTMAN PARA COMPARAÇÃO ENTRE O SEGUNDO $LiVFC$ E LL , DETERMINADOS POR DIFERENTES CRITÉRIOS NOS $PA_{15W/1'}$, $PB_{30W/1'}$ E $PC_{45W/3'}$ **65**
- FIGURA 14** – COMPARAÇÃO ENTRE OS CRITÉRIOS DE IDENTIFICAÇÃO DO LT_2 PARA VARIÁVEL CARGA (PAINEL SUPERIOR) E FC (PAINEL INFERIOR) EM CADA PROTOCOLO DE TESTE PROGRESSIVO..... **66**

LISTA DE ABREVIATURAS

%G	PERCENTUAL DE GORDURA CORPORAL
μl	MICROLITROS
bpm	BATIMENTOS POR MINUTO
FC	FREQÜÊNCIA CARDÍACA
HF	ALTA FREQÜÊNCIA (ÍNDICE ANÁLISE ESPECTRAL DA VFC)
HF\cdotf_{HF}	PRODUTO DO ÍNDICE HF PELO PICO DE FREQÜÊNCIA DE HF
Hz	HERTZ
IAT	<i>INDIVIDUAL ANAEROBIC THRESHOLD</i> (LIMIAR ANAERÓBIO INDIVIDUAL)
IMC	ÍNDICE DE MASSA CORPORAL
f_{HF}	PICO DE FREQÜÊNCIA DE HF
Kp	KILOPOUNDS
km/h	KILOMETRO POR HORA
LiVFC	LIMIAR DE VARIABILIDADE DA FREQÜÊNCIA CARDÍACA
LiVFC₁	PRIMEIRO LIMIAR DE VARIABILIDADE DA FREQÜÊNCIA CARDÍACA
LiVFC₂	SEGUNDO LIMIAR DE VARIABILIDADE DA FREQÜÊNCIA CARDÍACA
[LA]	CONCENTRAÇÕES DE LACTATO
LF	BAIXA FREQÜÊNCIA (ÍNDICE ANÁLISE ESPECTRAL DA VFC)
LL	LIMIAR DE LACTATO
LL₁	PRIMEIRO LIMIAR DE LACTATO
LL₂	SEGUNDO LIMIAR DE LACTATO
LT₁	PRIMEIRO LIMIAR DE TRANSIÇÃO FISIOLÓGICA
LT₂	SEGUNDO LIMIAR DE TRANSIÇÃO FISIOLÓGICA
LV₁	PRIMEIRO LIMIAR VENTILATÓRIO
LV₂	SEGUNDO LIMIAR VENTILATÓRIO

mM	MILIMOLAR, MILIMOL
ms	MILISSEGUNDOS
MSSL	MÁXIMO ESTADO ESTÁVEL DE LACTATO
R-R	INTERVALOS R-R (DISTÂNCIA ENTRE DUAS ONDAS R CONSECUTIVAS DE UM ELETROCARDIOGRAMA)
SD1	ÍNDICE ESTATÍSTICO (DESVIO PADRÃO) INDICADOR PARASSIMPÁTICO (ÍNDICE ANÁLISE TEMPORAL DA VFC)
SNA	SISTEMA NERVOSO AUTÔNOMO
PA_{15W/1}	PROTOCOLO A
PB_{30W/1}	PROTOCOLO B
PC_{45W/3}	PROTOCOLO C
RER	QUOCIENTE RESPIRATÓRIO
VE/VO₂	EQUIVALENTE VENTILATÓRIO DE O ₂
VFC	VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA
VO_{2máx}	CONSUMO MÁXIMO DE OXIGÊNIO
VCO₂	VOLUME DE DIÓXIDO DE CARBONO

SUMÁRIO

RESUMO.....	v
ABSTRACT	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	ix
LISTA DE ABREVIATURAS	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. PROBLEMA	1
1.2. JUSTIFICATIVA	5
1.3. OBJETIVOS	6
1.3.1. OBJETIVO GERAL	6
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
1.4. DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	7
2. REFERENCIAL TEÓRICO	8
2.1. REGULAÇÃO AUTONÔMICA CARDIOVASCULAR.....	8
2.2. VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA (VFC)	11
2.2.1. DEFINIÇÃO E APLICABILIDADE	12
2.2.2. ASPECTOS QUE INFLUENCIAM NA VFC.....	13
2.2.3. RESPOSTAS AGUDAS DA VFC AO EXERCÍCIO FÍSICO.....	16
2.2.4 RESPOSTAS CRÔNICAS DA VFC AO EXERCÍCIO FÍSICO	19
2.3. LIMAR DE VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA.....	24
2.4. VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS EM DIFERENTES PROTOCOLOS DE TESTES ERGOMÉTRICOS.....	35
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	39
3.1. CARACTERÍSTICAS DA PESQUISA.....	39

3.2. SUJEITOS.....	39
3.3. DESENHOS EXPERIMENTAL	40
3.4. INSTRUMENTOS DE MEDIDA	41
3.5. PROTOCOLOS DE TESTES PROGRESSIVOS	42
3.5.1. PROTOCOLO A	42
3.5.2. PROTOCOLO B	43
3.5.3. PROTOCOLO C	43
3.6. COLETA DE DADOS	43
3.6.1. MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS	43
3.6.2. VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA.....	44
3.6.3. CONCENTRAÇÃO SANGÜÍNEA DE LACTATO [LA].....	45
3.7. TRATAMENTO ESTATÍSTICO	46
4. RESULTADOS	47
4.1. CARACTERÍSTICAS DOS SUJEITOS E DO AMBIENTE	47
4.2. VARIÁVEIS DURANTE O REPOUSO E FINAL DO TESTE PROGRESSIVO	47
4.3. IDENTIFICAÇÃO DOS LIVFC E LL NOS PROTOCOLOS A, B E C	49
4.4. COMPARAÇÃO E RELAÇÃO ENTRE DIFERENTES PROTOCOLOS E CRITÉRIOS DE IDENTIFICAÇÃO DO PRIMEIRO LIMAR DE TRANSIÇÃO FISIOLÓGICA (LT ₁).....	51
4.4.1. PROTOCOLOS.....	51
4.4.1.1. EFEITOS DOS PROTOCOLOS SOBRE O LIVFC ₁	51
4.4.1.2. EFEITOS DOS PROTOCOLOS SOBRE O LL ₁	52
4.4.1.3. COMPARAÇÃO DO DELTA (Δ) ENTRE OS PROTOCOLOS	53
4.4.1.4. CORRELAÇÃO INTRA-CRITÉRIO.....	54
4.4.1.5. ANÁLISE DE BLAND-ALTMAN	55
4.4.2. CRITÉRIOS	57
4.4.2.1. INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE CRITÉRIOS DISTINTOS NA DETERMINAÇÃO DOS LIVFC ₁ E LL ₁	58
4.4.2.2. CORRELAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS INTRA-PROTOCOLO	59
4.5. COMPARAÇÃO E RELAÇÃO ENTRE DIFERENTES PROTOCOLOS E CRITÉRIOS DE IDENTIFICAÇÃO DO SEGUNDO LIMAR DE TRANSIÇÃO FISIOLÓGICA (LT ₂)	60
4.5.1. PROTOCOLOS.....	60
4.5.1.1. EFEITOS DOS PROTOCOLOS SOBRE O LIVFC ₂	60
4.5.1.2. EFEITOS DOS PROTOCOLOS SOBRE O LL ₂	61
4.5.1.3. COMPARAÇÃO DO DELTA (Δ) ENTRE OS PROTOCOLOS	62
4.5.1.4. CORRELAÇÃO INTRA-CRITÉRIOS	63

4.5.1.5. ANÁLISE DE BLAND-ALTMAN	64
4.5.2 CRITÉRIOS	66
4.5.2.2. INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE CRITÉRIOS DISTINTOS NA DETERMINAÇÃO DOS LIVFC ₂ E LL ₂	66
4.5.2.2. CORRELAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS INTRA-PROTOCOLO	67
5. DISCUSSÃO	69
6. CONCLUSÕES.....	88
REFERÊNCIAS.....	89
APÊNDICES	104
ANEXOS	108

1 INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMA

Durante o exercício físico, tanto o sistema parassimpático quanto o simpático transmitem impulsos ao coração, modificando o ritmo intrínseco cardíaco, resultando na elevação da frequência cardíaca (FC) em proporções que dependem da intensidade da carga. No início e durante exercício de baixa e moderada intensidade, o aumento na FC se processa pela remoção da influência do sistema parassimpático; enquanto que, durante o exercício mais extenuante, o aumento da FC é devido, principalmente à ativação do sistema simpático (LIMA e KISS, 1999; HAUTALA, 2004).

A duração do ciclo cardíaco (batimento-a-batimento), medida pelo tempo decorrido entre duas ondas R consecutivas (intervalos R-R) do eletrocardiograma não é uniforme, ao contrário, existe uma variação entre os intervalos R-R conhecida como variabilidade da FC – VFC – (TASK FORCE ESC AND NASPE, 1996; LIMA, 1997). Essas oscilações dos intervalos R-R são atribuídas principalmente à atividade vagal, devido à remoção rápida de acetilcolina que é liberada pelos ramos nervosos parassimpáticos, em contrapartida, a norepinefrina liberada nos ramos simpáticos é removida de forma lenta e não provoca variações rítmicas entre os batimentos cardíacos sucessivos (BERNE e LEVY, 1996).

Dessa forma, a medida de VFC a partir dos intervalos R-R tem sido empregada para discriminar a influência da retirada vagal e da estimulação simpática no controle da FC.

Estudos experimentais com a VFC têm mostrado que a retirada vagal durante o exercício ocorre por volta de 50 a 60% do consumo máximo de O₂, e, a partir desse momento, a FC é modulada principalmente pela atividade simpática (TULPPO et al., 1996, 1998, ALONSO et al., 1998), sugerindo possivelmente a demarcação de um limiar de transição fisiológica.

Neste contexto, Lima e Kiss (1999), utilizando o índice SD1 da plotagem de Poincaré, apresentaram a possibilidade de identificação de um limiar de VFC (LiVFC), correspondente à carga associada ao valor inferior a 3 ms na curva de decréscimo da VFC em função da intensidade em teste incremental. Nesse mesmo estudo, os autores compararam o LiVFC com o primeiro limiar de lactato (LL₁), e verificaram que ambos são identificados em cargas similares de esforço ($r = 0,76$). Resultados semelhantes foram encontrados por Brunetto et al. (2004), comparando e correlacionando o LiVFC com o limiar ventilatório ($r = 0,66$). Assim, o LiVFC estaria associado à transição entre intensidade de esforço com predominante influência vagal no controle da FC, para intensidades sob predominância simpática (TULPPO et al., 1998; LIMA e KISS, 1999).

Inferências sobre esse limiar também foram encontradas por Nakamura et al. (2005) e Fronchetti et al. (2007) ao verificar modificações positivas do LiVFC após treinamento aeróbio no domínio de esforço intenso e severo, respectivamente, sugerindo sua validade como indicador de capacidade aeróbia. Além disso, em outro estudo, os resultados evidenciaram que indivíduos que apresentam, simultaneamente, baixos valores de FC_{REP} e elevados de VFC de repouso, tendem a alcançar o LiVFC em intensidades de esforço maior. Estes achados indicam que uma alta atividade vagal de repouso, além de sugerir uma boa condição da função cardiovascular, parece também estar relacionada à capacidade aeróbia (FRONCHETTI et al., 2006a).

Abad (2006) apresentou a possibilidade de um segundo LiVFC (LiVFC₂), demonstrando que este limiar está em intensidade similar a um segundo limiar de lactato (LL₂), apesar da baixa associação entre os mesmos ($r = -0,12$). Outros estudos mostraram que o LiVFC₂ parece prever o segundo limiar ventilatório – LV₂ (COTTIN et al. 2006a,b; BUCHHEIT, SOLANO, MILLET, 2007) e o PDFC (ABAD et al. 2007). O estudo de Abad (2006) é um dos poucos onde a relação entre LiVFC₂ e LL₂ foi investigada, restando à necessidade da verificação da consistência destes achados.

A literatura reporta que os limiares de transição fisiológica são parâmetros importantes para avaliação da aptidão física de indivíduos saudáveis, atletas ou pacientes (RIBEIRO et al., 1995), e, portanto, para obtenção de interpretações precisas das variáveis mensuradas os aspectos metodológicos devem ser considerados. Alguns autores sugerem que os limiares de lactato (LL₁ e LL₂) e ventilatório (LV₁ e LV₂) são de natureza “protocolo-dependente”, ou seja, fatores como incrementos e duração dos estágios de testes podem interferir na determinação desses limiares, apontando diferentes intensidades para o mesmo fenômeno fisiológico (YOSHIDA, 1984; RIBEIRO et al., 1995; DENADAI, 1995).

Davis et al. (1982), aplicando diferentes incrementos em quatro protocolos de rampa no cicloergômetro (20, 30, 50, e 100 W/min) em indivíduos sedentários mostraram que o limiar anaeróbio (método ventilatório) foi identificado em intensidades distintas (158, 171, 187 e 232 W, respectivamente), no entanto, quando esse foi expresso em função do consumo de oxigênio (VO₂) não apresentou diferenças entre os protocolos (1,91; 1,91; 1,88 e 1,92 l.min⁻¹, respectivamente). Estudo similar, foi realizado por Bentley et al. (2001), que aplicando protocolo incremental com estágios de 3 min e 8 min de duração, verificaram que nos atletas a carga de esforço referente ao LL₁ foi significativamente maior no teste com estágios de 3 min ($264 \pm 42,2$ vs $225,2 \pm 26,6$ W), ao mesmo tempo em que, o VO₂ no LL₁ não foi diferente. Desse modo, os limiares de transição são independentes do protocolo

utilizado quando expressos em VO_2 ; entretanto, a intensidade de esforço nos limiares altera de acordo com o protocolo empregado. Nesse caso é preciso ter cautela ao avaliar e/ou prescrever o treinamento.

Em geral, as pesquisas realizadas até o momento com LiVFC têm utilizado protocolos de exercício diferenciados, como por exemplo, 15W/min (LIMA e KISS, 1999; NAKAMURA et al., 2005; FRONCHETTI et al., 2006a), 20W/min (BRUNETTO et al., 2004), 30W/3min (ABAD, 2006; FRONCHETTI et al., 2006b). Vale ressaltar que estudos prévios têm analisado o comportamento de diversas variáveis aeróbias em resposta à aplicação de diferentes protocolos de exercício (DAVIS et al., 1982; RIBEIRO et al., 1986; ZHANG et al., 1991; WESTON et al., 2002). Entretanto, as respostas dos LiVFC ainda não foram testadas simultaneamente em protocolos com estágios de distintas amplitudes de incremento e duração.

O princípio que suporta a utilização dos LiVFC como aproximações de zonas ou pontos de transição metabólica é sustentado, de forma parcial, pela relação entre variáveis em comum, determinantes do comportamento cardiovascular e metabólico. Dentre elas têm-se a temperatura corporal e liberação adrenérgica. Anteriormente, por exemplo, foi demonstrada a existência de um limiar de catecolaminas, que estaria associado ao LL ($r = 0,97$) (MAZZEO e MARSHALL, 1989). Como as catecolaminas são influenciadoras da regulação autonômica cardíaca e estimulante da glicólise (BROOKS e FAHEY, 1984), neste estudo será assumida uma associação entre o comportamento destas variáveis em teste progressivo.

Desse modo, levando-se em consideração os aspectos acima descritos surgiram os seguintes problemas de estudo:

- 1) Existem modificações no comportamento do LiVFC com a aplicação de distintos protocolos de testes ergométricos?

- 2) Os LiVFC são sensíveis às possíveis variações dos LL dependentes das alterações do protocolo de teste?

1.2 JUSTIFICATIVA

Os limiares de transição fisiológica, como os obtidos através de métodos ventilatórios, análise das concentrações de lactato e pelo comportamento da FC, têm sido amplamente utilizados na prática de avaliação e prescrição de treinamento físico. Apesar de diversas possibilidades para obtenção desses limiares, a maioria da vezes são necessários equipamentos sofisticados e caros, e ainda, avaliadores especializados, fatores esses que limitam a utilização dessas variáveis pelos profissionais de clubes esportivos e academias. Desse modo, metodologias simples e menos dispendiosas para determinação desses limiares são de grande importância nas aplicações práticas de exercício e treinamento físico.

Nesse contexto, a medida da VFC é um parâmetro fisiológico para a avaliação da função autonômica cardíaca que, além de ser um recurso metodológico não invasivo, é de fácil aplicação (TASK FORCE ESC AND NASPE, 1996; GRUPI e MORAES, 2001). Além disso, mediante a análise da curva de VFC, obtida durante exercício progressivo, é possível identificar um limiar de transição fisiológica que corresponde à retirada da atividade parassimpática, e a predominância da atividade simpática no controle da FC. Este ponto foi denominado de limiar de VFC (LiVFC), o qual se associa ao limiar de lactato (LIMA e KISS, 1999) e ao limiar ventilatório (BRUNETTO et al., 2005).

Nos estudos que abordam o LiVFC, têm sido utilizados protocolos de exercício com diferentes incrementos e amplitudes de duração, mas não de forma simultânea, o que não nos possibilita afirmar que o LiVFC trata-se de uma variável fisiológica protocolo-dependente. Por outro lado, estudos prévios têm analisado o comportamento de diversas variáveis aeróbias (limiar de lactato, limiar ventilatório e $VO_{2MÁX}$) em resposta à aplicação de diferentes protocolos de exercício. Desse modo, um aspecto inicial investigado no presente estudo refere-se ao comportamento do LiVFC identificado em diferentes protocolos de testes ergométricos, a fim de examinar a consistência da identificação dessa variável. Além disso, existe a necessidade de confirmação dos achados de Lima e Kiss (1999), Abad (2006) e Fronchetti et al. (2006b) no que se refere à comparação e relação dos LiVFC com os LL.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Obter evidências de validade da utilização dos diversos critérios de identificação dos LiVFC na aproximação dos limiares de transição metabólica em exercício incremental em cicloergômetro.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar se os critérios de determinação dos LiVFC são protocolo-dependentes.
- Verificar a consistência das relações entre os limiares cardiovascular (LiVFC_1 e LiVFC_2) e metabólico (LL_1 e LL_2) a partir de alterações no protocolo de teste.
- Comparar os distintos critérios de determinação dos LiVFC e dos LL.

1.4 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

O presente estudo foi delimitado à avaliação de variáveis fisiológicas por meio da aplicação de diferentes protocolos ergométricos em indivíduos saudáveis na faixa etária entre 18 e 35 anos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A regulação autonômica cardíaca durante o exercício físico tem sido alvo de amplo interesse e investigação na área de fisiologia do exercício, sobretudo pela medida de VFC. Nesse contexto, a intenção da presente revisão foi levantar os principais modelos envolvidos na determinação da VFC, em especial o comportamento dessa variável fisiológica frente ao exercício físico. Outro aspecto importante refere-se à escolha de protocolos de exercício a serem utilizados em teste ergométrico, para obter respostas precisas das variáveis fisiológicas mensuradas. Considerando que o sistema cardiovascular apresenta elevada capacidade de resposta imediata frente às diferentes situações em que o organismo é exposto, para manter o metabolismo em funcionamento de acordo com a demanda metabólica e fisiológica, os aspectos mencionados, podem influenciar na modulação autonômica cardíaca e, por conseguinte, nas respostas de VFC. Portanto, com fins didáticos, os tópicos abordados referem-se à regulação autonômica cardiovascular, variabilidade da FC, limiar de VFC, e variáveis fisiológicas em diferentes protocolos de testes ergométricos.

2.1 REGULAÇÃO AUTONÔMICA CARDIOVASCULAR

A regulação autonômica é comandada pelo sistema nervoso autônomo (SNA), que é constituído por uma extensa rede de neurônios interconectados que estão amplamente

distribuídos em diversas regiões e órgãos (como nos pulmões, estômago, rins e pâncreas), destacando-se sua inervação reguladora na modulação da função cardíaca. Suas ações são múltiplas e contínuas, fazendo um balanço entre excitação e inibição, para obter um amplo controle, coordenado e graduado (SMITH e KAMPINE, 1990).

O SNA exerce importante influência na regulação da frequência e da contratilidade cardíacas e na capacitância e resistência vascular periférica, regulando, portanto, o débito cardíaco, a distribuição do fluxo sanguíneo e a pressão arterial. A regulação neural é capaz de provocar grandes mudanças na função cardiocirculatória em questão de segundos, antes mesmo que os mecanismos mais lentos, como os mediados por estímulos metabólicos, catecolaminas circulantes e sistema renina-angiotensina, produzam qualquer efeito (GRUPI e ARCÊNCIO, 1999).

Dessa forma, a homeostase do sistema cardiovascular é estabelecida, tanto em repouso quanto em exercício, por eficientes mecanismos de controle e retroalimentação que buscam manter a pressão arterial média e o volume sanguíneo central dentro de uma faixa relativamente estreita de variação após a transição inicial (repouso para o exercício). Isso é conseguido pela regulação constante da FC e do tônus vascular, com grande modulação por parte do sistema nervoso autônomo (GRUPI e MORAES, 2001).

O SNA, de acordo com sua divisão clássica, é constituído de dois componentes nervosos o simpático e o parassimpático. Esses componentes operam em conjunto, contudo, induzem respostas distintas sobre o sistema cardiovascular, devido às diferenças anatômicas, nos neurotransmissores, nos receptores e nas funções fisiológicas (BANNISTER citado por HAUTALA, 2004).

O componente simpático é o sistema de luta ou fuga. Ele prepara o organismo para enfrentar situações de estresse agudo como a atividade física. Os efeitos da estimulação

simpática sobre o sistema cardiovascular incluem aumento da frequência e força de contração cardíaca, dilatação dos vasos que nutrem o coração, aumento do diâmetro dos vasos (vasodilatação) que irrigam os músculos ativos, vasoconstrição (diminuição do diâmetro dos vasos) dos tecidos inativos e dilatação dos brônquios pulmonares (WILMORE e COSTILL, 2001). A estimulação dos nervos simpáticos libera os neurotransmissores denominados de catecolaminas (adrenalina e noradrenalina) (GUYTON e HALL, 2002).

O componente parassimpático é o sistema de manutenção do corpo, visto que sua influência sobre o organismo é predominante durante o repouso. Todavia, seus efeitos tendem a se opor aos do sistema nervoso simpático, uma vez que promove a diminuição da FC, a constrição dos vasos que irrigam o coração e a constrição dos brônquios pulmonares. Por sua vez, a estimulação parassimpática libera o neurotransmissor acetilcolina (GUYTON e HALL, 2002).

Dessa forma, as ações de cada um desses ramos neurais não podem ser compreendidas isoladamente. A resposta fisiológica observada durante a ativação parassimpática é dependente de um número complexo de interações pré- e pós-ganglionares com o ramo simpático. Os dois sistemas podem atenuar ou facilitar o efeito do outro, dependendo do local. Esse tipo de interação simpatovagal resulta em efeitos distintos sobre diferentes partes do coração, com o parassimpático reduzindo a FC e o simpático acelerando os batimentos cardíacos (GRUPI e ARCÊNCIO, 1999).

A FC é influenciada constantemente pelas flutuações no tônus autonômico, determinada pela ativação ou inibição simpática e parassimpática. Diferentes estímulos, como respiração, contração muscular e graus variáveis de estimulação dos barorreceptores arteriais (receptores sensíveis a alterações da pressão sanguínea) entre outros, são responsáveis pelo padrão dinâmico da atividade autonômica que controla o ritmo cardíaco (REIS et al., 1998).

Portanto, a rapidez e a magnitude de aumento da FC frente a um estímulo como o exercício físico, indicam que realmente existe um refinado mecanismo de controle, envolvendo a participação de vários centros bulbares, que recebem informações de aferentes periféricos, no sentido de modular o transporte de oxigênio e nutrientes para os músculos estriados durante a atividade contrátil.

Durante o exercício físico dois mecanismos influenciam nos ajustes cardiovasculares: o mecanismo neural central (comando central) e o mecanismo neural reflexo. Assim, os impulsos descendentes do córtex motor, os quais estão relacionados com a atividade neural responsável pelo recrutamento de unidades motoras, juntamente com os impulsos ascendentes dos mecanorreceptores, fornecem informações à área cardiovascular do bulbo, concernentes ao tipo e a intensidade de contração muscular, bem como a massa muscular envolvida na atividade física. Por conseguinte, os impulsos do comando central e os impulsos reflexos mediados pelos mecanorreceptores desencadeiam as respostas cardiovasculares, e determinam o nível inicial da atividade simpática e parassimpática sobre o coração e os vasos sanguíneos. Do mesmo modo, o funcionamento cardiovascular também é sensível às alterações metabólicas dos músculos que ocorrem ao longo do exercício por meio da ativação dos metaborreceptores (MITCHEL, 1990).

Dessa forma, o controle neural autônomo simpático-parassimpático regula a quantidade de sangue bombeada pelo coração e a forma de distribuição para os tecidos que dele necessitam.

2.2 VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA

Vários são os métodos invasivos e não-invasivos utilizados para avaliar a função simpática e parassimpática na atividade cardiovascular. Entre eles, medida das catecolaminas, bloqueio farmacológico e variabilidade da frequência cardíaca (VFC), podem ser considerados os mais utilizados. Em várias situações, mais de uma técnica pode ser utilizada simultaneamente, o que permite conclusões mais seguras sobre a atividade autonômica. (FRANCHINI, 1998; ANGELIS, SANTOS e IRIGOYEN, 2004). No entanto, a utilização da VFC tem a vantagem de possibilitar uma avaliação não invasiva e seletiva da função autonômica, além de se tratar de um recurso metodológico simples e de fácil aplicação (TASK FORCE ESC AND NASPE, 1996).

2.2.1 DEFINIÇÃO E APLICABILIDADE

A VFC é um termo convencionalmente aceito para descrever as variações da frequência cardíaca (FC) instantânea e dos intervalos R-R (batimento a batimento), decorrentes da modulação autonômica sobre o nodo sinoatrial (TASK FORCE ESC AND NASPE, 1996). A VFC reflete os efeitos do tônus simpático e parassimpático no controle da função cardíaca. Assim, modificações contínuas dos impulsos neurais simpáticos e parassimpáticos resultam em alterações na FC (BOOTSMA et al., 1994; HAUTALA, 2004).

A utilização da medida de VFC é de grande relevância na área clínica, pois possibilita avaliar a regulação autonômica sobre o coração em diferentes situações fisiológicas e patológicas (TASK FORCE ESC AND NASPE, 1996; JUNQUEIRA, 1998; GRUPI e MORAES, 2001). Em geral, valores reduzidos da VFC estão relacionados com doenças cardiovasculares, possivelmente pela diminuição do tônus parassimpático e aumento do tônus

simpático, aumentando dessa forma a predisposição a arritmias e a morte súbita, justificando assim a menor VFC encontrada em indivíduos após infarto agudo do miocárdio quando comparados com indivíduos normais (KLEIGER et al., 1987; REIS et al., 1998; DURU et al., 2000). Além disso, a VFC é um parâmetro fisiológico que permite avaliar os benefícios obtidos com um determinado procedimento, como o treinamento físico (YAMAMOTO et al., 2001; CARTER, BANISTER e BLABER, 2003), sendo que elevados valores de VFC estão associados à melhor aptidão aeróbia (NAKAMURA et al., 2005; FRONCHETTI et al., 2006a).

2.2.2 ASPECTOS QUE INFLUENCIAM NA VFC

Os principais mecanismos de controle cardiovascular responsáveis pelas oscilações da FC, ou seja, por sua variabilidade são: a ventilação pulmonar, a termorregulação, o ritmo circadiano, e a atividade barorreflexa. Estes mecanismos levam a contínuos ajustes da FC de acordo com período de tempo analisado. Além disso, idade e gênero também influenciam o comportamento da VFC (KUO et al., 1999; LIU, KUO e YANG, 2003; LONGO, FERREIRA e CORREIA, 1995).

A respiração exerce influências no mecanismo neural autonômico, à medida que a atividade simpática sobre o coração é estimulada durante a inspiração, enquanto que a ação vagal aumenta na expiração. A flutuação batimento a batimento da FC está relacionada à ventilação devido à inibição inspiratória do tônus vagal. Esta inibição se deve primeiramente aos impulsos centrais do tronco cerebral e do centro cardiovascular, além dos reflexos periféricos, devido às mudanças hemodinâmicas e ao estiramento dos receptores torácicos que

contribuem para arritmia sinusal respiratória (ASR). A ASR descreve as mudanças cíclicas da FC associadas à respiração, e está relacionada às flutuações do tônus vagal (HAUTALA, 2004). Contudo, algumas pesquisas mostram que existe um mecanismo não-neural associado à respiração, que provoca alteração no nodo sinoatrial e pode afetar as respostas de FC e VFC. Perlini et al. (1995) relatam que em coelhos anestesiados, vagotônicos, e sob bloqueio dos receptores β -adrenérgicos, persistiu um resíduo de ASR, indicando que existe um mecanismo intrínseco dependente da ventilação e da frequência respiratória (alterações no estiramento atrial em resposta ao retorno venoso) que pode modificar o controle da FC independente da modulação autonômica. Em concordância, Casadei et al. (1996), verificaram em homens, jovens e saudáveis, submetidos a exercício sob condições de bloqueio da atividade parassimpática, que a VFC é reduzida, porém a ASR é aumentada devido aos mecanismos não-neurais. Normalmente, a relação LF/HF, que indica o balanço simpátovagal, é aumentada durante o exercício, e esta condição se mantém mesmo com o bloqueio autonômico, entretanto, em altas intensidades de exercício, o índice LF/HF diminui ou permanece constante devido ao mecanismo não-neural que parece superestimar a atividade vagal, uma vez que, nesta situação a variação dos intervalos R-R estaria grandemente reduzida.

Com relação à termorregulação, quando há uma redução da temperatura ambiental, a temperatura do coração diminui, reduzindo a FC e aumentando a sua variabilidade (bradicardia), sendo este um mecanismo usado nas cirurgias do coração. Em contrapartida, a elevação aguda da temperatura causa taquicardia. Assim a flutuação da temperatura é uma fonte importante de modificações na VFC que não deve ser subestimada (STAUSS, 2003).

Hautala (2004) afirma que o ritmo circadiano também influencia a atividade autonômica, visto que se observa um aumento do tônus simpático durante o dia e do tônus parassimpático à noite.

Em adição, as mudanças no comportamento da VFC apresentam estreita relação com as diferenças de idade e gênero. Com o avançar da idade há redução do controle parassimpático sobre a FC e, conseqüentemente, uma redução da VFC (CARTER, BANISTER e BLABER, 2003; GRUPI e MORAES, 2001). Embora a diminuição da VFC ocorra em ambos os sexos, estudos realizados na condição de repouso indicam que as mulheres apresentam uma regulação parassimpática superior, quando comparadas com seus congêneres do sexo masculino, no controle da FC. No entanto, essas diferenças relacionadas ao gênero, do controle autonômico no que se refere à dominância vagal, tendem a desaparecer com o decorrer da idade (CARTER, BANISTER e BLABER, 2003; EVANS et al., 2001; HUIKURI et al., 1996; KUO et al., 1999; LIU, KUO e YANG 2003). Estudos sugerem que o estrogênio é um importante fator no controle autonômico cardíaco, uma vez que níveis elevados de estrogênio indicam uma maior atividade vagal e, ao mesmo tempo, uma diminuição da modulação simpática na FC nas mulheres. Assim, esses trabalhos sugerem que mulheres jovens (< 50 anos), com níveis normais de estrógenos, apresentam dominância vagal e reduzida atividade simpática, comparada a homens jovens. Por outro lado, as mulheres que se encontram na fase de menopausa apresentam diminuição dos níveis de estrogênio e, por conseguinte, redução da VFC, que está associada à maior incidência de doenças cardíacas. Dessa forma, a reposição hormonal, nesse período, parece ter efeito favorável à medida que possibilita o aumento do tônus vagal e a diminuição de riscos cardiovasculares (KUO et al., 1999; LIU, KUO e YANG 2003).

Outro fator que interfere na VFC refere-se à disfunção autonômica cardíaca, que está associada a muitos dos processos patológicos e distúrbios funcionais do próprio coração e de outros órgãos (JUNQUEIRA, 1998). Entre as condições que induzem essa disfunção destacam-se o infarto do miocárdio, diabetes, hipertensão arterial, insuficiência cardíaca e doença de Chagas (TASK FORCE ESC AND NASPE, 1996; GRUPI e MORAES, 2001).

Kleiger et al. (1987) estudando 808 pacientes pós-infarto agudo do miocárdio, verificaram risco de mortalidade 5,3 vezes maior no grupo com valores baixos de VFC (< 50 ms), mostrando que a análise da VFC apresenta importante fator preditivo para avaliação das complicações cardíacas. Todavia, é importante ressaltar que quando se aborda casos clínicos, devem-se utilizar métodos integrados para avaliação autonômica cardíaca, a fim de obter um diagnóstico mais preciso sobre os eventos cardíacos.

2.2.3 RESPOSTAS AGUDAS DA VFC AO EXERCÍCIO FÍSICO

As respostas da FC durante o exercício físico são influenciadas por diversos fatores, incluindo idade, tipo de exercício, posição do corpo, condicionamento físico, volume sanguíneo e meio ambiente (HAUTALA, 2004). Por outro lado, a regulação da FC durante o exercício é feita por uma combinação de três diferentes mecanismos fisiológicos: o mecanismo intrínseco do coração, os fatores humorais e o sistema nervoso autônomo (TULPPO et al., 1996).

Alonso et al. (1998) estudando o efeito da intensidade de exercício sobre o comportamento da FC e da VFC submeteram 17 indivíduos jovens e sedentários ao teste de esforço progressivo máximo em cicloergômetro. Estes autores verificaram um aumento da FC concomitante ao aumento da taxa de trabalho e uma redução progressiva da VFC até a intensidade do exercício em que foi caracterizado o limiar ventilatório. A partir deste ponto, a VFC se manteve inalterada, sugerindo que a taquicardia nos estágios iniciais de esforço (correspondentes a intensidades de exercício até 45-60% da carga máxima e 60% do VO_{2PICO})

está associada a uma menor participação vagal, enquanto que nos estágios subseqüentes a elevação da FC se deve a intensificação da atividade simpática.

As flutuações da FC ocorrem espontaneamente e refletem, a princípio, mudanças nos níveis de atividade autonômica na modulação intrínseca sinusal. Esse fato foi observado por Arai et al. (1989) ao avaliarem a dinâmica da atividade nervosa autonômica antes, durante e imediatamente após o exercício de esforço realizado em cicloergômetro, por meio da análise espectral, em 43 indivíduos aparentemente saudáveis (grupo A), oito indivíduos com disfunção cardíaca (grupo B) e seis pacientes em estado de pós-transplante cardíaco (grupo C). Os resultados demonstraram que antes do exercício, as flutuações da FC representadas pelos componentes HF - alta frequência (ação parassimpática) e LF - baixa frequência (tônus simpático e parassimpático), nos sujeitos normais, foram significativamente superiores às verificadas nos grupos B e C, sendo que não houve diferença entre os grupos com disfunção cardíaca e pós-transplantados. Por outro lado, durante o exercício houve diminuição significativa tanto da HF ($1,08 \pm 0,19$ para $0,30 \pm 0,03$) quanto da LF ($4,47 \pm 0,54$ para $0,65 \pm 0,10$) nos sujeitos normais, enquanto que não se observou modificação significativa dessas variáveis no grupo B (HF: $0,27 \pm 0,03$ - $0,34 \pm 0,05$; LF: $0,20 \pm 0,09$ - $0,18 \pm 0,07$) e no grupo C (HF: $0,27 \pm 0,12$ - $0,31 \pm 0,09$; LF: $0,10 \pm 0,04$ - $0,23 \pm 0,11$). Por fim, durante a recuperação, os componentes HF e LF aumentaram nos sujeitos normais, embora tenham permanecido abaixo dos valores de repouso. Com esses achados, os autores verificaram que os indivíduos com disfunção cardíaca e pós-transplante cardíaco apresentam inabilidade e/ou limitação para modular a FC em resposta à estimulação nervosa autonômica. Em contrapartida, nos indivíduos normais, ocorre uma progressiva retirada vagal durante o exercício e um aumento gradual da atividade parassimpática durante o período de recuperação, confirmando que as diferentes respostas do nodo sinusal decorrentes da atividade vagal e simpática refletem a regulação da VFC.

Mudanças significativas na regulação cardiovascular ocorrem em diferentes níveis de intensidade de exercício. Nesse sentido, Hautala et al. (2003) investigaram a dinâmica autonômica, por meio da análise espectral, em diferentes estados de exercício: em repouso (com infusão de atropina), durante exercício incremental (após a administração de atropina) e exercício em estado estável (teste com baixa intensidade de esforço – 4 km/h durante 20 minutos e teste com alta intensidade de esforço – 12 km/h durante 20 minutos). Uma redução gradual da VFC de repouso, proporcional ao aumento da intensidade de esforço, foi verificada no teste em estado estável, assim como durante o teste incremental com o bloqueio parassimpático. Portanto, com o aumento da intensidade de exercício ocorre a ativação simpática, que se torna predominante após a retirada vagal. Dessa forma, as mudanças podem ser explicadas pela contribuição vagal e simpática sobre o nodo sinusal durante diferentes níveis de exercício, sendo que os aumentos da FC do estado de repouso para exercício moderado se devem principalmente à retirada da atividade parassimpática, enquanto que do estado de exercício moderado para máximo se deve ao aumento da atividade simpática.

Tulppo et al. (1999) estudaram diferenças na modulação autonômica da FC durante teste de esforço incremental até a exaustão realizado em ergômetro de braço e de perna. De acordo com a plotagem de Poincaré utilizada para análise da VFC, foi observado que a dinâmica de exercício de braço resultou numa retirada mais rápida do componente vagal, em comparação à dinâmica de exercício de perna. Assim, esse achado reporta que as diferenças hemodinâmicas entre exercício de braço e de perna podem, parcialmente, explicar as diferenças na modulação autonômica da FC entre diferentes tipos de exercício dinâmico, resultando em valores mais altos de FC submáxima e maior exigência metabólica relativa durante exercício de braço comparado a exercícios de perna. Além disso, o componente vagal tem um importante efeito “cardioprotetor” durante o exercício, e possivelmente os exercícios

de braço podem ser mais prejudiciais do que os exercícios de perna em indivíduos com doenças cardíacas.

Nakamura et al. (1993) demonstraram as respostas autonômicas por meio da análise espectral, em indivíduos submetidos a exercício progressivo em cicloergômetro, com incrementos na carga de trabalho de dois watts por minuto. A VFC e o VO_2 (consumo de oxigênio) foram monitorados durante o exercício, e além disso, foi realizada a coleta de sangue para análise de lactato e da concentração plasmática de noradrenalina e adrenalina. Verificou-se que o indicador da atividade parassimpática diminuiu significativamente quando a intensidade de exercício excedeu 50% do VO_{2PICO} . Em contrapartida, o indicador da atividade simpática apresentou um aumento inicial na intensidade correspondente a uma faixa entre 50 e 60% do VO_{2PICO} e um aumento significativo na intensidade de esforço superior a 60% do VO_{2PICO} , ao mesmo tempo em que se observou aumento na concentração de noradrenalina e adrenalina (neurotransmissores que são liberados pelos terminais nervosos simpáticos).

2.2.4 RESPOSTAS CRÔNICAS DA VFC AO EXERCÍCIO FÍSICO

O treinamento físico provoca alterações fisiológicas que afetam o sistema cardiorrespiratório. Tais modificações são evidenciadas em repouso: aumento fisiológico do volume cardíaco, menor FC, maior volume de ejeção, aumento do volume sanguíneo e na hemoglobina, alterações na densidade capilar e hipertrofia dos músculos esqueléticos. Desse modo, tanto as adaptações centrais quanto as periféricas, resultantes do treinamento, refletem o envolvimento complexo do processo estrutural, metabólico, hormonal e neural no

funcionamento cardiovascular (BLOMQVIST e SALTIN, 1983; CARTER, BANISTER e BLABER, 2003; HAUTALA, 2004).

A bradicardia de repouso pode ser atribuída aos seguintes fatores: redução do ritmo intrínseco do nodo sinusal, que por sua vez está relacionada com maiores quantidades plasmáticas de acetilcolina e menor sensibilidade às catecolaminas; aumento na predominância vagal e menor influência simpática. Por outro lado, durante exercício submáximo, o maior condicionamento resulta numa FC submáxima proporcionalmente menor para uma mesma taxa de trabalho, ou seja, depois de determinado período de treinamento o indivíduo tende a apresentar valores inferiores de FC para um mesmo esforço. Logo, essas adaptações indicam que o coração se torna mais eficiente com o treinamento, à medida que ao realizar suas funções necessárias as faz com trabalho menor (BROOKS e FAHEY, 1984).

Segundo Almeida e Araújo (2003), indivíduos com níveis elevados de condição aeróbia apresentam baixos valores de FC de repouso simultaneamente à elevada atividade vagal e baixa atividade simpática. Entretanto, esta condição não é necessariamente uma consequência direta do treinamento. As características genéticas também influenciam na determinação da FC, uma vez que os limites de aumento do retorno venoso e do volume sistólico, que geram a diminuição da FC para manter o débito cardíaco constante, de acordo com a lei Frank-Starling, também são determinados geneticamente.

Gallo-Jr et al. (1995) verificou que as adaptações ao treinamento aeróbio, encontradas em estudos transversais e longitudinais, têm indicado uma taquicardia induzida pelo exercício dinâmico, com menor influência da atividade simpática e maior participação parassimpática nos mesmos níveis de força, indicando uma adaptação autonômica induzida pelo treinamento aeróbio. Yamamoto et al. (2001), após submeterem homens a um treinamento de resistência por um período de seis semanas (quatro sessões/semana, a 80% do $VO_{2MÁX}$), verificaram que esse treinamento possibilitou adaptações na modulação autonômica, contribuindo para a

redução da FC de repouso e da FC de recuperação, e, por conseguinte, induziu aumento da VFC. Além disso, os efeitos de adaptação do controle autonômico para o treinamento de resistência ocorreram mais rapidamente na FC de recuperação pós-exercício do que na FC de repouso.

Em adição, Carter, Banister e Blaber (2003) analisaram a VFC em grupos de diferentes idades e gênero, antes e após 12 semanas de treinamento de resistência, e verificaram uma redução da FC de repouso bem como durante o exercício submáximo, associada a um aumento da VFC em todos os grupos. Os resultados sugerem que após o treinamento há um aumento da atividade parassimpática e redução da atividade simpática. Além do mais, os indivíduos jovens apresentaram adaptação cardiovascular mais pronunciada do que os indivíduos mais velhos submetidos ao mesmo estímulo de treinamento. Portanto, parece que os indivíduos jovens têm maior potencial de adaptação autonômica ao treinamento de resistência.

Por outro lado, Duru et al. (2000) não observaram resultados positivos na função autonômica como efeito do treinamento em indivíduos pós-infarto do miocárdio quando comparados a sedentários. Embora a FC de repouso tenha sido reduzida, a VFC não foi alterada significativamente. Assim, parece que essa diminuição da FC de repouso não foi decorrente de modificações neurais, mas possivelmente de outras adaptações produzidas pelo treinamento.

Tulppo et al. (2003) examinaram as conseqüências de um treinamento aeróbio de oito semanas, em homens saudáveis e sedentários separados em dois grupos: um grupo com moderado volume de treino ($70 - 80\% FC_{máx}$ num período de 30 min/sessão) e outro grupo com alto volume de treino ($70 - 80\% FC_{máx}$ num período de 60 min/sessão), na dinâmica da VFC mediante análise espectral e no domínio do tempo. Nenhuma diferença significativa nas alterações dos índices de VFC foi encontrada nas comparações entre os grupos; e, ainda, o

treinamento aeróbio em sujeitos sedentários provocou modificações na regulação autonômica da FC para uma dominância vagal, sendo que a intervenção com o treinamento de volume moderado foi suficiente para induzir estes efeitos benéficos.

Estudos demonstram que o treinamento aeróbio de curto prazo, em indivíduos jovens e saudáveis, resulta em modificações positivas na VFC. Nesse sentido, Al-Ani et al. (1996) observaram aumento da VFC após seis semanas de treinamento (intensidade de 85% da FC máx), ao passo que Lee, Wood e Welsch (2003) obtiveram resultados positivos após apenas duas semanas (4 sessões/semana, 40 min, 80 – 85% da FC máx). Esses achados corroboram o recente estudo de Roza et al. (2006), que investigaram durante três semanas os efeitos do treinamento de moderada – TAC – (72 % da carga de pico) e de alta intensidade – TAI – (130% da carga de pico) sobre VFC e FC de repouso, e verificaram que nos grupos submetidos ao treinamento a VFC aumentou (TAC: $37,1 \pm 13,1$ para $46,0 \pm 16,7$ ms; e TAI: $49,6 \pm 17,1$ para $64,9 \pm 36,7$ ms) ao mesmo tempo em que os valores de FC foram reduzidos após o período do treinamento. Por outro lado, o grupo controle não apresentou nenhuma modificação nessas variáveis. Além disso, a VFC pós-treinamento no grupo TAI foi significativamente superior aos demais grupos, sugerindo que o treinamento de alta intensidade parece provocar alterações mais expressivas na regulação autonômica cardíaca de repouso.

Por outro lado, grandes sobrecargas de treinamento, combinadas com períodos inadequados de recuperação, podem acarretar distúrbios na homeostase celular, estabelecendo assim, a chamada síndrome do sobre-treinamento. Logo, o desequilíbrio entre as exigências do exercício físico e a capacidade funcional do indivíduo pode ocasionar uma fadiga crônica, que possivelmente comprometerá o desempenho físico, além de acarretar outras complicações à saúde (SHADGAN, 2004). Portanto, a síndrome do sobre-treinamento ocorre devido a um distúrbio neuroendócrino (hipotálamo-hipofisário), podendo acarretar uma maior dificuldade

de assimilação dos estímulos de treinamento, levando, inclusive, à deterioração da capacidade de rendimento.

Nesse sentido, parâmetros de VFC têm sido utilizados para estimar a fadiga física acumulada. Entretanto, a literatura reporta dois tipos clínicos de sobretreinamento: o simpático e o parassimpático (KUIPERS, 1998). O tipo simpático é caracterizado pelo tônus simpático elevado no estado de repouso, visto que no parassimpático o tônus vagal predomina tanto no estado de repouso quanto durante o exercício físico. O sobretreinamento simpático é observado freqüentemente em atletas jovens de modalidades esportivas “explosivas”, como por exemplo, os velocistas. Por outro lado, o sobretreinamento parassimpático é característico de atletas com longos anos de treinamento e atletas de modalidades esportivas de resistência (KUIPERS, 1998; UUSITALO, UUSITALO e RUSKO, 1998; 2000).

Pichot et al. (2000) avaliaram o sistema nervoso autônomo em sete corredoras de média distância durante três semanas de treinamento intenso, seguidas de uma semana de repouso, e observaram que no período de treinamento a atividade parassimpática apresentou redução de 41%, enquanto a atividade simpática aumentou 31 %. Posteriormente, na semana de repouso, ocorreu aumento de 46% no parassimpático e redução de 24% no simpático. Esses resultados sugerem que o treinamento de intensidade elevada modifica o balanço simpátovagal a favor de uma dominância simpática sobre a atividade parassimpática, resultando na redução dos valores de VFC durante o período de treinamento e posteriormente, aumento da VFC quando os indivíduos permanecem em repouso durante uma semana. Em adição, Mourot et al. (2004) verificaram que atletas de resistência que apresentavam sintomas clínicos de sobretreinamento manifestaram menores valores em repouso de HF e SD1 (indicadores parassimpáticos), e maiores valores de LF/HF, do que os treinados sem sobretreinamento, resultados esses similares aos indivíduos do grupo controle (sedentários). A dispersão dos dados individuais na plotagem de Poincaré permitiu a discriminação dos

sujeitos nas diferentes condições de treinamento, sendo os pontos mais dispersos no estado treinado do que em sobre-treinamento e na situação controle. Desse modo, os indicadores de menor tônus parassimpático em repouso predispõem os indivíduos a menores níveis de desempenho físico.

2.3 LIMAR DE VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA (LiVFC)

Durante o exercício físico com cargas crescentes de esforço, a VFC diminui gradativamente até valores aproximados de 50 - 60% da carga de pico; a partir desse ponto, tende a se estabilizar (LIMA e KISS, 1999). Comportamento similar foi verificado em outros estudos (ALONSO et al., 1998; MACIEL et al., 1986; TULPPO et al., 1996; YAMAMOTO et al., 2001; COTTIN et al., 2006a,b), que utilizaram protocolos de testes e métodos de medidas diferentes. Essa tendência de estabilização ocorre, provavelmente, pelo fato de que a diminuição da VFC durante o exercício está continuamente associada ao mesmo fenômeno, ou seja, a retirada da influência vagal sobre o nodo sinoatrial.

A cinética da curva de VFC durante exercício progressivo evidenciou a possibilidade de identificação de um limiar de transição fisiológica (LIMA, 1997; FRONCHETTI et al., 2004a; NAKAMURA et al., 2005; BRUNETTO et al., 2005). Limiares como, por exemplo, o primeiro e segundo limiar de lactato (LL_1 e LL_2), ou o primeiro e segundo limiar ventilatório (LV_1 e LV_2), são parâmetros que identificam a transição entre diferentes domínios de exercício (figura 1), e, portanto, são comumente utilizados como referência para a prescrição de exercício e treinamento físico (GAESSER e POOLE, 1996). Assim, o limiar identificado por meio da VFC parece ser um método alternativo, não invasivo e menos dispendioso para ser utilizado na avaliação física.

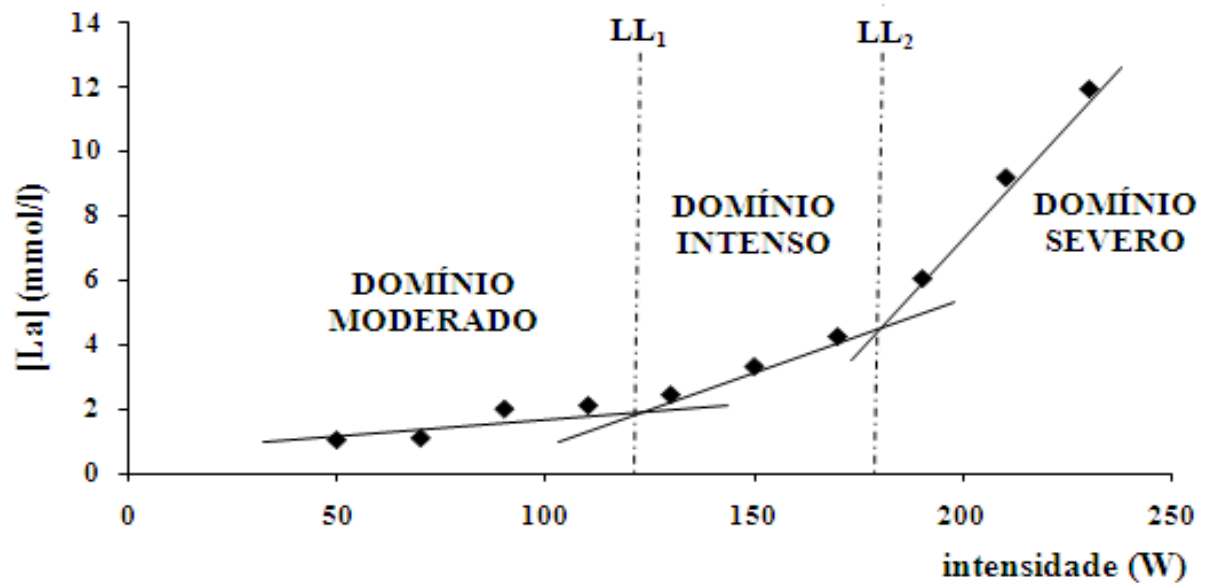


Figura 1 – Domínios de Exercício: moderado, intenso e severo, delimitados pelos limiares de lactato (LL₁ e LL₂). Adaptado do modelo proposto por Gaesser e Poole (1996) com variáveis ventilatórias e [La].

Sendo a magnitude da VFC associada a uma maior atividade parassimpática, o estudo realizado por Lima e Kiss (1999) mostrou que, em exercício progressivo, o índice SD1, indicador da VFC, decresce em função da carga de trabalho, até alcançar um valor inferior a 3 ms, e este ponto de transição da região de queda acentuada para uma fase de estabilidade foi denominado de limiar de variabilidade da frequência cardíaca (LiVFC) (figura 2). O significado fisiológico deste limiar refere-se à intensidade de esforço em que ocorre uma influência reduzida da atividade parassimpática no controle da FC e, a partir deste instante, há predominância simpática.

Segundo Lima e Kiss (1999), a denominação de LiVFC para o ponto onde a VFC atinge um platô foi adotada por estar em intensidade similar ao limiar de lactato, o qual se refere ao primeiro limiar da curva de lactacidemia associado ao aumento da concentração de lactato no sangue para valores maiores do que do repouso. Dessa forma o LiVFC representa uma alternativa simplificada e não invasiva para obter informações a respeito da regulação

autônoma durante o exercício físico, contribuindo para um entendimento do metabolismo aeróbio, demarcando a zona de transição entre o domínio moderado e intenso de esforço.

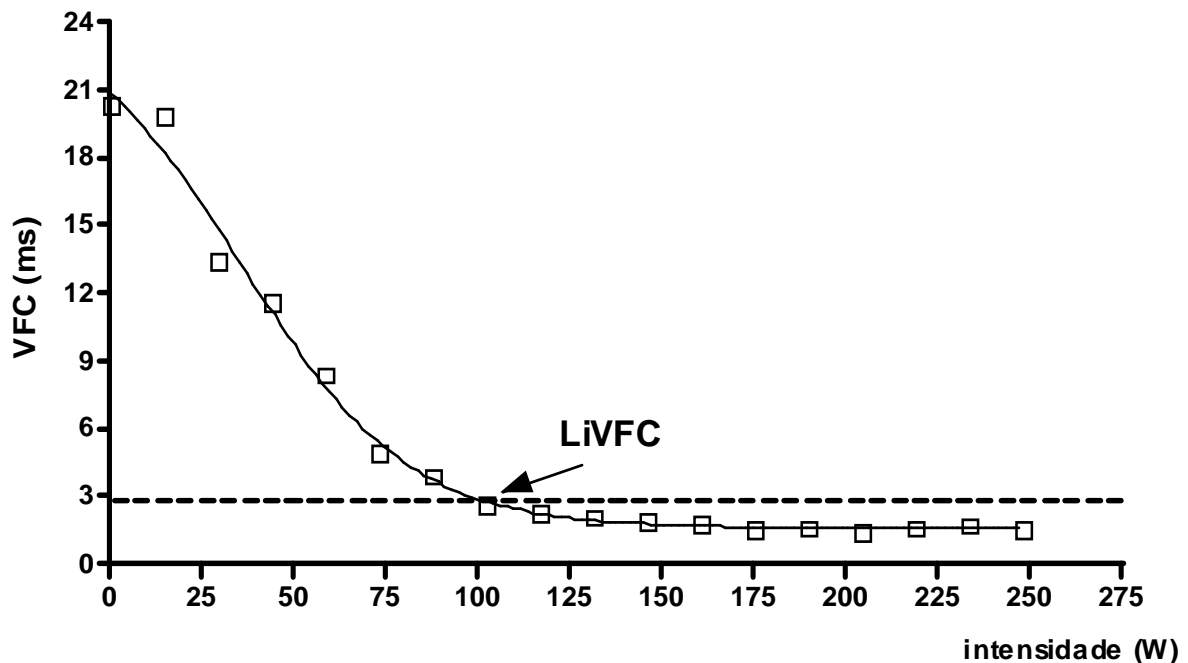


Figura 2 – Curva de VFC em função da intensidade de esforço e identificação do LiVFC (seta), durante exercício progressivo.

Outros estudos mostraram que o ponto de estabilização na curva de VFC estaria também associado ao LV_1 (YAMAMOTO, HUGHSON e PETERSON, 1991; BRUNETTO et al., 2005; COTTIN et al., 2006a). Yamamoto, Hughson e Peterson (1991) analisaram a regulação autonômica cardíaca durante o exercício em bicicleta estacionária em diferentes intensidades submáximas (14 minutos a 30, 60, 90, 100 e 110% do LV_1) e observaram que o HF (indicador da atividade parassimpática) decresce progressivamente até 60% do LV_1 , sendo que a atividade simpática aumenta significativamente somente quando a intensidade excede o LV_1 . Brunetto et al. (2004), ao comparar as intensidades de ocorrência do LiVFC e do LV_1 , verificaram que esses limiares foram identificados em cargas similares (140 ± 27 W e $149 \pm$

50 W) e com grau de associação moderado ($r = 0,66$), demonstrando que esses limiares parecem estar na mesma faixa de transição fisiológica.

Recentes estudos têm sido realizados e trazem evidências a favor da validade do primeiro LiVFC (LiVFC_1) como indicador de transição fisiológica do domínio moderado para o domínio intenso de exercício, demarcando a retirada vagal e a predominância simpática no controle da FC (FRONCHETTI et al., 2004a; BRUNETTO et al., 2004; NAKAMURA et al., 2005; FRONCHETTI et al., 2006a).

Fronchetti et al. (2006a) verificaram significativo grau de associação entre diferentes índices de VFC de repouso e o LiVFC (r em torno 0,50), mostrando que a magnitude da atividade parassimpática de repouso estaria relacionada a uma retirada vagal mais duradoura durante o exercício físico, sendo o LiVFC identificado em maior intensidade de esforço. Sendo assim, os achados indicam que uma elevada atividade vagal de repouso parece estar relacionada com a capacidade aeróbia dos sujeitos.

Ao investigar as diferenças relacionadas ao gênero para a carga e FC associadas ao LiVFC, Fronchetti et al. (2004b) avaliaram 53 sujeitos (30 homens e 23 mulheres) que foram submetidos a um teste progressivo por estágios realizado em cicloergômetro (14,6W/min). Com base na plotagem de Poincaré para identificar o LiVFC, os resultados mostraram que a intensidade de esforço no LiVFC foi maior nos homens ($117,0 \pm 28,2$ W; $50,6 \pm 11,4\%$) em relação às mulheres ($66,5 \pm 23,4$ W; $41,7 \pm 14,1\%$), enquanto que a FC no LiVFC foi superior nas mulheres (136 ± 9 bpm) comparada aos homens (131 ± 8 bpm), sugerindo que os homens apresentaram uma retirada vagal precoce quando comparados às mulheres, no que diz respeito à atividade cronotrópica. O LiVFC, no entanto, parece discriminar a diferença esperada, entre os gêneros, no que diz respeito à potência absoluta de ocorrência da retirada vagal em protocolo incremental de esforço.

Nakamura et al. (2005) investigaram modificações sobre o LiVFC, após um período de apenas três semanas de treinamento aeróbio (intensidade aproximada de $72,3 \pm 5,2$ % da carga de pico), verificando que a VFC, tanto em repouso quanto em cargas de trabalho submáximo, parece sofrer alterações em resposta ao treinamento físico, indicando um aumento do tônus vagal. Os achados indicam que as modificações na modulação autonômica cardíaca provocaram melhora na VFC de repouso (de 37 ± 13 para 46 ± 17 ms) e na intensidade de esforço associada ao LiVFC (pré-treinamento: $89,1 \pm 28,7$ W; pós-treinamento: $123,1 \pm 32,9$ W).

Fronchetti et al. (2007) aplicando um treinamento intervalado de alta intensidade (130% da carga de pico) também obtiveram melhoras similares e significativas na ocorrência do LiVFC (de $95,3 \pm 21,9$ para $130,0 \pm 31,7$ W), deslocando assim, o LiVFC para direita na curva de VFC. Além disso, em ambos os estudos ocorreram redução significativa dos valores de FC submáxima, durante o exercício, para uma mesma intensidade de esforço no grupo submetido ao treinamento, indicando que o melhor funcionamento cardíaco pode ser decorrente das adaptações autonômicas ao treinamento.

Desse modo, a despeito do curto período de treinamento, os dois estudos citados anteriormente demonstraram haver adaptações neurais com evidências de aumento da atividade parassimpática, além de agregar elementos para utilização do LiVFC como um indicador da capacidade aeróbia.

Em adição, Aguiar et al. (2006) apresentaram que o treinamento com pesos, realizado durante nove semanas por indivíduos jovens e sedentários, também parece gerar modificações na modulação autonômica cardíaca (LiVFC pré-treinamento: $78,3 \pm 36,5$ W e LiVFC pós-treinamento: $109,3 \pm 30,2$ W). Logo, os resultados deste estudo, em conjunto com os de Nakamura et al. (2005) e de Fronchetti et al. (2007), trazem evidências de que o LiVFC é um

parâmetro sensível a diferentes métodos e estímulos de treinamento, apontando pois sua utilização para a prescrição e controle do treinamento físico.

Avalos (2006), comparando teste progressivo unilateral com bilateral (TBi) em cicloergômetro (15W/min), relata que os valores absolutos de LiVFC ocorrem em intensidades menores nos testes unilateral direito (TUD) e esquerdo (TUE) comparados ao TBi ($91,6 \pm 27,1$ W; $80,4 \pm 36,7$ W e $129,3 \pm 26,5$ W, respectivamente), e ainda que a FC no limiar apresentou uma tendência a valores mais altos para o TUD (140 ± 15 bpm) em relação ao TUE (132 ± 10 bpm) e ao TBi (133 ± 15 bpm). Esses achados podem ser atribuídos à atividade simpática exacerbada, agregada a maior pressão intramuscular, menor resistência vascular periférica e menor eficiência mecânica na execução de testes unilaterais. No entanto, quando o LiVFC foi expresso em valores relativos à carga de pico, não houve diferença estatisticamente significativa (TUD $72,2 \pm 20,4$ %; TUE $60,2 \pm 25,6$ % e TBi $51,8 \pm 10,42$ %), sugerindo que em termos relativos, a transição parassimpática-simpática é similar entre os testes.

A determinação de limiares de transição fisiológica pode ser dependente do critério empregado (KINDERMANN, SIMON e KEUL, 1979; STEGMANN e KINDERMANN, 1982). Desse modo, alguns estudos têm estabelecido critérios distintos para identificar o LiVFC. Tulppo et al. (1998) sugerem que a transição da redução da atividade parassimpática para a predominância da atividade simpática ocorre quando a diferença entre o SD1 de dois estágios consecutivos for menor que $1 \text{ ms} - (\text{LiVFC}_{\text{TUL}})$. Por outro lado, Lima e Kiss (1999), evidenciaram que o SD1 decresce e tende a estabilizar em valores próximos a 3 ms, sendo identificado o LiVFC – ($\text{LiVFC}_{\text{LIM}}$).

Brunetto et al. (2005), avaliando adolescentes em esteira rolante, mostraram que o LiVFC obtido pelo método de $\text{LiVFC}_{\text{LIM}}$ é significativamente superior ao $\text{LiVFC}_{\text{TUL}}$, porém o LiVFC, em ambos os critérios, não apresentaram diferenças em relação ao LV_1 . Por outro

lado, Fronchetti et al. (2005), ao avaliar jovens sedentários durante teste progressivo realizado em cicloergômetro, sendo o LiVFC determinado pelos critérios referidos anteriormente e ainda pelo critério de regressão múltipla linear (adaptado de ORR et al., 1982), observaram que apesar da tendência de menores valores no método de $\text{LiVFC}_{\text{TUL}}$, não houve diferenças estatisticamente significantes entre os três critérios de LiVFC empregados. Resultados semelhantes foram encontrados, ao comparar esses critérios em atletas de *mountain bike* submetidos a teste progressivo em ciclo-simulador (carga inicial de 100W e incrementos de 30W/3min); contudo, apenas o critério de $\text{LiVFC}_{\text{LIM}}$ não apresentou diferença significativa em relação ao primeiro limiar de lactato (FRONCHETTI et al., 2006b). Assim, apesar das similaridades encontradas entre os diferentes critérios, estudos adicionais são necessários para evidenciar o critério mais apropriado para identificação do LiVFC.

Além da queda consistente da VFC até o LiVFC, uma segunda queda em estágios posteriores, desta vez, tendendo a zero, foi evidenciada por Lima e Kiss (1999), caracterizando um segundo platô. Pela localização deste platô na curva de VFC, os autores especulam que este estaria associado ao segundo limiar de lactato, supondo que neste momento ocorreria uma tendência à extinção do estímulo parassimpático e quase exclusiva atividade simpática, que corresponderia ao segundo LiVFC (LiVFC_2). Essa atividade acentuada da atividade simpática está associada à ação das catecolaminas circulantes, que estão em níveis elevados no plasma, e estas por sua vez, também exercem influência sobre o metabolismo da glicólise, com o acúmulo de lactato. Urhausen et al. (1994), investigando a relação entre a concentração de catecolaminas e de lactato durante diferentes intensidades correspondentes ao limiar anaeróbio individual (IAT), observaram que as concentrações de adrenalina e noradrenalina aumentam continuamente até a intensidade do IAT, ponto em que a concentração de lactato permanece em estado estável. No entanto, na intensidade que excede o IAT, ocorre uma estimulação acentuada da atividade simpática com aumento

simultâneo da acidose, demonstrando assim, a associação das catecolaminas e do acúmulo de lactato na demarcação do segundo limiar de transição.

O segundo limiar de transição (LT_2), apesar das diferentes terminologias empregadas, tem sido descrito como a intensidade de exercício em que existe um equilíbrio entre a produção e a remoção de ácido láctico (STEGMANN et al., 1981; HECK et al., 1985; MADER e HECK, 1986); além disso, intensidades acima dessa zona de transição são caracterizadas não só pelo acúmulo de lactato, mas também pelo aumento de outros marcadores fisiológicos, como por exemplo, a ventilação, catecolaminas, amônia e glicose (WASSERMAN, et al., 1973; McLELLAN, 1985; MAZZEO e MARSHALL, 1989; YUAN et al., 2002; SIMÕES et al., 1999). Inserido neste contexto, e na tentativa de metodologias que facilitem a determinação desse limiar, a possibilidade de identificação do $LiVFC_2$ seria uma alternativa para predição desta faixa de transição. No entanto, poucos estudos têm investigado a consistência dessa variável na determinação do LT_2 .

Abad et al. (2007) verificaram que a intensidade do $LiVFC_2$ é similar ao ponto de deflexão da frequência cardíaca (PDFC), identificado pelo método D_{max} de Kara et al. (1996), obtendo evidências a favor da sua utilização na aproximação deste segundo limiar de transição.

Em outra pesquisa realizada por Abad (2006), avaliando sujeitos jovens e ativos em bicicleta estacionária (carga inicial de 120W e incrementos de 30W / 3min), foram identificados dois limiares na curva de VFC – $LiVFC_1$ e $LiVFC_2$ – (figura 3) através do modelo matemático de intersecção de retas, e os limiares de lactato foram determinados pelas concentrações fixas de 2,0 e 3,5mM correspondendo ao LL_1 e LL_2 respectivamente.

O autor verificou que o $LiVFC_1$ (índice SD_1) e o LL_1 ($166,1 \pm 28,1$ e $174,6 \pm 21,1$ W), foram encontrados em cargas equivalentes, assim como o $LiVFC_2$ (índice SD_1) e o LL_2 ($240,3 \pm 40,0$ e $207,6 \pm 56,1$ W), mostrando que a metodologia proposta parece ser promissora para

aproximação dos limiares fisiológicos através da medida de VFC. Entretanto, não encontraram correlação significativa entre os $LiVFC_1$ e LL_1 ($r = 0,17$), e ainda, $LiVFC_2$ e LL_2 ($r = -0,12$), sugerindo estudos adicionais para esclarecimento dos mecanismos fisiológicos envolvidos na identificação desses limiares de VFC, principalmente no que se refere à real possibilidade de se identificar o $LiVFC_2$.

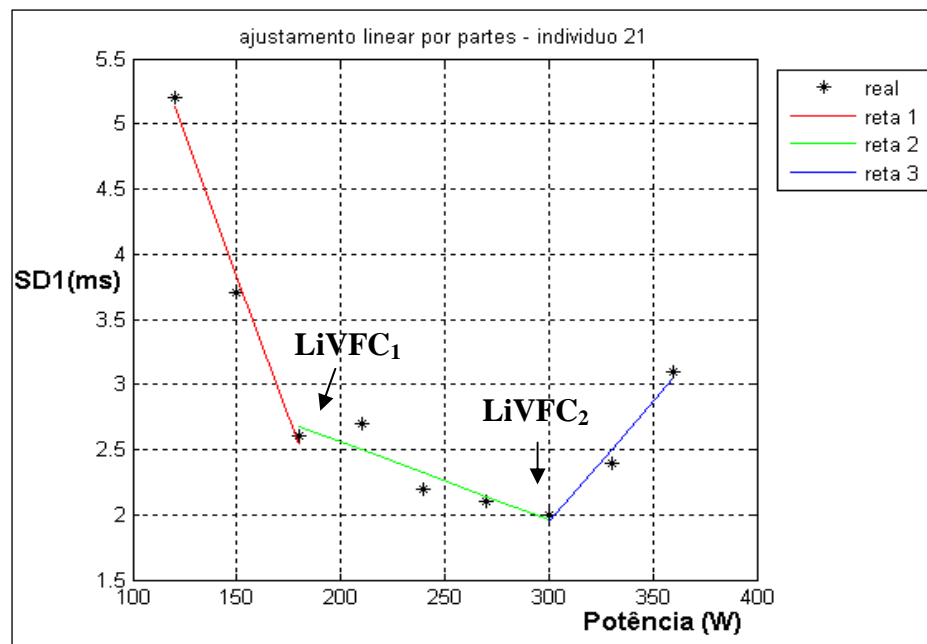


Figura 3 – Identificação dos $LiVFC_1$ e $LiVFC_2$, através do modelo matemático de intersecção de retas (ABAD, 2006).

Alguns estudos têm demonstrado que o aumento da hiperventilação em intensidades elevadas de esforço acarreta um efeito mecânico da respiração sobre o nodo sinusal, induzindo um aumento da VFC que independe da modulação autonômica cardíaca (COTTIN et al., 2004; PICHON et al., 2004; BUCHHEIT, SOLANO, MILLET, 2007).

Desse modo, a tendência à extinção do estímulo parassimpático que ocorre durante intensidades acima do segundo limiar de transição, contrapõe com o aumento nos parâmetros indicadores da atividade vagal, pois o aumento do retorno venoso durante cada ciclo respiratório provoca uma compensação no mecanismo intrínseco cardíaco (estiramento atrial),

aumentando a VFC em sincronismo com a ventilação, independente da atividade autonômica (BUCHHEIT, SOLANO, MILLET, 2007).

Cottin et al. (2006a; 2006b) mostraram que o LT_2 determinado pelos métodos de VFC ($HF.f_{HF}$) e ventilatório (VE/VO_2 , VE/VCO_2) foram identificados em intensidades de esforço similares (80 a 85% do VO_{2max}) e apresentaram forte associação ($r = 0,89$ em teste no cicloergômetro e $r = 0,98$ na esteira), sugerindo que o aumento nos parâmetros de VFC em intensidades elevadas de esforço reflete a influência da hiperventilação sobre o nodo sinoatrial (figura 4).

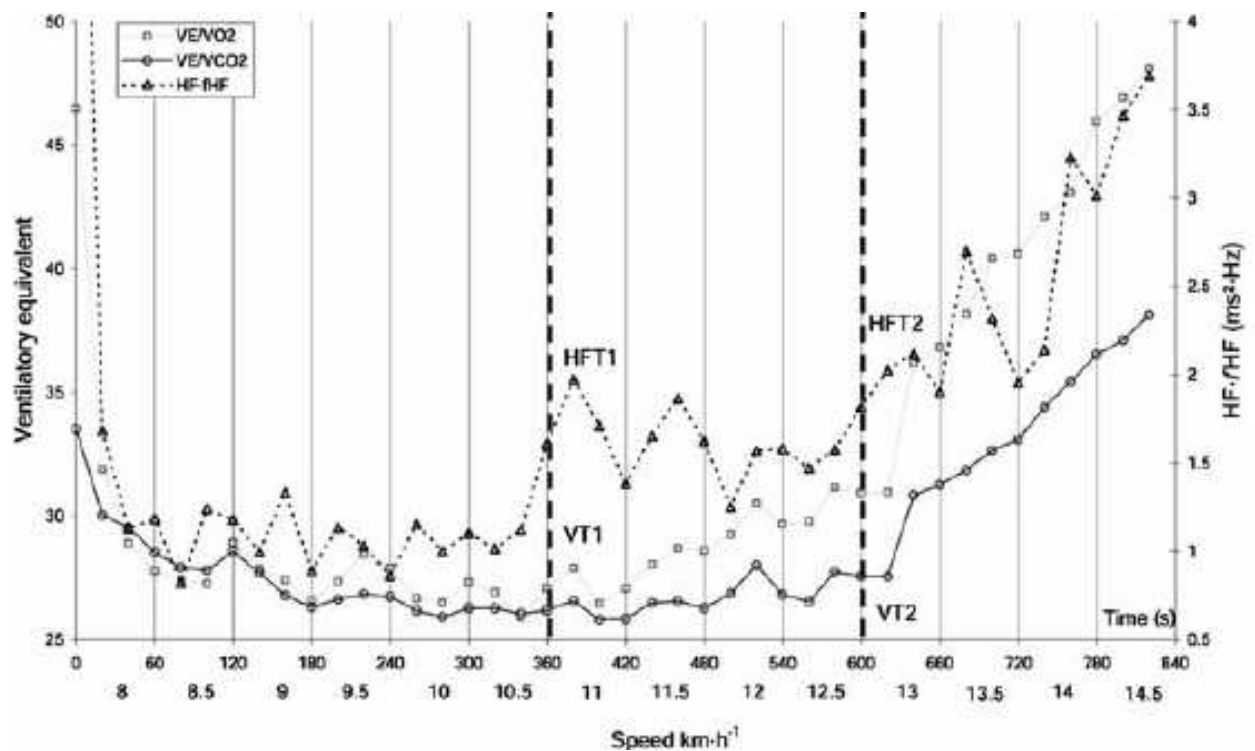


Figura 4 – Limiares de transição determinados pelos componentes ventilatórios e de VFC. O $LiVFC_1$ (HFT_1) corresponde ao primeiro aumento $HF.f_{HF}$, e o $LiVFC_2$ (HFT_2) ao segundo aumento abrupto no $HF.f_{HF}$ (COTTIN et al., 2006b).

Em concordância com esses achados, o recente estudo de Buchheit, Solano e Millet (2007), avaliando adolescentes durante teste progressivo em esteira, e utilizando critério similar ao estudo de Cottin et al. (2006a, b) para identificar o $LiVFC_2$, verificou que este

limiar foi equivalente ao ponto de deflexão da FC (PDFC) e ao LV_2 , e ainda que os distintos critérios para determinação do LT_2 mostraram associação significativa entre si ($r = 0,63 - 0,88$). Assim, os autores sugerem que o aumento acentuado da ventilação no LV_2 é responsável pelo aparecimento do $LiVFC_2$, devido aos efeitos mecânicos sobre o coração que induz o aumento dos intervalos R-R em intensidades de exercício acima do LV_2 .

Em geral, ressalta-se que a diferença encontrada entre os estudos relatados para determinação da intensidade de ocorrência dos $LiVFC$ pode ser justificada pelas diferenças metodológicas empregadas, como por exemplo, nível de aptidão física, idade, gênero, ergômetro e massa muscular utilizada.

A literatura reporta que uma atividade parassimpática elevada está associada a condições de estabilidade elétrica do coração, enquanto que a atividade simpática elevada aumenta a predisposição a riscos cardiovasculares (KLEIGER et al., 1987; ARAI et al., 1989; JUNQUEIRA, 1998; DURU et al., 2000). Desse modo, o $LiVFC$ também pode ser um parâmetro fisiológico de grande utilidade na área clínica de reabilitação cardíaca, à medida que a prática de exercício físico em intensidades até o primeiro $LiVFC$ parece proporcionar ao sujeito com patologia maior segurança em relação aos prováveis riscos cardiovasculares, pois nas intensidades de exercício até o $LiVFC_1$ a ação protetora vagal está mais atuante. Ao mesmo tempo, não parece seguro prescrever intensidades de esforço acima do $LiVFC_1$ para essa população devido ao incremento e predominância da atividade simpática no controle da FC, uma vez que, nesta faixa de esforço o risco para ocorrência de eventos que comprometem a função cardíaca estaria aumentado. Por outro lado, em indivíduos saudáveis que visam o aprimoramento da capacidade aeróbia, exercitar-se em intensidades acima do $LiVFC_1$ parece proporcionar melhora da aptidão física.

Cambri (2007) estudou o comportamento do $LiVFC$ em sujeitos com diabetes tipo 2, durante teste progressivo de caminhada, e verificou que este parâmetro fisiológico parece ser

adequado para o controle e prescrição do treinamento desta população, uma vez que normalmente apresentam baixo nível de aptidão aeróbia e maior predisposição a riscos cardiovasculares ($VFC_{REP} = 22,4$ ms); logo, a referência deste limiar se apresenta como uma alternativa segura durante a prática do exercício físico.

Em síntese, a análise da VFC para identificar os LiVFC fornece informações importantes sobre a modulação autonômica durante o exercício físico, podendo ser um parâmetro fisiológico utilizado tanto na área clínica, assim como para prescrição e avaliação do treinamento físico.

2.4 VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS EM DIFERENTES PROTOCOLOS DE TESTES ERGOMÉTRICOS

O primeiro estudo de protocolos de esforço abordando teste ergométrico foi publicado na década de 20 por Máster e Oppenheimer, utilizando a escada de dois degraus. O método foi usado para avaliação da “capacidade cardíaca”, pela análise da frequência cardíaca e pressão arterial. A este trabalho é creditada a descrição de um protocolo para teste de esforço (TEBEXRENI et al., 2001). Desde então, a utilização inicial de protocolos foi para o diagnóstico de patologia cardiovascular, sendo sua escolha primeiramente determinada pela tolerância ao esforço esperada para o paciente. Com o advento da ergoespirometria, vários outros tipos de protocolos foram criados com finalidade de testar indivíduos não coronarianos. Existem, portanto, protocolos específicos conforme o tipo de ergômetro utilizado e as características físicas e clínicas do indivíduo exercitado (CONSELHO NACIONAL DE ERGOMETRIA, 1995).

A padronização dos protocolos no teste ergométrico visa à comparação de resultados entre indivíduos e intra-indivíduo em testes subseqüentes. Em geral, os protocolos progressivos, ou seja, contínuos e com cargas de trabalho crescentes em cada estágio, são utilizados como procedimento padrão para determinação de limiares de transição fisiológica (RIBEIRO et al., 1986; BENTLEY, NEWELL; BISHOP, 2007). Além disso, os protocolos devem ser aplicados de acordo com o nível de aptidão física de quem está se exercitando e, também, com a finalidade do aspecto fisiológico a ser avaliado. Assim, a escolha de um protocolo de teste apropriado nos possibilita uma interpretação coerente e mais precisa da variável mensurada e, por conseguinte uma avaliação física adequada.

Nesse contexto, estudos têm investigado as respostas de variáveis fisiológicas frente à aplicação de diversos protocolos de exercício. Algumas pesquisas abordam o aspecto da taxa de incremento da carga (DAVIS et al., 1976; WHIPP et al., 1981; DAVIS et al., 1982; HANSEN et al., 1988; COEN et al., 2001), enquanto que outras, a influência de diferentes durações (WASSERMAN et al., 1973; FROELICHER et al., 1974; YOSHIDA, 1984; ZHANG et al., 1991; COEN et al., 2001). Em algumas situações, pode-se observar o efeito combinado de ambas as variáveis (ROBERGS et al., 1999).

Whipp et al. (1981), usando protocolo de rampa, com aumento contínuo da carga de trabalho, encontraram valores semelhantes de limiar anaeróbio (expresso em valores de VO_2) em diferentes incrementos de carga (20, 30 ou 50 W / min). Protocolo similar foi utilizado por Davis et al. (1982), que também mostraram valores constantes quando expressos em unidades de VO_2 no LV_1 (20W/min: 1,91 l.min⁻¹; 30W/min: 1,91 l.min⁻¹; 50W/min: 1,88 l.min⁻¹; 100W/min: 1,92 l.min⁻¹); entretanto, quando referidos em relação à carga no LV_1 apresentaram diferenças progressivas de acordo com o aumento da taxa de incremento em cada protocolo (158; 171; 187; 232 W, respectivamente).

Ribeiro et al. (1986), analisando os efeitos de dois protocolos de incremento igual, mas com duração distintas (A: 15 W / min e B: 15 W / 0,25 min), nos limiares de lactato e ventilatório (critério de inspeção visual – quebra da linearidade) não encontraram diferenças na identificação desses limiares expressos em valores de VO_2 . Porém, eles diferiram significativamente quando expressos em carga (A - LL_1 : 180 ± 31 LV_1 : 195 ± 37 LL_2 : 259 ± 45 LV_2 : 259 ± 46 W; B - LL_1 : 212 ± 33 LV_1 : 214 ± 46 LL_2 : 321 ± 33 LV_2 : 334 ± 33 W). Além disso, quando se utilizou o critério fixo de 2 mM ao LL_1 , o valor de VO_2 correspondente a este ponto de transição foi significativamente maior no protocolo com incrementos de duração menor ($4,01 \pm 0,64 \text{ l.min}^{-1}$) comparado ao de maior duração ($3,23 \pm 0,73 \text{ l.min}^{-1}$).

Confirmando essas observações Coen et al. (2001), mostraram que a duração do estágio (3 ou 5 min) apenas influenciou de forma significante quando foi adotado o critério fixo de 4 mM para determinação do LL_2 . Por outro lado, foi observado que o incremento (A: 2 km.h^{-1} e B: 1 km.h^{-1}) interferiu nos dois critérios para determinação do LL_2 – IAT_A : $14,5 \pm 1,4 \text{ km.h}^{-1}$ IAT_B : $15,4 \pm 1,2 \text{ km.h}^{-1}$ / L4_A : $14,9 \pm 1,7 \text{ km.h}^{-1}$ L4_B : $15,2 \pm 1,7 \text{ km.h}^{-1}$ ($p \leq 0,05$).

Robergs et al. (1999), determinaram o limiar de lactato usando diferentes protocolos em cicloergômetro: protocolo A (PA) – $25\text{W} / \text{min}$ (rampa) e protocolo B (PB) – $75\text{W} / 3 \text{ min}$. Os resultados mostraram que o limiar foi similar em ambos os protocolos (PA: $2245 \pm 455 \text{ ml.min}^{-1}$ e $64\% \pm 0.1$ do $\text{VO}_{2 \text{ máx}}$; PB: $2214 \pm 508 \text{ ml.min}^{-1}$ e $65\% \pm 0.1$ do $\text{VO}_{2 \text{ máx}}$).

Carta e Aru (2001) compararam dois protocolos incrementais (A: $30\text{W} / 3 \text{ min}$; B: $30\text{W} / 1 \text{ min}$) realizados por sujeitos saudáveis em cicloergômetro até a exaustão. Os resultados mostraram um comportamento similar do limiar ventilatório em ambos os protocolos, quando expressos em valores de VO_2 , sugerindo que essas variáveis indicadoras de aptidão aeróbia são independentes dos protocolos utilizados. Zhang et al. (1991) também estudaram protocolos de testes, em quatro padrões de aumento da carga de trabalho (rampa, 1,

2 e 3 min), e verificaram que as respostas fisiológicas expressas em função do VO_2 (limiar anaeróbio) não apresentaram diferenças apesar dos distintos períodos de incremento.

Desse modo, considerando as diferenças metodológicas empregadas, tanto no que se refere ao tipo de protocolo de esforço quanto aos critérios, na determinação dos limiares de transição fisiológica, as pesquisas têm mostrado que quando os limiares de lactato e ventilatório são determinados por quebra da linearidade na curva, e/ou expressos em unidades de VO_2 ($\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$), ou ainda, expressos em valores relativos de carga ou $\text{VO}_{2\text{máx}}$, os resultados independem do protocolo utilizado (McLELLAN, 1985; ZHANG et al., 1991; DENADAI, 1995). Entretanto, quando se adotam concentrações fixas de lactato e/ou ainda valores absolutos expressos em carga correspondente, ocorre variação de acordo com o protocolo utilizado (HECK et al., 1985; RIBEIRO et al. 1986, DENADAI, 1995).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERÍSTICA DA PESQUISA

Trata-se de uma pesquisa com delineamento quase-experimental, à medida que se interfere diretamente na realidade, manipulando-se protocolos de exercício (variáveis independentes) a fim de observar o que acontece com o LiVFC (variável dependente).

A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da Universidade do Estado de Santa Catarina sob o registro nº 164/06 (ANEXO A). Os indivíduos foram informados e esclarecidos a respeito dos objetivos e da metodologia experimental a que foram submetidos e, em concordância, assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (APÊNDICE A).

3.2 SUJEITOS

A seleção da amostra foi do tipo não probabilística intencional. Para tanto, participaram do estudo 21 voluntários do sexo masculino e aparentemente saudáveis.

Para a participação na pesquisa os critérios de inclusão foram: faixa etária entre 18 e 35 anos, sexo masculino, não apresentar patologia associada à disfunção autonômica cardíaca, e não fazer uso de medicamentos. Os critérios de exclusão foram pautados na avaliação obtida

pelo questionário ParQ, onde caso houvesse alguma resposta “sim”, o indivíduo não estaria apto a realização de exercícios físicos. Além disso, a inconformidade aos critérios de inclusão mencionados também foram fatores de exclusão.

3.3 DESENHO EXPERIMENTAL

A participação direta dos sujeitos foi desenvolvida em três testes experimentais, sendo todos realizados em laboratório (figura 5). Desse modo, eles foram submetidos a diferentes protocolos de teste progressivo em cicloergômetro que foram executados de forma aleatória, num intervalo mínimo de 48h entre os testes. Os sujeitos foram orientados a consumir refeição leve até duas horas antes do teste de esforço físico máximo, a não ingerir bebidas à base de cafeína e a evitar esforços físicos vigorosos no dia anterior.

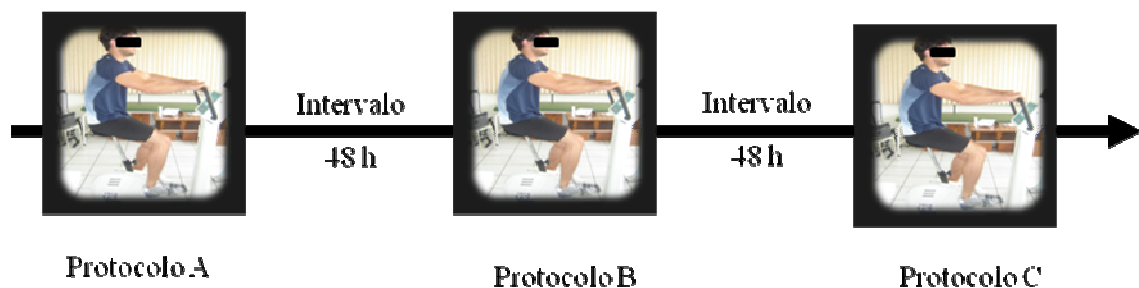


Figura 5 – Desenho experimental da realização dos testes progressivos.

Na primeira avaliação, precedendo ao teste, foi realizada uma anamnese (APÊNDICE B) para o preenchimento da ficha de cadastro com dados pessoais e informações sobre o estado de saúde. Além disso, foi aplicado o questionário ParQ (ANEXO B) para

caracterização mais detalhada da amostra e determinação do risco inicial de prática de exercício físico progressivo. Em seguida, foram explicados todos os procedimentos da avaliação e, em concordância com a participação na pesquisa, todos os sujeitos assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Após essa etapa inicial, os indivíduos foram encaminhados para a realização da avaliação antropométrica e, na seqüência, executaram os procedimentos para o teste de esforço físico propriamente dito.

Nas demais avaliações, não houve a etapa inicial e avaliação antropométrica relatada anteriormente, portanto os sujeitos foram conduzidos diretamente para os procedimentos do teste de esforço físico.

Em todas as etapas do experimento foi registrada a variabilidade da frequência cardíaca (VFC) durante o repouso e exercício como medida indireta do controle autonômico sobre o coração, e foram também coletadas amostras de sangue para mensurar as concentrações de lactato.

3.4 INSTRUMENTOS DE MEDIDA

Utilizou-se um cicloergômetro eletromagnético (Ergofit 167, Pirmansens, Alemanha), para a realização dos testes.

O registro da FC foi realizado batimento-a-batimento, através de um cardiofrequencímetro da marca Polar[®] modelo S810i (Polar Electro Oy, Finlândia).

Para análise das concentrações de lactato sanguíneo foi utilizado o analisador automático YSI[®] 1500 Sport (Yellow Springs Instruments Inc., USA)

Para as medidas antropométricas foram utilizados balança TOLEDO[®], estadiômetro e compasso SANNY[®].

3.5 PROTOCOLOS DE TESTES PROGRESSIVOS ERGOMÉTRICOS

Precedendo a realização de cada teste, o indivíduo permaneceu em repouso na posição supina durante 15 min e, em seguida, foi direcionado ao cicloergômetro onde continuou em repouso por mais 3 min. Durante o teste, o indivíduo manteve a frequência de pedalada a 60rpm. A interrupção do teste ocorreu por exaustão voluntária e/ou quando o indivíduo não conseguisse manter o ritmo determinado. A execução dos protocolos foi realizada de forma aleatória.

3.5.1 PROTOCOLO A (PA_{15W/1'})

Os sujeitos foram submetidos a um exercício progressivo em cicloergômetro, iniciando o primeiro estágio com 15 W, e posteriormente incrementos de 15 W a cada minuto, até a exaustão.

3.5.2 PROTOCOLO B (PB_{30W/1'})

Os sujeitos foram submetidos a um exercício progressivo em cicloergômetro, iniciando o primeiro estágio com 15 W, e posteriormente incrementos de 30 W a cada minuto, até a exaustão. A aplicação deste protocolo visou a observar a influência da amplitude do incremento na identificação do LiVFC.

3.5.3 PROTOCOLO C (PC_{45W/3'})

Os sujeitos foram submetidos a um exercício progressivo em cicloergômetro, iniciando o primeiro estágio com 15 W, e posteriormente incrementos de 45 W a cada 3 minutos, até a exaustão. A aplicação deste protocolo visou a observar a influência da duração do estágio na identificação do LiVFC. Como se trata de um protocolo com estágios de 3 min, e com o intuito de testar apenas a duração, o incremento adotado neste protocolo foi calculado proporcionalmente ao utilizado no PA_{15W/1'}.

3.6 COLETA DE DADOS

3.6.1 MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS

Para a caracterização da amostra, as medidas antropométricas coletadas foram: massa corporal, estatura e dobras cutâneas – torácica, abdominal e coxa (JACKSON e POLLOCK,

1978). Para a estimativa do %G, utilizou-se à equação proposta por Siri (1961). A avaliação antropométrica foi realizada apenas na etapa anterior à execução do primeiro teste físico.

3.6.2 VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA (VFC)

O monitoramento da FC foi realizado batimento-a-batimento (intervalos R-R), através de um monitor cardíaco da marca Polar[®], e posteriormente os dados foram editados e registrados no programa Polar Precision Performance[®]. A frequência de amostragem foi 1000 Hz, e os artefatos do sinal foram filtrados pelo programa, sendo excluídos os valores com diferenças superiores a 20% do valor do intervalo R-R anterior (YAMAMOTO, HUGHSON e PETERSON, 1991).

A análise da VFC foi realizada através do método da plotagem de Poincaré que consiste na plotagem do intervalo R-R atual em função do intervalo anterior. Este método permite calcular os índices: 1) SD1 que corresponde ao desvio padrão dos intervalos R-R instantâneos, e que caracteriza o marcador da atividade parassimpática; e 2) SD2 (desvio padrão de longo prazo de intervalos R-R contínuos), indicador da atividade simpática e parassimpática (TULPPO et al., 1996; LIMA e KISS, 1999).

O $LiVFC_1$ foi identificado considerando os seguintes critérios:

- $LiVFC_{LIM}$ – primeira intensidade de exercício na qual o SD1 alcança um valor inferior a 3 ms (Lima, 1997);
- $LiVFC_{TUL}$ – primeiro estágio, no decréscimo da curva, em que as diferenças entre o SD1 de dois estágios consecutivos for menor que 1 ms; critério derivado da pesquisa de Tulppo et al. (1998).

O $LiVFC_2$ foi identificado segundo o critério:

- $LiVFC_{2LIM}$ – regressão múltipla linear, onde o limiar é identificado no ponto de intersecção que melhor dividiu a curva da VFC, a partir do $LiVFC_{LIM}$, em função da carga em dois segmentos. Para tanto, foi escolhida a equação que apresentou o maior valor de R^2 e menor somatória de resíduos. Esse método foi adaptado do critério de LL de Orr et al. (1982).

3.6.3 CONCENTRAÇÃO SANGÜÍNEA DE LACTATO [La]

Precedendo o início dos testes progressivos, foi aplicada uma pomada vasodilatadora (a base de nicotinato de butoxietileno e novivamida) no lóbulo da orelha direita do indivíduo, para posterior obtenção de 25 μ l de sangue arterializado. Essas amostras de sangue foram obtidas antes de iniciar o teste incremental e nos 10 segundos finais de cada estágio. A cada coleta foi realizado o procedimento de anti-sepsia (álcool 70%), para evitar contaminação no local. Logo após cada coleta foram realizadas as dosagens de [La] no analisador eletroquímico YSI 1500, que foi calibrado previamente de acordo com os procedimentos recomendados pelo fabricante.

O LL_1 foi determinado segundo os seguintes critérios:

- LL_{1NADIR} – pelo cálculo do menor valor equivalente de [La]/carga (BERG et al. 1990);
- LL_{1FIXO} – carga correspondente à [La] fixa de 2 $mmol.l^{-1}$ (KINDERMANN et al., 1979).

O LL_2 foi determinado conforme os critérios:

- LL_{2THO} – carga que precede dois aumentos consecutivos, superiores ou iguais a $1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (THODEN, 1991);
- LL_{2FIXO} – carga correspondente $[\text{La}]$ de $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (HECK et al., 1985).

3.7 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Para caracterização dos sujeitos do estudo foi utilizada a estatística descritiva e os dados foram expressos em média e desvio padrão. Para verificar a distribuição dos dados aplicou-se o teste de normalidade a partir das análises dos histogramas.

Para comparar as variáveis C_{PICO} , $[\text{La}]_{PICO}$ e VFC_{REP} entre os três protocolos, aplicou-se o teste de Kruskal-Wallis e Wilcoxon; e para as variáveis FC_{REP} , $[\text{La}]_{REP}$, FC_{PICO} , T_{TOTAL} a análise de variância *one-way* e *post-hoc* de Tukey quando necessário.

As variáveis mensuradas nos três protocolos de testes e determinadas por diferentes critérios foram comparadas utilizando a análise de variância *two-way* (ANOVA *two-way* – limiares vs protocolos) e o teste de *post-hoc* de Tukey para identificar as diferenças encontradas. Para testar a predição entre os critérios utilizou-se análise de regressão, e ainda a magnitude de concordância foi testada pelo método de Bland-Altman. Além disso, foi aplicada a correlação de Pearson para análise do grau de associação das variáveis, considerando $p \leq 0,05$.

4 RESULTADOS

4.1 CARACTERÍSTICAS DOS SUJEITOS E DO AMBIENTE

Os resultados obtidos a partir da avaliação antropométrica para caracterização dos sujeitos estão reportados na tabela 1.

A temperatura ambiente permaneceu constante durante os testes e não foi encontrada diferença na realização dos três protocolos (PA_{15W/1}: 20,9 ± 1,3°C; PB_{30W/1}: 20,9 ± 1,6°C; PC_{45W/3}: 21,2 ± 2,1°C).

Tabela 1 – Média e desvio padrão (DP) das variáveis obtidas para caracterização dos sujeitos.

Variáveis	Média ± DP (n = 21)
Idade (anos)	24,8 ± 5,2
Massa Corporal (kg)	76,7 ± 11,4
Estatura (cm)	178,8 ± 7,8
IMC (kg.m ⁻²)	24,0 ± 2,3
Gordura Corporal (%)	12,2 ± 4,8

4.2 VARIÁVEIS DURANTE O REPOUSO E FINAL DO TESTE PROGRESSIVO

O comportamento das variáveis mensuradas, durante o repouso e final do exercício, nas diferentes situações está apresentado na tabela 2.

Tabela 2 – Média e desvio padrão das variáveis obtidas em repouso e no teste progressivo nos três protocolos.

Variáveis	Protocolos		
	PA _{15W/1}	PB _{30W/1}	PC _{45W/3}
VFC _{REP} (ms)	48,7 ± 39,3	46,2 ± 30,1	45,9 ± 31,1
FC _{REP} (bpm)	62 ± 9	63 ± 9	63 ± 8
[La] _{REP} (mmol.l ⁻¹)	0,68 ± 0,18	0,77 ± 0,21	0,70 ± 0,19
FC _{PICO} (bpm)	184 ± 10	183 ± 8	185 ± 10
FC _{PREDITA} (%)	95 ± 6	94 ± 5	95 ± 6
[La] _{PICO} (mmol.l ⁻¹)	10,1 ± 2,1	10,3 ± 2,2	10,7 ± 2,2
C _{PICO} (W)	254,5 ± 28,8 *	292,21 ± 41,3 *	245,4 ± 30,0 *
T _{TOTAL} (min)	17,0 ± 1,9 *	10,2 ± 1,3 *	18,4 ± 2,0 *

* Diferença estatística entre os três protocolos $p \leq 0.05$.

Foram encontradas diferenças estatísticas entre os três protocolos progressivos para a carga de pico (C_{PICO}) e tempo total (T_{TOTAL}), sendo que no PB_{30W/1}, que testou a influência da amplitude, os sujeitos alcançaram maior intensidade de esforço associada a menor tempo de exaustão.

4.3 IDENTIFICAÇÃO DOS LiVFC E LL NOS PROTOCOLOS A, B E C

O número de identificações nos distintos métodos para determinação dos limiares está apresentado na tabela 3.

Tabela 3 – Frequência de identificação dos LiVFC e LL em valores absolutos e relativos (n = 21).

	Frequência		
	PA _{15W/1'}	PB _{30W/1'}	PC _{45W/3'}
LiVFC _{LIM}	19 (90)	21 (100)	21 (100)
LiVFC _{TUL}	20 (95)	21 (100)	17 (81)
LL _{1NADIR}	21 (100)	21 (100)	21 (100)
LL _{1FIXO}	21 (100)	21 (100)	21 (100)
LiVFC _{2LIM}	17 (81)	16 (76)	10 (48)
LL _{2FIXO}	21 (100)	21 (100)	21 (100)
LL _{2THO}	19 (90)	21 (100)	21 (100)

O LiVFC_{LIM} e o LiVFC_{TUL} foram encontrados a 100% da C_{PICO}, em três e um dos sujeitos, respectivamente.

A figura 6, a seguir, ilustra os valores médios da curva e VFC e [La], e a identificação dos diferentes critérios dos LiVFC e LL, nos protocolos A, B e C.

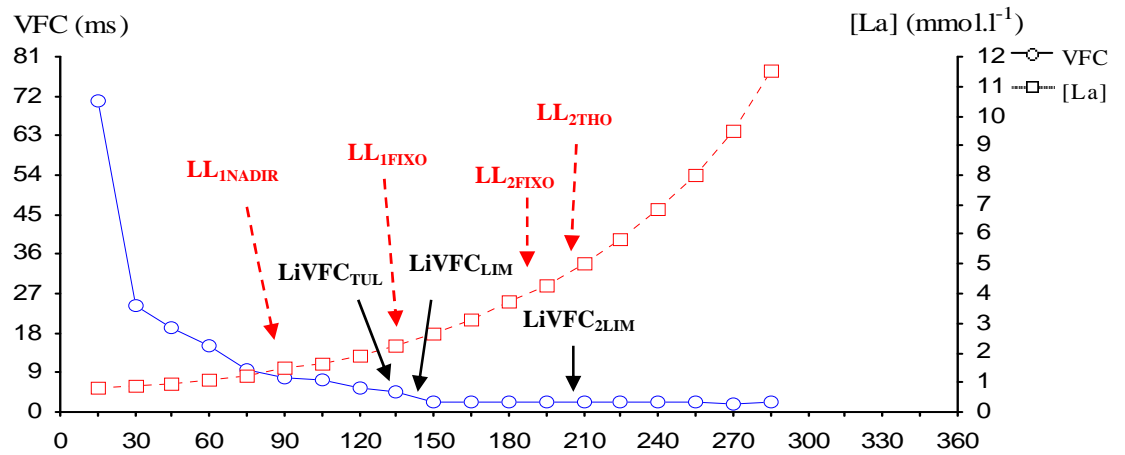
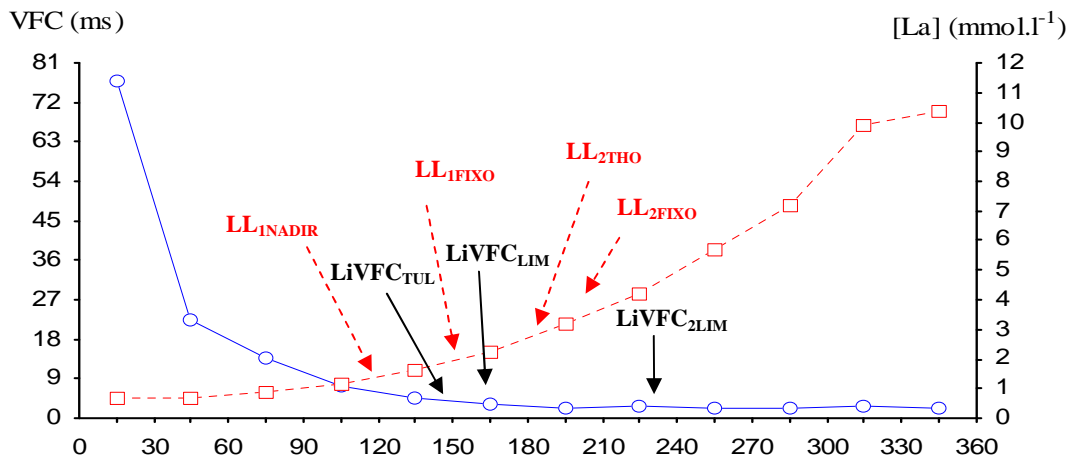
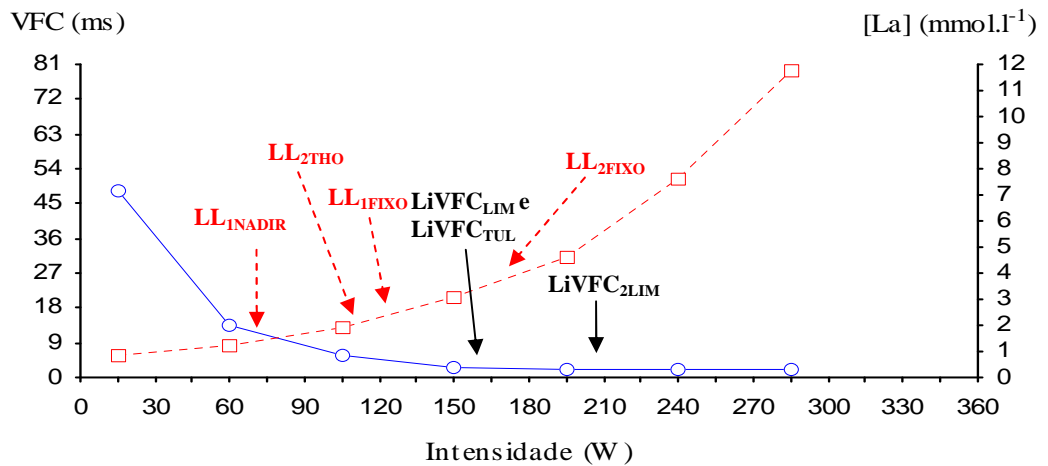
PA_{15W/1'}**PB_{30W/1'}****PC_{45W/3'}**

Figura 6 – Comportamento da VFC e [La] durante teste progressivo nos protocolos A, B e C. As setas contínuas indicam os LiVFC e as descontínuas os LL.

4.4 COMPARAÇÃO E RELAÇÃO ENTRE DIFERENTES PROTOCOLOS E CRITÉRIOS DE IDENTIFICAÇÃO DO PRIMEIRO LIMAR DE TRANSIÇÃO FISIOLÓGICA (LT₁)

4.4.1 PROTOCOLOS

4.4.1.1 EFEITOS DOS PROTOCOLOS SOBRE O LiVFC₁

Na tabela 4 encontram-se os valores de carga e FC, correspondente ao LiVFC₁ nos três protocolos progressivos (PA_{15W/1'}, PB_{30W/1'} e PC_{45W/3'}).

Tabela 4 – Comparação dos valores médios do LiVFC₁ para as variáveis carga e FC, em diferentes protocolos†.

	PA _{15W/1'}	PB _{30W/1'}	PC _{45W/3'}
LiVFC_{LIM} (W)	148,4 ± 29,9	165,0 ± 43,5	157,9 ± 37,8
LiVFC_{LIM} (bpm)	134 ± 13	138 ± 15	146 ± 21 ^a
LiVFC_{TUL} (W)	125,7 ± 33,0	141,0 ± 47,3	157,9 ± 45,7 ^a
LiVFC_{TUL}(bpm)	126 ± 17	128 ± 19	142 ± 21 ^{a,b}

†Comparação de cada limiar entre os protocolos: ^a diferença em relação ao PA_{15W/1'}; ^b diferença em relação ao PB_{30W/1'}; ^c diferença em relação ao PC_{45W/3'} (p ≤ 0,05).

Para a FC no LiVFC_{LIM}, observou-se uma tendência de valores elevados no PC_{45W/3'}, que apresentou diferença significativa do PA_{15W/1'}, e ainda, o LiVFC_{TUL} no PC_{45W/3'} mostrou diferenças dos demais protocolos.

A intensidade de esforço relativa à C_{PICO} (C_{REL}) não diferiu entre os protocolos no critério LiVFC_{LIM} (PA_{15W/1'}: 58,5 ± 12,3; PB_{30W/1'}: 57,1 ± 15,6; PC_{45W/3'}: 65,2 ± 17,6 %),

apenas no $LiVFC_{TUL}$ os valores do $PC_{45W/3}$ foram superiores e diferentes dos demais protocolos ($PA_{15W/1}$: $49,2 \pm 10,9$; $PB_{30W/1}$: $48,2 \pm 16,7$; $PC_{45W/3}$: $62,8 \pm 17,3\%$).

4.4.1.2 EFEITOS DOS PROTOCOLOS SOBRE O LL_1

A tabela 5 apresenta as variáveis carga e FC no LL_1 em resposta à aplicação de distintos protocolos progressivos em cicloergômetro.

Tabela 5 – Comparação dos valores médios do LL_1 para as variáveis carga e FC em diferentes protocolos†.

	$PA_{15W/1}$	$PB_{30W/1}$	$PC_{45W/3}$
LL_{1NADIR} (W)	$87,1 \pm 19,9$	$106,4 \pm 20,1^c$	$85,7 \pm 26,9$
LL_{1NADIR} (bpm)	105 ± 10	111 ± 14	108 ± 15
LL_{1FIXO} (W)	$130,1 \pm 29,0$	$147,2 \pm 28,9^c$	$120,5 \pm 30,7$
LL_{1FIXO} (bpm)	125 ± 13	129 ± 13	125 ± 12

†Comparação de cada limiar entre os protocolos: ^a diferença em relação ao $PA_{15W/1}$; ^b diferença em relação ao $PB_{30W/1}$; ^c diferença em relação ao $PC_{45W/3}$ ($p \leq 0,05$).

Diferenças foram encontradas entre o $PB_{30W/1}$ e o $PC_{45W/3}$, para a carga referente ao LL_{1NADIR} e ao LL_{1FIXO} .

Com relação ao comportamento da FC referente aos LL_1 , os critérios de LL_1 não diferiram entre os protocolos utilizados, apesar da tendência de maiores valores no $PB_{30W/1}$.

A intensidade de esforço relativa à C_{PICO} (C_{REL}) não diferiu entre os protocolos tanto para o LL_{1NADIR} ($PA_{15W/1}$: $34,2 \pm 6,4$; $PB_{30W/1}$: $37,0 \pm 8,8$; $PC_{45W/3}$: $34,7 \pm 9,0$ %) quanto para o LL_{1FIXO} ($PA_{15W/1}$: $50,9 \pm 8,9$; $PB_{30W/1}$: $50,4 \pm 7,5$; $PC_{45W/3}$: $48,8 \pm 9,2$ %).

4.4.1.3 COMPARAÇÃO DO DELTA (Δ) ENTRE OS PROTOCOLOS

A figura 7 mostra a comparação do delta (Δ) obtido pela diferença entre os protocolos (ΔPAB ; ΔPAC e ΔPBC), para os critérios de identificação do LT_1 .

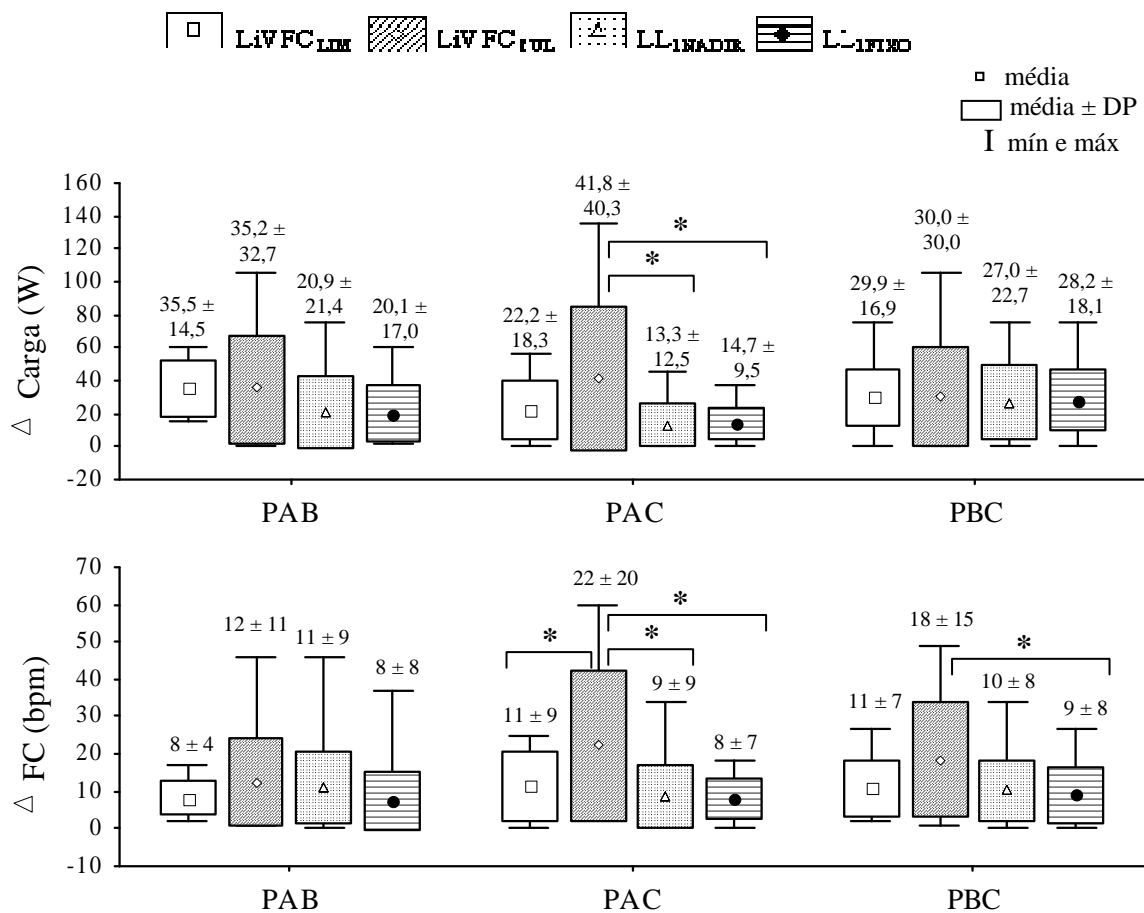


Figura 7 – Comparação do Δ carga (painel superior) e Δ FC (painel inferior) entre os métodos de LT_1 (* $p \leq 0,05$).

Verificou-se que para o Δ carga todos os métodos de LT_1 não diferiram quando foi calculado Δ PAB e Δ PBC. No Δ PAC, o $LiVFC_{TUL}$ apresentou uma variação significativa em relação aos métodos LL_{1NADIR} e LL_{1FIXO} ($p \leq 0.05$).

Com relação ao Δ FC, no Δ PAC o $LiVFC_{TUL}$ apresentou maior variação e diferiu dos demais critérios; e no Δ PBC o $LiVFC_{TUL}$ mostrou diferença comparado ao LL_{1FIXO} ($p \leq 0.05$).

4.4.1.4 CORRELAÇÃO INTRA-CRITÉRIOS

Na tabela 6 pode-se observar as correlações intra-crítérios nos diferentes protocolos estudados.

Tabela 6 – Correlação intra-crítério para o $LiVFC_{LIM}$, $LiVFC_{TUL}$, LL_{1NADIR} e LL_{1FIXO} .

	PA_{15W/1} - PB_{30W/1}	PA_{15W/1} - PC_{45W/3}	PB_{30W/1} - PC_{45W/3}
Carga (W)			
$LiVFC_{LIM}$	0,62*	0,58*	0,66*
$LiVFC_{TUL}$	0,34	0,19	0,64*
LL_{1NADIR}	0,18	0,71*	0,30
LL_{1FIXO}	0,76*	0,88*	0,77*
FC (bpm)			
$LiVFC_{LIM}$	0,80*	0,63*	0,82*
$LiVFC_{TUL}$	0,54*	0,19	0,60*
LL_{1NADIR}	0,40	0,40	0,58*
LL_{1FIXO}	0,67*	0,68*	0,59*

* $p \leq 0,05$

4.4.1.5 ANÁLISE DE BLAND-ALTMAN

A concordância entre os critérios de determinação dos $LiVFC_1$ e LL_1 , em cada protocolo, também foi avaliada através do método de Bland-Altman, que representa a magnitude da concordância entre os diferentes critérios (figuras 8, 9 e 10).

Os pontos dispersos mostram, para cada sujeito, a diferença entre a intensidade de esforço referente ao LT_1 dos dois critérios ($LiVFC_1 - LL_1$) em função da média ($[LiVFC_1 + LL_1] / 2$). Nas figuras abaixo, não se observam 21 pontos distintos em cada gráfico, pois, em alguns casos os pontos estão sobrepostos. A análise de Bland-Altman mostrou que, com raras exceções, grande parte dos pontos está entre os limites de concordância (média $\pm 1,96$ DP).

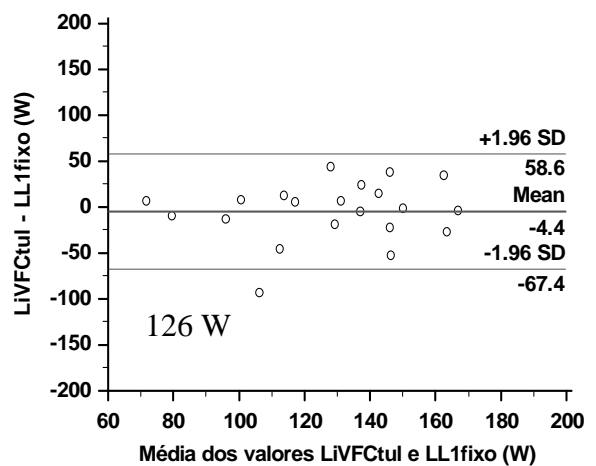
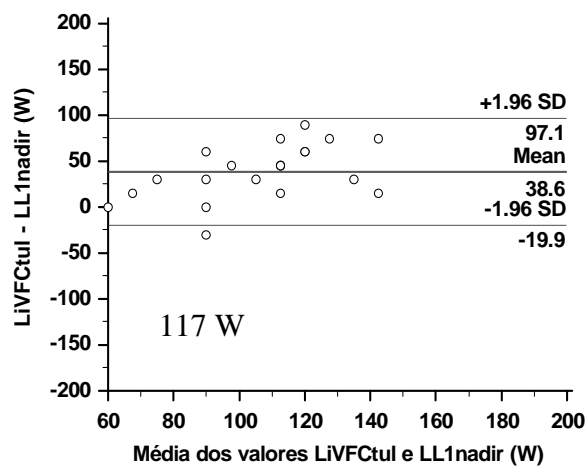
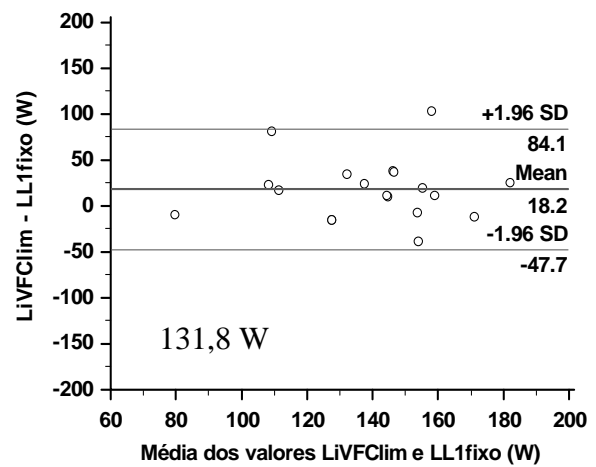
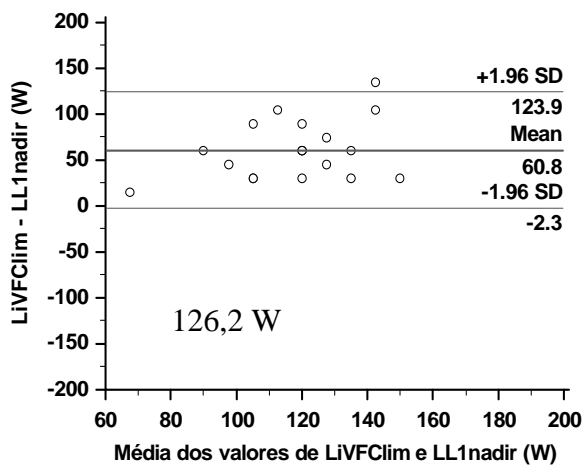


Figura 8 – Plotagem de Bland-Altman para comparação entre o primeiro LiVFC e LL, determinados por diferentes critérios no PA_{15W/1}. A linha contínua refere-se à média da diferença entre os critérios, e as linhas descontínuas, superior e inferior, representam a média da diferença $\pm 1,96$ *desvio padrão da diferença.

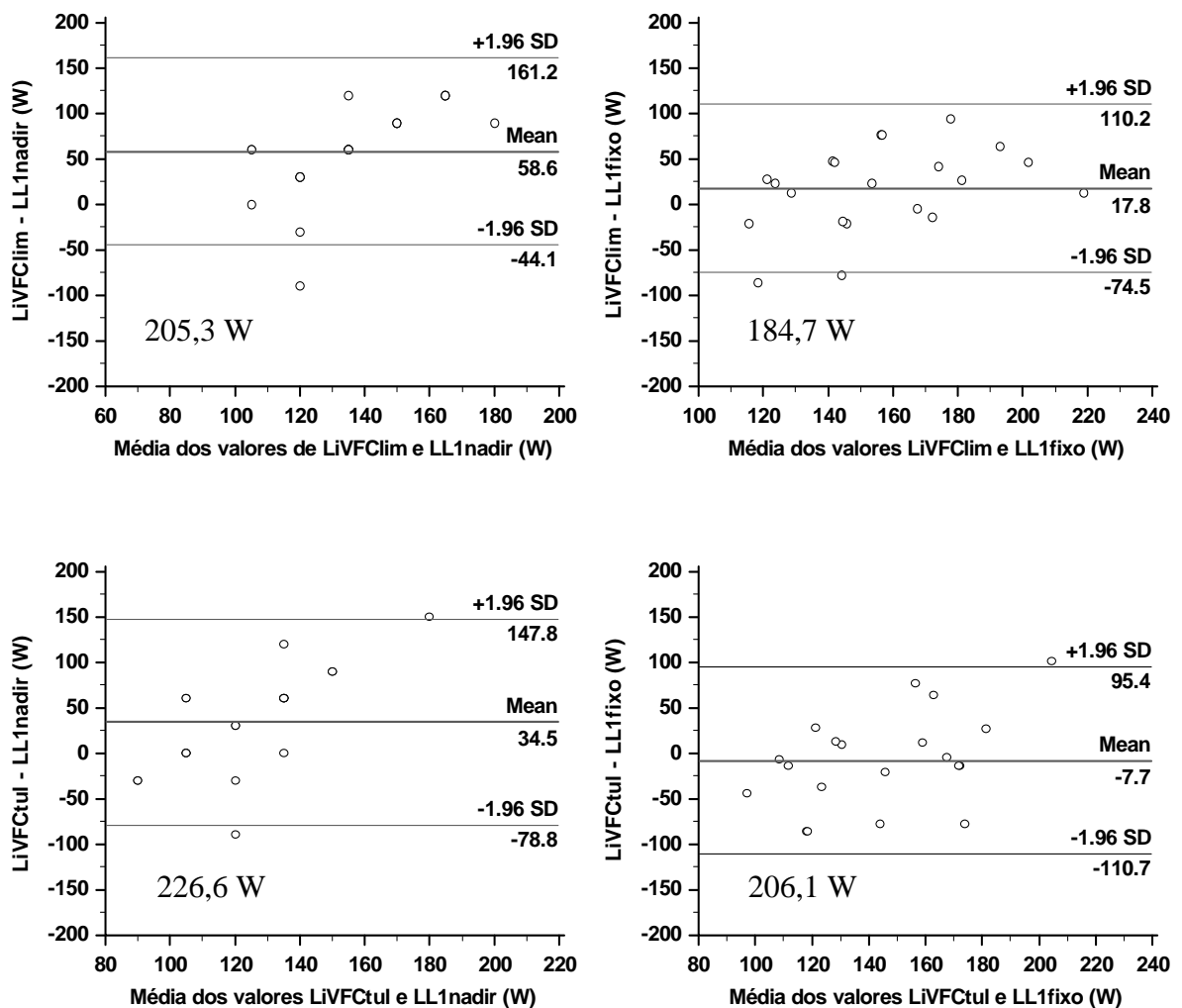


Figura 9 – Plotagem de Bland-Altman para comparação entre o primeiro LiVFC e LL, determinados por diferentes critérios no PB_{30W/1}. A linha contínua refere-se à média da diferença entre os critérios, e as linhas descontínuas, superior e inferior, representam a média da diferença $\pm 1,96$ *desvio padrão da diferença.

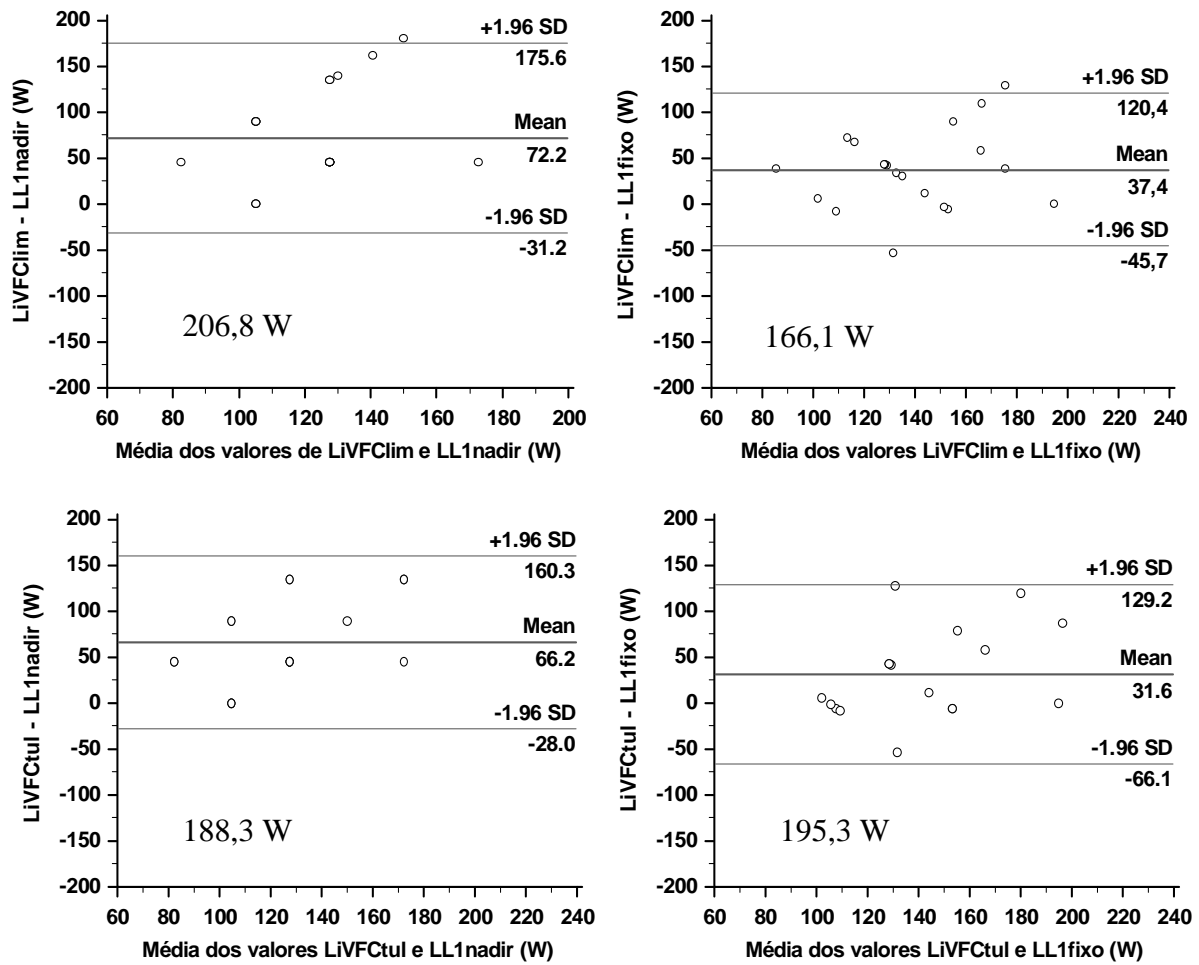


Figura 10 – Plotagem de Bland-Altman para comparação entre o primeiro LiVFC e LL, determinados por diferentes critérios no $PC_{45W/3}$. A linha contínua refere-se à média da diferença entre os critérios, e as linhas descontínuas, superior e inferior, representam a média da diferença $\pm 1,96$ *desvio padrão da diferença.

4.4.2 CRITÉRIOS

4.4.2.1 INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE CRITÉRIOS DISTINTOS NA DETERMINAÇÃO DOS $LVFC_1$ E LL_1

A figura 11 apresenta a comparação dos valores médios entre os diferentes critérios de identificação do LT_1 em cada protocolo de teste progressivo.

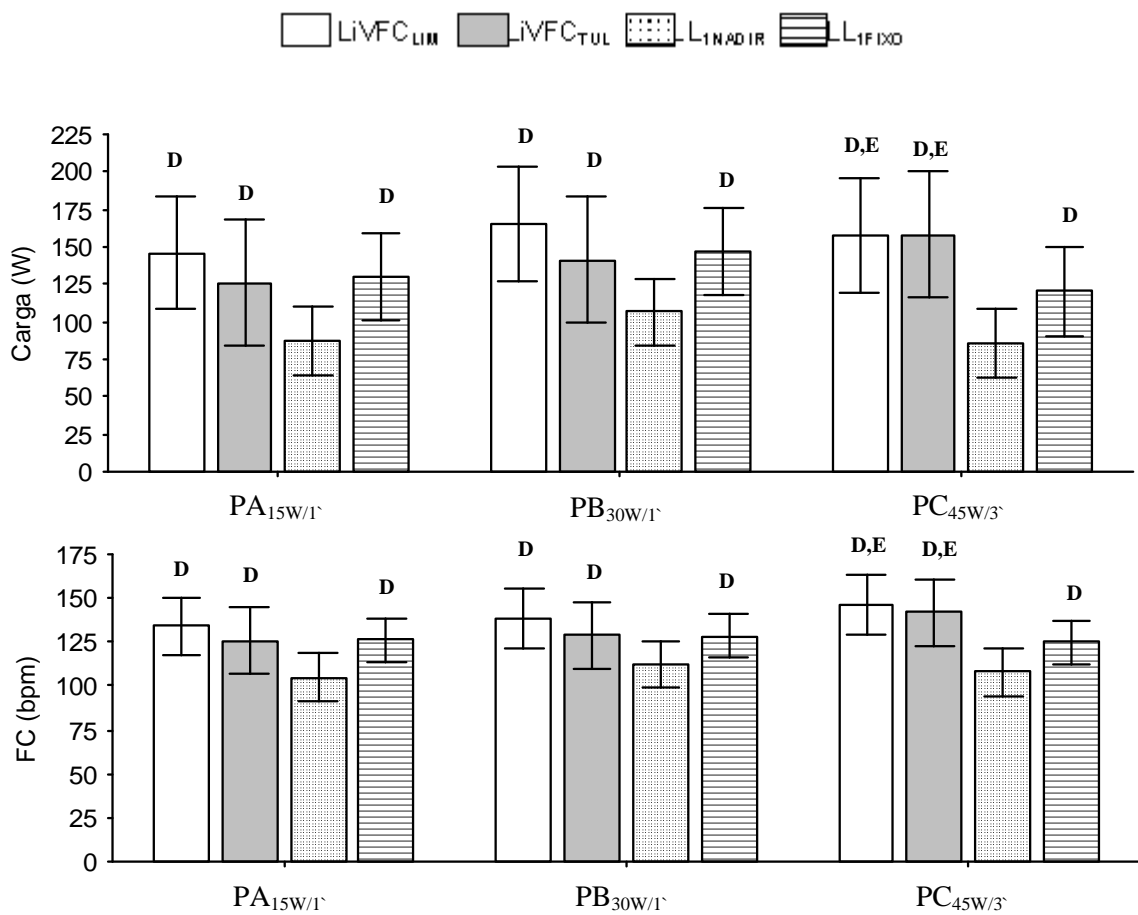


Figura 11 – Comparação entre os critérios de identificação do LT_1 para variável carga (painel superior) e FC (painel inferior) em cada protocolo de teste progressivo: ^D diferença em relação LL_{1NADIR} ; ^E diferença em relação LL_{1FIXO} ($p \leq 0,05$).

Nos três protocolos, o LL_{1NADIR} apresentou valores baixos e significativamente diferentes dos demais critérios utilizados. No $PC_{45W/3}$ o $LiVFC_1$, seja no critério de Lima (1997), e/ou Tulppo et al. (1998), foi identificado em intensidades de esforço superior e apresentou diferença significativa em relação aos dois critérios de identificação do LL_1 .

As diferenças demonstradas na figura 11 foram equivalentes para a variável C_{REL} (%) referente ao LT_1 em cada protocolo estudado. Destaca-se que nos $PA_{15W/1}$ e $PB_{30W/1}$ os dois critérios de $LiVFC$ foram similares ao LL_{1FIXO} ($p \geq 0,05$), e ainda foi verificado um grau de associação significativa entre o $LiVFC_{TUL}$ e LL_{1FIXO} ($r = 0,47$) no $PA_{15W/1}$ (tabela 7). Além disso, ambos os métodos de $LiVFC_1$ não apresentaram diferenças entre si nos três protocolos empregados.

4.4.2.2 CORRELAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS INTRA-PROTOCOLO

A tabela 7 apresenta a matriz de correlação entre os diferentes métodos de determinação do LT_1 nos três testes progressivos. Apesar de alguns valores significantes (de baixo a moderado), o índice de determinação entre os limiares foi baixo ($R^2 \leq 0,20$).

Tabela 7 – Matriz de correlação entre os diferentes métodos de determinação do $LiVFC_1$ e LL_1 em cada protocolo.

	Carga (W)			FC (bpm)		
	$LiVFC_{LIM}^{\infty}$	$LiVFC_{TUL}$	LL_{1NADIR}	$LiVFC_{LIM}^{\infty}$	$LiVFC_{TUL}$	LL_{1NADIR}
$PA_{15W/1}$						
$LiVFC_{TUL}$	0,54*	-		0,55*	-	

LL ₁ NADIR	0,23	0,45*	-	-0,11	0,12	-
LL ₁ FIXO	0,36	0,47*	0,36	-0,36	0,29	0,24
PB_{30W/1}						
LiVFC _{TUL} ^a	0,25	-		0,29	-	
LL ₁ NADIR	-0,26	-0,35	-	-0,36	-0,18	-
LL ₁ FIXO	0,20	0,11	0,58*	-0,24	0,03	0,73*
PC_{45W/3}						
LiVFC _{TUL} ^b	0,25	-		0,34	-	
LL ₁ NADIR	-0,31	0,20	-	-0,31	0,22	-
LL ₁ FIXO	0,25	0,19	0,58*	-0,20	-0,08	0,60*

^an = 19 (PA); ^an = 20; ^bn = 17 * p ≤ 0,05

4.5 COMPARAÇÃO E RELAÇÃO ENTRE DIFERENTES PROTOCOLOS E CRITÉRIOS DE IDENTIFICAÇÃO DO SEGUNDO LIMIAR DE TRANSIÇÃO FISIOLÓGICA (LT₂)

4.5.1 PROTOCOLOS

4.5.1.1 EFEITOS DOS PROTOCOLOS SOBRE O LiVFC₂

A tabela 8 mostra a comparação entre os testes progressivos para o LT₂, determinado pelo método de LiVFC₂.

Tabela 8 – Comparação dos valores de carga e FC correspondente ao LiVFC₂, entre os diferentes protocolos†.

	PA_{15W/1'}	PB_{30W/1'}	PC_{45W/3'}
LiVFC_{2LIM} (W)	204,1 ± 32,7	233,5 ± 51,2 ^a	219,4 ± 38,1
LiVFC_{2LIM} (bpm)	160 ± 15	166 ± 10	169 ± 10 ^a

†Comparação do limiar entre os protocolos: ^a diferença em relação ao PA_{15W/1'}; ^b diferença em relação ao PB; ^c diferença em relação ao PC_{45W/3'} ($p \leq 0,05$).

O LiVFC_{2LIM}, quando expresso em termos absolutos de carga, apresentou valores baixos no PA_{15W/1'} que diferiu de forma significativa daqueles obtidos nos PB_{30W/1'} e PC_{45W/3'}.

Os valores de C_{REL} no LiVFC_{2LIM} foram superiores no PC_{45W/3'} em relação ao PA_{15W/1'} e PB_{30W/1'} (85,4 ± 10,2; 79,1 ± 11,6 e 79,3 ± 11,7 %, respectivamente), além disso, a FC no PC_{45W/3'} apresentou valores maiores e com diferença significativa do PA_{15W/1'}.

4.5.1.2 EFEITOS DOS PROTOCOLOS SOBRE O LL₂

Na tabela 9 encontra-se a comparação entre os testes progressivos para os métodos de LL₂.

Tabela 9 – Comparação dos valores de carga e FC correspondente ao LL₂, entre diferentes protocolos†.

	PA_{15W/1'}	PB_{30W/1'}	PC_{45W/3'}
LL_{2FIXO} (W)	186,1 ± 26,8	207,7 ± 29,2 ^{a,c}	171,6 ± 28,9
LL_{2FIXO} (bpm)	156 ± 10	155 ± 10	152 ± 10

LL₂THO (W)	204,5 ± 32,5	183,6 ± 39,7 ^a	109,3 ± 40,0 ^{a,b}
LL₂THO (bpm)	163 ± 11	144 ± 13 ^a	118 ± 14 ^{a,b}

†Comparação de cada limiar entre os protocolos: ^a diferença em relação ao PA_{15W/1'}; ^b diferença em relação ao PB_{30W/1'}; ^c diferença em relação ao PC_{45W/3'} (p ≤ 0,05).

Para o critério LL₂FIXO, apenas a carga no PB_{30W/1'} mostrou diferença significativa em relação aos protocolos A e C, as demais variáveis derivadas deste limiar não apresentaram diferenças (C_{REL}: PA_{15W/1'} - 73,2 ± 7,6; PB_{30W/1'} - 71,4 ± 6,5; PC_{45W/3'} - 69,8 ± 7,0 %).

O LL₂THO apresentou valores maiores no PA_{15W/1'} (79,5 ± 7,6%) e diferiu significativamente dos demais protocolos (PB_{30W/1'}: 62,7 ± 9,9 %; PC_{45W/3'}: 43,8 ± 12,7), em contrapartida, no PC_{45W/3'} os valores observados, tanto para carga quanto para a FC, foram baixos em relação aos PA_{15W/1'} e PB_{30W/1'} (p ≤ 0,05).

4.5.1.3 COMPARAÇÃO DO DELTA (Δ) ENTRE OS PROTOCOLOS

Na figura 12 encontra-se a comparação do delta (Δ) obtido pela diferença entre os protocolos (ΔPAB; ΔPAC e ΔPBC) para os critérios de LT₂.

Para o Δ_{carga}, apenas no ΔPBC houve alterações similares entre o LiVFC_{2LIM} e os LL₂ (p ≥ 0,05).

No ΔPAB e no ΔPAC, os três critérios diferiram entre si. Para a variável ΔFC, a variação dos LiVFC_{2LIM} e dos LL₂ foram semelhantes no ΔPAB (p ≥ 0,05).

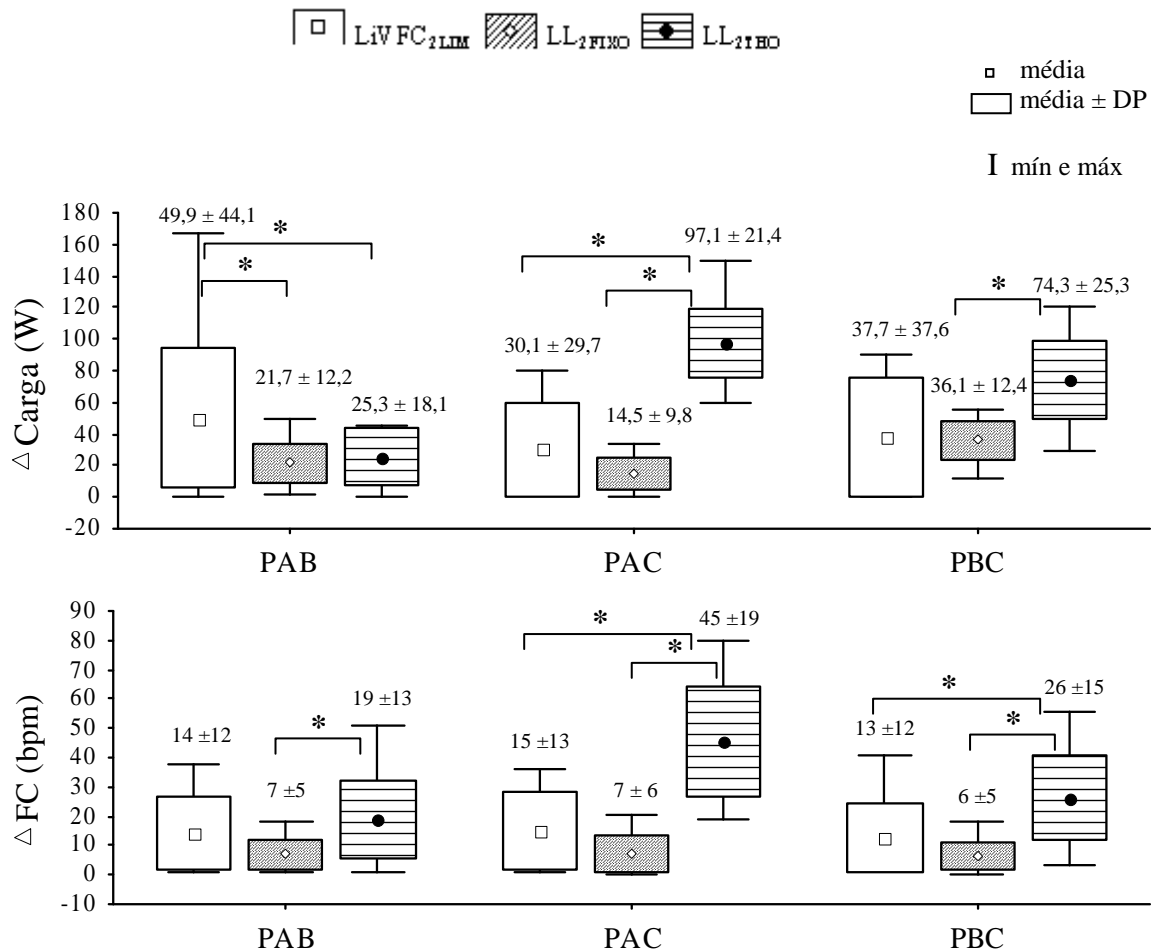


Figura 12 – Comparação do Δ carga (painel superior) e Δ FC (painel inferior) entre os métodos de LT₂ (* $p \leq 0,05$).

4.5.1.4 CORRELAÇÃO INTRA-CRITÉRIOS

A tabela 10 mostra o grau de associação intra-critérios nos diferentes protocolos de teste progressivo. As correlações são mais expressivas nas cargas dos limiares em comparação a FC.

Tabela 10 – Correlação intra-critério para o LiVFC_{2LIM}, LL_{2FIXO} e LL_{2THO}.

	PA _{15W/1'} - PB _{30W/1'}	PA _{15W/1'} - PC _{45W/3'}	PB _{30W/1'} - PC _{45W/3'}
Carga (W)			
LiVFC _{2LIM}	0,35	0,36	0,67*
LL _{2FIXO}	0,91*	0,94*	0,91*
LL _{2THO}	0,84*	0,85*	0,80*
FC (bpm)			
LiVFC _{2LIM}	0,01	-0,05	-0,01
LL _{2FIXO}	0,67*	0,66*	0,73*
LL _{2THO}	0,46*	-0,02	0,40

*p ≤ 0,05

4.5.1.5 ANÁLISE DE BLAND-ALTMAN

Na figura 13 está ilustrado o método de Bland-Altman que verifica o grau de concordância entre os diferentes critérios de obtenção do LT₂.

Observa-se que nos protocolos A, B e C, a maioria dos pontos dispersos está entre os limites de concordância (média ± 1,96 DP), entretanto, a amplitude desses limites é demasiada para se afirmar que existe equivalência entre os métodos de LiVFC_{2LIM} e LL_{2FIXO}; LiVFC_{2LIM} e LL_{2THO}.

Nos gráficos não observamos 21 pontos distintos, pois, em alguns casos os pontos estão sobrepostos e/ou o número de sujeitos para determinado critério de LT₂ foi menor.

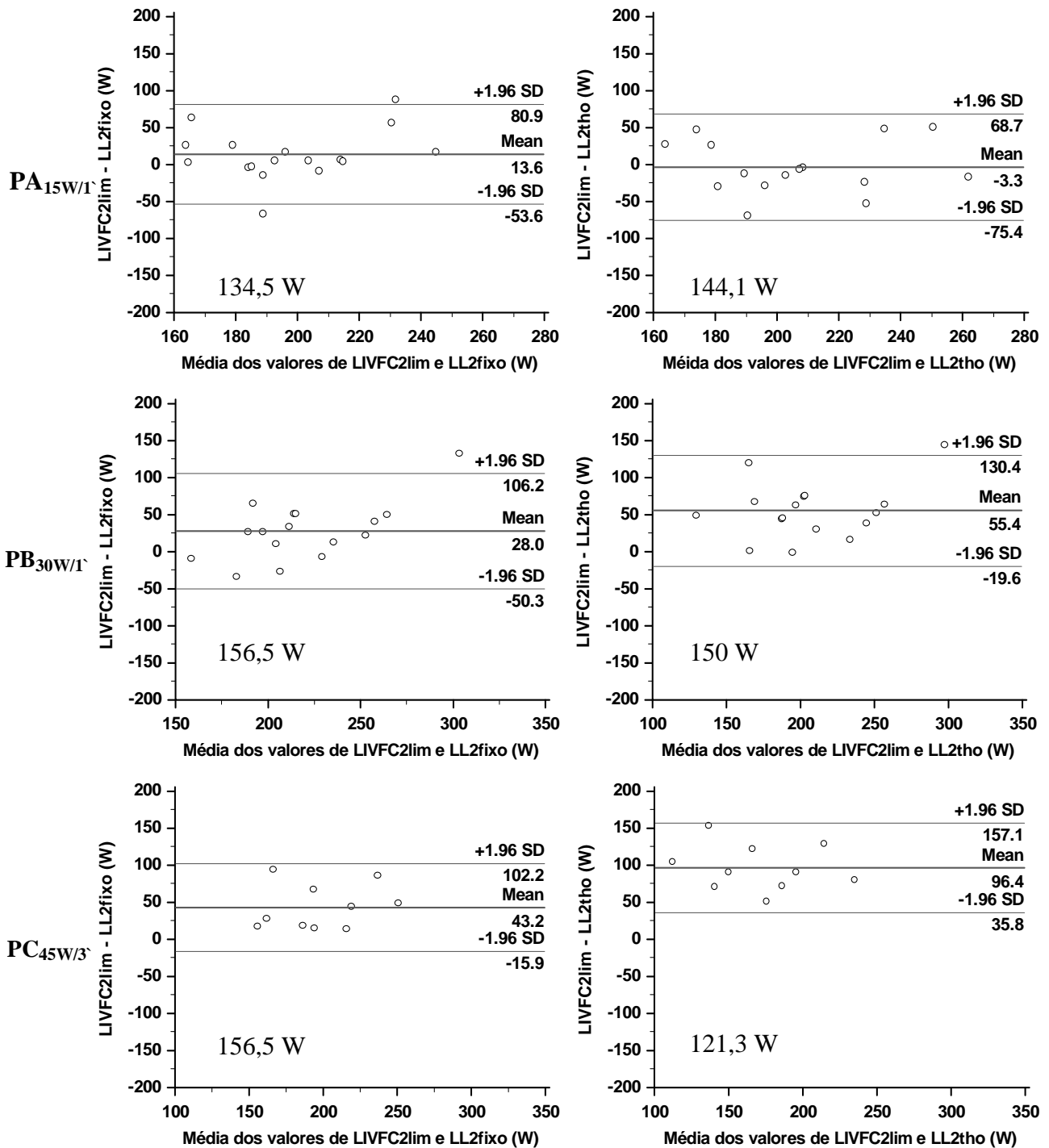


Figura 13 – Plotagem de Bland-Altman para comparação entre o segundo LiVFC e LL, determinados por diferentes critérios nos PA_{15W/1}, PB_{30W/1} e PC_{45W/3}. A linha contínua refere-se à média da diferença entre os critérios, e as linhas descontínuas, superior e inferior, representam a média da diferença ± 1.96 *desvio padrão da diferença.

4.5.2 CRITÉRIOS

4.5.2.1 INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE CRITÉRIOS DISTINTOS NA DETERMINAÇÃO DOS LIVFC₂ E LL₂

A figura 14 contém a comparação entre os diferentes critérios de identificação do LT₂ em cada protocolo.

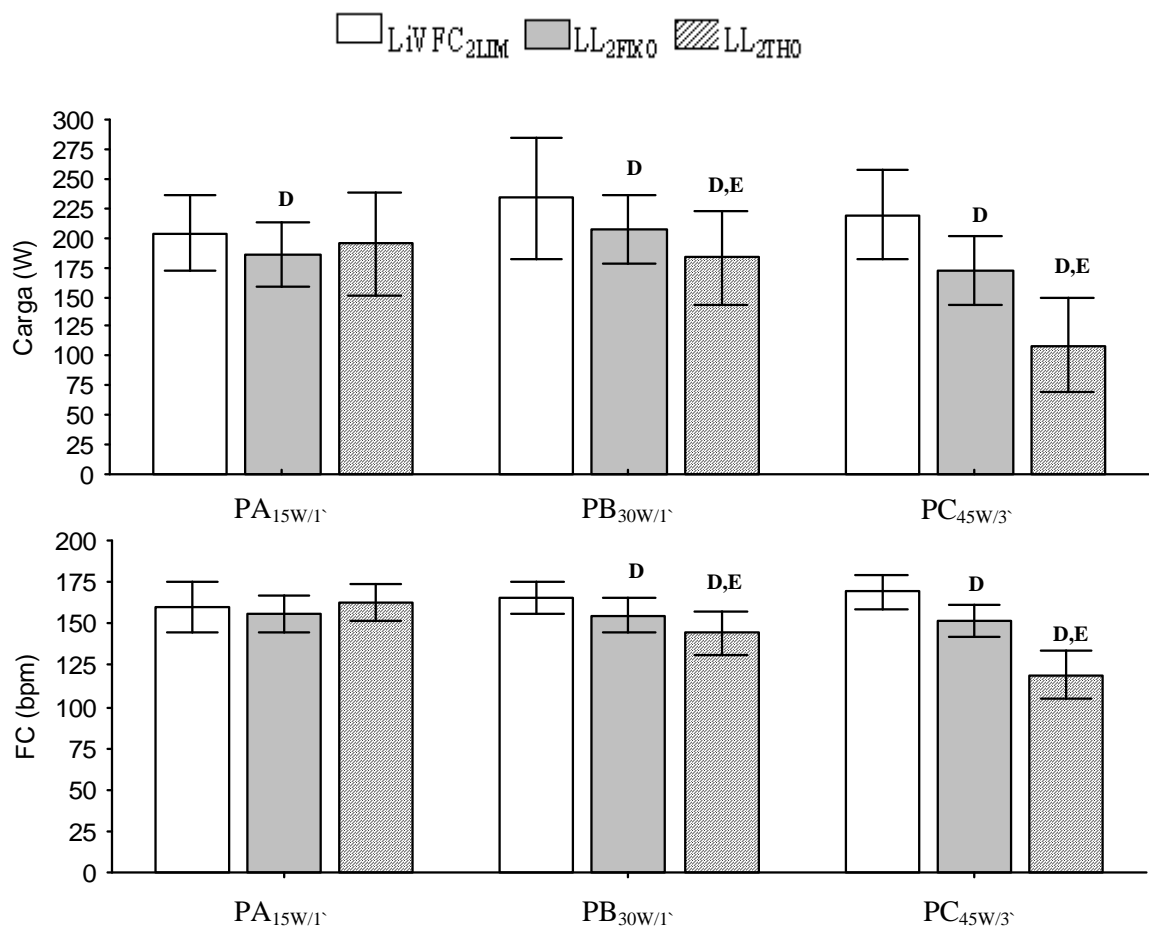


Figura 14 – Comparação entre os critérios de identificação do LT₂ para variável carga (painel superior) e FC (painel inferior) em cada protocolo de teste progressivo: ^D diferença em relação LiVFC_{2LIM}; ^E diferença em relação LL_{2FIXO} ($p \leq 0,05$).

No PA_{15W/1'}, a carga no LiVFC_{2LIM} mostrou-se equivalente ao LL_{2THO}, e superior ao LL_{2FIXO} ($p \leq 0,05$). Nos protocolos B e C o LiVFC_{2LIM}, o LL_{2FIXO} e o LL_{2THO} diferiram significativamente entre si. A intensidade de esforço relativa à C_{PICO} foi similar entre os distintos critérios no PA_{15W/1'} ($79,1 \pm 11,6$; $73,2 \pm 7,6$; $79,5 \pm 7,6$ %), porém, no PB_{30W/1'} (LiVFC_{2LIM}: $79,3 \pm 11,7$; LL_{2FIXO}: $71,4 \pm 6,5$; LL_{2THO}: $62,7 \pm 9,9$ %) e no PC_{45W/3'} (LiVFC_{2LIM}: $85,4 \pm 10,2$; LL_{2FIXO}: $69,8 \pm 7,0$; LL_{2THO}: $43,8 \pm 12,7$ %), houve diferença entre todos os critérios, sendo que o LiVFC_{2LIM} apresentou valores maiores.

4.5.2.2 CORRELAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS INTRA-PROTOCOLO

Na tabela 11, a seguir, estão apresentadas as correlações entre o LiVFC₂ e LL₂, determinados por diferentes critérios.

Tabela 11 – Matriz de correlação entre os diferentes métodos de determinação do LiVFC₂ e LL₂ em cada protocolo.

	PA _{15W/1'}		PB _{30W/1'}		PC _{45W/3'}	
	LiVFC _{2LIM} [†]	LL _{2FIXO}	LiVFC _{2LIM} ^α	LL _{2FIXO}	LiVFC _{2LIM} ^β	LL _{2FIXO}
Carga (W)						
LL _{2FIXO}	0,33	-	0,63*	-	0,65*	-
LL _{2THO} [∞]	0,43 (p = 0,11)	0,92*	0,67*	0,94*	0,72*	0,89*
FC (bpm)						
LL _{2FIXO}	0,10	-	0,30	-	-0,03	-
LL _{2THO} [∞]	0,07	0,65*	0,41	0,82*	0,09	0,44*

* $p \leq 0,05$ ([†]n = 17; ^αn = 16; ^βn = 10; / [∞]n = 20 no PA_{15W/1'}).

Nos PB_{30W/1} e PC_{45W/3}, o LiVFC_{2LIM} mostrou associação moderada e significativa com o LL_{2FIXO} e o LL_{2THO}; e ainda, pela análise de regressão verificou-se que o LiVFC_{2LIM} apresenta uma moderada capacidade de estimar o LL_{2FIXO} (PB_{30W/1}: $R^2 = 0,40$; PC_{45W/3}: $R^2 = 0,42$) e o LL_{2THO} (PB_{30W/1}: $R^2 = 0,45$; PC_{45W/3}: $R^2 = 0,52$).

Além disso, houve uma tendência de correlação do LiVFC_{2LIM} com o LL_{2THO} no PA_{15W/1} ($r = 0,43$ e $p = 0,11$). Nos três protocolos os diferentes critérios de LL₂ mostraram correlações significantes ($r = 0,44 - 0,94$).

5 DISCUSSÃO

Pesquisas na área da fisiologia do exercício têm abordado estratégias simplificadas para estimar os limiares de transição metabólica, visando facilitar a utilização desses parâmetros fisiológicos na prática de avaliação física e prescrição do exercício físico. Nesta perspectiva, os limiares de VFC ($LiVFC_1$ e $LiVFC_2$) que são obtidos a partir da análise dos intervalos R-R durante o exercício físico, têm sido alvo de recentes estudos, em especial, o primeiro $LiVFC$, indicador da transição parassimpática-simpática, e que demarca a faixa de transição entre o domínio moderado e intenso de esforço.

Inserido nesse contexto, uma das principais contribuições desta investigação está relacionada à comparação de limiares de VFC e LL através da avaliação simultânea de três protocolos ergométricos com estágios de distintas durações e amplitudes. Para nosso conhecimento, este é o primeiro estudo realizado com tal abordagem. O $LiVFC_{LIM}$ não sofreu influências das modificações dos protocolos, enquanto que, o $LiVFC_{2LIM}$ é protocolo-dependente. Por outro lado, no que se refere ao grau de associação com os LL, o segundo $LiVFC$ apresenta razoável poder discriminatório da aptidão aeróbia.

O comportamento de algumas variáveis fisiológicas tem sido analisado em resposta a aplicação de protocolos com estágios de distintas durações e incrementos. E ainda, em comparações entre diferentes formas de identificação do mesmo fenômeno, esta abordagem é baseada no pressuposto de que, se duas variáveis mantêm uma relação de causa e efeito ou se mantêm uma relação triangular, controlada ou influenciada simultaneamente (e na mesma magnitude) por uma terceira variável, as alterações no protocolo devem provocar alterações

similares e na mesma direção entre as mesmas. No que se refere aos limiares de transição fisiológica, este tipo de estudo foi empregado em comparações entre LL e LV.

Assim, a escolha do protocolo adequado depende da cinética dos parâmetros investigados. Esses aspectos influenciam a resposta de lactato, por exemplo, uma vez que é necessário um tempo para ocorrer o efluxo do lactato muscular para a corrente sangüínea. Segundo a literatura, este processo tem duração aproximada entre 1 a 7 min (JUEL e PILEGAARD, 1999; TEGTBUR, BUSSE, BRAUMANN, 1993). Neste sentido, os limiares de lactato também podem ser modificados pela duração dos estágios, sendo que algumas investigações reportam que a utilização de protocolos com estágios de curta duração (entre 1–3 min) parecem superestimar os valores referentes à intensidade de esforço nos limiares (AUNOLA e RUSKO, 1982). Em razoável conflito, enquanto alguns autores recomendam a duração mínima de 3 min para cada estágio (STEGMANN e KINDERMANN, 1982; WELTMAN, 1995), outros observam que a duração dos estágios entre 1, 2, 3 ou 5 min exerce pouca influência quando se utiliza o critério do ponto de inflexão para determinação dos limiares de lactato (McLELLAN, 1985).

Com relação às variáveis cardiovasculares, as alterações no tempo dos estágios e/ou nos incrementos também podem provocar respostas diferenciadas. Durante o exercício físico a resposta da FC apresenta um componente rápido e outro lento na elevação da FC. Nas intensidades submáximas ocorre um aumento repentino nos 10-20 s iniciais do exercício, em decorrência da retirada da atividade vagal, e logo em seguida o nervo vago retoma sua atividade no coração, resultando numa diminuição da FC ou uma tendência à estabilização. Em intensidades elevadas, acima do segundo limiar de lactato pode ocorrer um aumento mais lento da FC que será dependente da predominância da estimulação simpática sobre o nodo sinoatrial, caracterizando o componente lento da FC (MACIEL et. al., 1985; GALLO JR et al., 1995; 1999). Portanto, considerando que o tempo necessário para o ajuste da FC a carga de

trabalho imposta seja por volta de até 20s, os protocolos progressivos com estágios de duração acima de 1 min, seriam suficientes para que se atingisse uma condição de equilíbrio da FC e, por conseguinte, uma avaliação acurada da VFC.

Na presente pesquisa, utilizamos o $PA_{15W/1'}$ como protocolo de referência, pois este foi adotado inicialmente por Lima (1997) que propôs a determinação do $LiVFC_{LIM}$. Este autor reporta ainda que a utilização de estágios com intervalos de 1 min reflete com maior sensibilidade as mudanças ocorridas na VFC durante o teste progressivo. Os resultados encontrados no $PA_{15W/1'}$ mostram valores de carga elevados para o $LiVFC_{LIM}$ ($148,4 \pm 29,9$ W) comparados a estudos prévios que empregaram o mesmo protocolo: Lima (1997) – $110,5 \pm 18,5$ W, Nakamura et al. (2005) – $89,1 \pm 28,7$ W, Fronchetti et al. (2006a; 2007) – $109,3 \pm 29,3$ W e $95,3 \pm 21,9$ W. Os percentuais relativos à C_{PICO} citados nesses estudos foram ligeiramente inferiores (48 – 49 %) ao nosso resultado (58 %), porém, este se assemelha aos valores pós-treinamento do estudo de Nakamura et al. (2005) – 60 % e Fronchetti et al. (2007) – 61%.

A relação entre $LiVFC_{LIM}$ e LL_{1NADIR} observada por Lima (1997) no teste progressivo (15 W/min) não foi encontrada no presente estudo. Lima (1997) encontrou o LL_{1NADIR} ($115,0 \pm 25,4$ W; 51%) em intensidade similar ao $LiVFC_{LIM}$ ($r = 0,76$), enquanto nossos achados mostram diferenças entre esses dois métodos, sendo o LL_{1NADIR} identificado em carga de esforço inferior em termos absolutos e relativos ($87,1 \pm 19,9$ W; 34%) ao $LiVFC_{LIM}$. Assim, utilizando este LL como referência, observamos que o $LiVFC_{LIM}$ foi razoavelmente falseado como estimativa válida de LL_{1NADIR} .

Os valores relativos encontrados para o LL_{1NADIR} foram inferiores aos comumente encontrados na literatura para o LL_1 . Por exemplo, utilizando o critério fixo de 2 mM ($130,1 \pm 29,9$ W; 51%) foi encontrada equivalência aos valores de $LiVFC_{LIM}$. Todavia, embora façam parte do mesmo domínio de exercício, mostraram baixo grau de associação ($r = 0,36$)

entre si. Por outro lado, a carga no $LiVFC_{TUL}$, no $PA_{15W/1}$, apresentou associação significativa com o LL_{1NADIR} e LL_{1FIXO} ($r = 0,45$ e $r = 0,47$), porém, essa relação não repercute nos protocolos B e C. Assim, esses achados fortalecem a necessidade de cautela na utilização do $LiVFC_1$ como um bom parâmetro para estimar o LL_1 .

Com relação à influência dos protocolos, a análise dos resultados deste estudo mostrou que houve diferenças na determinação dos $LiVFC$ e LL entre os protocolos empregados. No LT_1 , essas diferenças não seguiram o mesmo padrão entre os distintos critérios estudados. Os valores de carga (absoluta e relativa) e FC no $LiVFC_{TUL}$ foram maiores no $PC_{45W/3}$ em relação ao $PA_{15W/1}$, sugerindo que a duração do estágio parece ser o fator preponderante na identificação desse método.

Por outro lado, no $PB_{30W/1}$, o LL_{1NADIR} e LL_{1FIXO} foram identificados em intensidades elevadas comparada ao PC ($p \leq 0,05$), isto indica possivelmente que o efeito combinado da duração e amplitude de incremento influenciou nesses limiares de lactato. Esses achados são compatíveis aos reportados em outros estudos, em que nos protocolos com estágios mais rápidos, os valores de carga correspondentes ao LL_1 e/ou ao LV_1 são maiores (WASSERMANN e WHIPP, 1975; FAIRSHTER et al. 1983; RIBEIRO et al., 1986; CARTA e ARU, 2001; BENTLEY e McNAUGHTON, 2003).

Por exemplo, Fairshter et al. (1983) ao testar dois protocolos em cicloergômetro, com incrementos de 16,3W a cada 15-s ou a 1-min, observaram que o LV_1 foi maior no teste com estágios de curta duração (teste 15-s: 177 W; teste 1-min: 141 W). Yoshida (1984) verificou que no protocolo com estágios de 1 min a carga no LL_1 foi superior ao protocolo com estágios mais longos de 4 min (75 vs 65 W). Ao comparar diferentes taxas de incremento (20, 30, 50 e 100 W/min) em protocolos de rampa, Davis et al. (1982) mostraram que a carga no LV_1 apresentou valores maiores em proporção ao aumento da amplitude em cada protocolo. No entanto, nesses estudos, quando os limiares foram expressos em valores de VO_2 e FC , os

valores foram similares a despeito dos diferentes protocolos testados. Os resultados da presente pesquisa também atestaram esse fato, no que diz respeito à FC nos LL_{1NADIR} e LL_{1FIXO} entre os três protocolos, e ainda para $LiVFC_{LIM}$ e $LiVFC_{TUL}$ entre os $PA_{15W/1'}$ e $PB_{30W/1'}$.

Diversos estudos de comparação entre protocolos reportam os valores dos limiares através da FC e/ou do VO_2 , e concluem que essas variáveis são reprodutíveis independentes dos protocolos utilizados. Robergs et al. (1999), por exemplo, mostraram que o LL_1 foi similar em ambos os protocolos – PA (25 W/min): $2245 \pm 455 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ e 64% do $VO_{2 \text{ máx}}$; PB (75 W/3 min): $2214 \pm 508 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ e 65% do $VO_{2 \text{ máx}}$, ou seja, essa forma de expressar indica que o estresse fisiológico é semelhante apesar dos distintos incrementos e/ou duração dos estágios. Em conformidade, nossos resultados demonstram que os LL_1 foram resistentes as alterações nos protocolos quando comparados em termos de FC, no entanto, verificaram-se diferenças ao expressar os LL_1 em carga de esforço (tabela 5). Portanto, é preciso cautela na interpretação dos limiares expressos em FC e/ou VO_2 , pois, em geral, se observam diferenças na carga referente aos limiares determinados por diferentes protocolos. Além do mais, expressar essas variáveis submáximas em termos de carga de esforço nos permite uma referência importante na aplicação prática da prescrição do exercício e do treinamento físico.

Outro aspecto que parece influenciar na consistência dos limiares de transição fisiológica em resposta a aplicação de diferentes protocolos refere-se ao critério adotado para determinação desses limiares. Na investigação de Amann, Subudhi e Foster (2004), por exemplo, se observa que a carga e o VO_2 no LV_1 determinado pelos critérios V-slope e equivalente ventilatório de O_2 (VE/VO_2) foram semelhantes, no entanto, quando se utilizou o critério quociente respiratório (RER), os valores de carga no LV_1 diferiram entre o protocolo de 25W/min e o de 50W/3min. Em contrapartida, na pesquisa de Bentley, McNaughton e Batterham (2001), a carga no LL_1 (método intersecção de retas), nos sujeitos não-atletas, foi

semelhante apesar das diferentes durações dos estágios (3 min: $193,2 \pm 15$ W e 8 min: $201,8 \pm 18,4$ W). Em nossos achados, verificou-se que ao contrário do critério de $\text{LiVFC}_{\text{TUL}}$, o de $\text{LiVFC}_{\text{LIM}}$ foi identificado em intensidades de esforço semelhantes nos três protocolos (148 a 165 W), e ainda, apresentou grau de associação significativa entre os distintos protocolos ($r = 0,58 - 0,66$), sugerindo que este critério parece não ser protocolo-dependente.

Além disso, os valores relativos para o $\text{LiVFC}_{\text{LIM}}$ não diferiram entre os três protocolos empregados (em torno de 57 a 65% da C_{PICO}), os quais foram similares a estudos prévios que o encontraram entre 45 – 60% da C_{PICO} (ALONSO et al., 1998; NAKAMURA et al., 2005). Utilizando variáveis distintas para identificar o primeiro LiVFC, o estudo de COTTIN et al. (2006a) encontrou valores a 64% da C_{PICO} , próximo aos valores aqui encontrados. Por outro lado, verificou-se que a FC no $\text{LiVFC}_{\text{LIM}}$, apresentou valores maiores no $\text{PC}_{45\text{W}/3}$ em relação ao $\text{PA}_{15\text{W}/1}$ (146 ± 21 vs 134 ± 13 bpm; $p \leq 0,05$), indicando que os estágios mais longos parecem provocar maior estresse fisiológico.

A consistência da relação entre os limiares de VFC e os LL, decorrente da aplicação de protocolos distintos, mostrou indícios favoráveis a esta relação através da análise do delta (figura 7). Observou-se que os critérios de $\text{LiVFC}_{\text{LIM}}$ e os de LL_1 , para a variável carga, apresentaram alterações semelhantes em magnitude e sentido ($p \geq 0,05$), tanto quando se testou a amplitude do incremento (ΔPAB) quanto a duração do estágio (ΔPAC). No entanto, o estágio mais longo (ΔPAC) provocou uma variação maior da carga e da FC no $\text{LiVFC}_{\text{TUL}}$ comparado aos outros critérios.

A análise de Bland-Altman é considerada uma técnica sensível para verificar a concordância entre um novo método e um método padrão (BLAND e ALTMAN, 1983; 1986). Nossos achados mostraram amplitude elevada entre os limites de concordância (figuras 8, 9 e 10), indicando baixa capacidade de estimar os LL_1 a partir dos métodos de LiVFC_1 . Esses achados corroboram o recente estudo de Cottin et al. (2006a), que ao utilizarem a

técnica de Bland-Altman para comparar o $LiVFC_1$, determinado pelo critério f_{HF} (frequência de pico do índice HF na curva de VFC) com o LV_1 , mostraram elevada amplitude entre os limites de concordância (+67,7 W e -94,7 W), evidenciando baixa concordância entre esses limiares. No entanto, quando utilizado o critério HF, f_{HF} para identificação do $LiVFC_1$, foi observado boa concordância com o LV_1 , devido à baixa média das diferenças (0,45 W) e também menor amplitude entre os limites de concordância (+24,6 W e -23,7 W), mostrando que esse critério de $LiVFC$ parece apresentar melhor acurácia para predizer o LV_1 .

Ao comparar os critérios de $LiVFC_1$ com os de LL_1 , foi observado que nos $PA_{15W/1'}$ e $PB_{30W/1'}$ os distintos métodos para LT_1 foram encontrados em carga e FC similares, com exceção do LL_{1NADIR} que apresentou valores abaixo dos demais métodos. A similaridade entre distintos critérios para determinação do LT_1 também foi observada por Dickstein et al. (1990) que compararam as determinações dos LL_1 e LV_1 realizadas por três métodos: inspeção visual; regressão linear para VCO_2 vs. VO_2 e transformação $\log [La]$ vs. $\log [VO_2]$; e valor fixo de $RER = 1$ e $[La] = 2 \text{ mmol.l}^{-1}$. Os resultados indicaram que os métodos de identificação do LL_1 são equivalentes, assim como, aqueles para o LV_1 , além do mais, o coeficiente de correlação foi de moderado a alto (para os critérios de LL_1 $r = 0,70 - 0,89$; critérios de LV_1 $r = 0,82 - 0,87$; e entre o LL_1 e o LV_1 $r = 0,69 - 0,81$).

Por outro lado, no $PC_{45W/3'}$ os $LiVFC_{LIM}$ e $LiVFC_{TUL}$ (157,9 W e 142 -146 bpm) foram maiores que os LL_1 (LL_{1NADIR} : 85,7 W e 108 bpm; LL_{1FIXO} : 120,5 W e 125 bpm). Portanto, parece que a relação entre os $LiVFC_1$ e o LL_{1FIXO} foi enfraquecida com o aumento da duração do estágio de 1 min para 3 min, sugerindo a dissociação entre esses limiares. A influência da duração do estágio nesta relação também é sustentada pela análise do delta (figura 7) e da plotagem de Bland-Altman (figuras 8, 9 e 10). Na investigação de Aunola e Rusko (1982) foram encontrados valores maiores para o LV_1 comparados ao LL_1 , seja nos estágios com 1, 2 e/ou 4 min de duração. Entretanto, quando utilizaram o critério combinado (análise das curvas

ventilatória e de lactato, simultaneamente) para identificação do LT_1 , verificaram que o protocolo com estágios mais curtos apresentou valores elevados em relação aos demais protocolos.

Em divergência, utilizando um protocolo com estágios de 25 W a cada 3 min e metodologias de determinação dos limiares diferentes da presente pesquisa, Karapetian, Engels e Gretebeck (2008), investigaram a possibilidade de estimar o primeiro limiar de lactato e o ventilatório através da variabilidade da frequência cardíaca durante exercício progressivo. Os autores verificaram que o limiar de VFC além de não diferir dos demais limiares, apresenta correlação significativa ao LL_1 ($r = 0,82$) e ao LV_1 ($r = 0,89$), e ainda, boa concordância com estes métodos avaliada através da plotagem de Bland-Altman. Neste estudo, se observa valores elevados para o LL_1 (3 a $3,8 \text{ mmol.l}^{-1}$), sendo questionável se realmente seriam um bom índice deste primeiro limiar de transição, uma vez que, esses valores não foram anteriormente descritos na literatura para este tipo de grupo e ergômetro.

Importante salientar que, apesar dos dados favoráveis para utilização do LiVFC, foi utilizado o VO_2 correspondente a cada limiar para todas as análises estatísticas, e, portanto, como discutido anteriormente seria interessante obter essas análises também em carga de esforço referente a cada limiar, pois, como também observado em nosso estudo, variáveis internas, como a FC, tendem a ser mais resistentes a modificações de protocolos.

No presente estudo, os valores relativos à C_{PICO} foram semelhantes, para os diversos critérios adotados, na faixa entre, 48,8 – 65,2%, considerando os três protocolos, exceto para o LL_{1NADIR} , corroborando estudos anteriores, que também encontraram o LT_1 (métodos de lactato, ventilatório, VFC) nesta proporção da C_{PICO} e/ou do VO_{2PICO} (LIMA, 1997; ALONSO et al., 1998; NAKAMURA et al., 2005; FRONCHETTI et al., 2006a; COTTIN et al. 2006a,b; FRONCHETTI et al., 2007). Apesar do $LiVFC_1$ e do LL_1 pertencerem à mesma faixa de transição entre o domínio moderado e intenso de exercício, esse fato não indica uma relação

causal entre ambos, possivelmente o aparecimento desses limiares está associado ao aumento da maior estimulação do sistema nervoso e dos níveis de catecolaminas durante o exercício.

Está bem documentado na literatura que a liberação de noradrenalina e adrenalina aumenta em proporção à intensidade e duração do exercício físico, influenciando as respostas metabólicas e cardiovasculares. A adrenalina, sobretudo, é o principal ativador do incremento na glicogenólise muscular, que propicia o aumento na produção e liberação do lactato para o sangue. Do mesmo modo, no sistema cardiovascular, a elevação da estimulação simpática e, por conseguinte a liberação das catecolaminas provoca o aumento da FC, e redução dos intervalos R-R (CHRISTENSEN e GALBO, 1983; MEYER et al., 1988; MAZZEO e MARSHAL, 1989). A associação entre catecolaminas e a produção de lactato, por exemplo, tem sido observada em experimentos com animais, através da infusão de adrenalina, acarretando aumento nas concentrações de lactato sanguíneo, assim como pelo bloqueio β -adrenérgico que reduz o aparecimento desse metabólito (ISSEKUTZ, SHAW, e ISSEKUTZ, 1976; ISSEKUTZ, 1984). Essa relação também foi suportada em estudos com humanos, durante exercício progressivo, em que se observou alto grau de associação entre as concentrações de adrenalina e lactato, além de verificar que o limiar de adrenalina e o de lactato são identificados em similar faixa de transição (LEHMANN et. al., 1981; MAZZEO e MARSHAL, 1989; URHAUSEN et al., 1994).

Em adição, outros estudos reportam a relação existente entre os níveis de catecolaminas e a FC, tanto na situação de repouso quanto durante o exercício (SCHEUER e TIPTON, 1977; MEYER et al., 1988), e ainda relação inversa entre noradrenalina e VFC (KIENZLE et al., 1992; NAKAMURA et. al., 1993). Breuer et al. (1993), encontraram redução acentuada da VFC concomitante ao aumento nas [La] durante o exercício com infusão de catecolaminas, mostrando que o aumento das catecolaminas circulantes também pode influenciar no controle autonômico da FC.

Desse modo, na presente investigação especula-se a existência de uma relação triangular entre os $LiVFC_1$ e LL_1 , à medida que alguns mecanismos de regulação controlam de forma simultânea as respostas cardiovasculares e de lactato, sem estabelecer necessariamente, uma relação de causa e efeito entre as mesmas.

Dentre os diferentes métodos estudados para a determinação do LT_1 , encontrou-se uma correlação moderada e significativa apenas do $LiVFC_{TUL}$ com o LL_{1NADIR} e o LL_{1FIXO} ($r = 0,45$ e $0,47$), no $PA_{15W/1}$, sugerindo que o método de Tulppo et al. (1998) parece discriminar melhor a aptidão aeróbia comparado ao método de Lima (1997). Entretanto, através do coeficiente de regressão, verificou-se que o $LiVFC_{TUL}$ superestima em 21 e 22% os LL_{1NADIR} e LL_{1FIXO} , respectivamente, mostrando baixa capacidade de predição. O $LiVFC_{LIM}$, por sua vez apresentou baixa correlação com os LL_1 . Estas observações contradizem os achados de Lima (1997), onde avaliando sujeitos fisicamente ativos em protocolo similar ao $PA_{15W/1}$, mostrou que o $LiVFC_{LIM}$ ocorre em cargas similares ao LL_{1NADIR} , e ainda estes apresentam grau de associação significativo ($r = 0,76$).

Em outra pesquisa avaliando *mountain bikers*, em teste progressivo (30W/3min) o $LiVFC_{LIM}$ também foi encontrado em cargas coincidentes ao LL_{1NADIR} ($169,0 \pm 56,0$ e $192,7 \pm 21,0$ W, respectivamente), já o $LiVFC_{TUL}$ apresentou valores inferiores ($149,1 \pm 27,7$ W), porém, ambos os critérios de $LiVFC$ apresentaram baixo grau de associação com o LL_{1NADIR} ($r = -0,35$; $-0,28$) (FRONCHETTI et al., 2006b). Dessa forma, parece que o tipo de protocolo e o nível de aptidão física podem influenciar a relação entre os limiares cardíacos e metabólicos. Modificações decorrentes da influência do protocolo sobre a relação entre diferentes métodos de LT_1 foi documentada por Aunola e Rusko (1982) em que o protocolo com incrementos de 2 min foi o que possibilitou o maior coeficiente de correlação entre LL_1 e LV_1 ($r = 0,81$) comparado aos estágios de 1 min ($r = 0,74$) e 4 min ($r = 0,79$) de duração.

O modelo tradicionalmente aceito para validação de variáveis fisiológicas engloba um conjunto de evidências estatísticas entre parâmetros indicativos do mesmo fenômeno. Dentre os protocolos e critérios abordados nesta investigação, e com base no número de identificações dos limiares, comparações da média e do delta, e apesar do baixo poder de estimativa dos LL_1 observados na análise de correlação, regressão e plotagem de Bland-Altman, pode-se fazer inferências a favor da utilização do protocolo com estágios de 30 W/1` e do critério $LiVFC_{LIM}$ como ferramentas metodológicas promissoras para uma avaliação acurada da transição parasimpático-simpática durante o exercício progressivo.

Em síntese, no que diz respeito ao LT_1 , os resultados mostraram que o critério de $LiVFC_{LIM}$ não é protocolo-dependente, e as alterações nos protocolos não afetam a relação deste critério com os LL_1 , enquanto que a maior duração do estágio provoca uma variação divergente do $LiVFC_{TUL}$ comparado aos demais métodos de LT_1 . Além disso, observou-se que embora os limiares cardiovasculares e metabólicos façam parte do mesmo domínio fisiológico, o grau de associação é baixo e, portanto, a utilização do $LiVFC$ como discriminador do LL_1 deve ser adotada com cautela.

Com relação ao LT_2 , apesar de alguns estudos realizados com o $LiVFC_2$, ainda não está bem estabelecido se a identificação deste é um fenômeno fisiológico ou um artefato. Estudos mostraram que o $LiVFC_2$ pode estimar o LV_2 (COTTIN et al. 2006a, b; BUCHHEIT, SOLANO, MILLET, 2007) e o PDFC (ABAD et al. 2007).

Durante o exercício físico as alterações na FC e VFC são acompanhadas por modificações paralelas na resposta ventilatória. Esta interação cardiorrespiratória é mediada pela arritmia sinusal respiratória (ASR) que descreve as mudanças cíclicas da FC associadas à respiração, e está relacionada às flutuações do tônus vagal. Assim, em altas intensidades de exercício (faixa de identificação do LT_2), ocorre o aumento acentuado da frequência respiratória (FR) que provoca aumento na amplitude da ASR e conseqüentemente um

aumento no componente HF da análise espectral (indicador da VFC) em sincronia com a FR, independente da modulação autonômica. Por outro lado, o pressuposto de ligação entre o LiVFC₂ e o LL₂ estaria pautado numa terceira variável – estimulação adrenérgica acentuada e níveis elevados de catecolaminas circulantes – que provoca efeitos cardiovasculares e metabólicos simultâneos (CHRISTENSEN e GALBO, 1983; MEYER et al., 1988; BREUER et al. 1993).

A presente pesquisa, no que diz respeito à análise do LiVFC₂, funciona como uma investigação preliminar, e, portanto, são necessários estudos adicionais para aperfeiçoar o método de identificação deste limiar e a partir daí verificar sua consistência como indicador do segundo limiar de lactato.

Na análise do LT₂, os LiVFC_{2LIM} e LL_{2FIXO} mostraram maiores valores no PB_{30W/1'} em relação ao PA_{15W/1'} indicando que a taxa de incremento parece protelar a identificação desses limiares. Por outro lado, o LL_{2THO} foi identificado em carga maior no PA_{15W/1'} em relação aos demais protocolos, evidenciando os efeitos tanto da amplitude quanto da duração do estágio na determinação desse critério. A influência da amplitude do incremento sobre limiares fisiológicos foi reportada por Weston et al. (2001) que avaliando ciclistas, verificaram que os diferentes incrementos (10, 30 e 50 W.min⁻¹) em protocolo de rampa, modificaram a identificação do LV₂ quando expresso em carga, sendo que quanto maior o incremento maior a intensidade de esforço referente a este limiar (292, 329 e 352 W, respectivamente). Resultados similares foram apontados por Coen et al. (2001), em testes na esteira ergométrica. Os autores observaram que em relação ao LL₂, seja pelo critério fixo de 4 mM ou pelo IAT (*Individual Anaerobic Threshold*), o incremento de 2 km.h⁻¹ propiciou a identificação desses limiares em carga de esforço superior, comparado ao protocolo com incrementos de 1 km.h⁻¹.

Em termos relativos à C_{PICO}, o LiVFC_{2LIM} foi encontrado a 85% no PC_{45W/3'} e a 79% nos PA_{15W/1'} e PB_{30W/1'} ($p \leq 0,05$). Além disso, o grau de associação intra-critério foi

significante ($r = 0,67$) apenas entre os $PB_{30W/1'}$ e $PC_{45W/3'}$. Em contrapartida os LL_2 apresentaram correlação forte e significativa entre os três protocolos (LL_{2FIXO} $r = 0,91 - 0,94$; LL_{2THO} $r = 0,80 - 0,85$). Desse modo, as alterações nos protocolos modificam a intensidade de identificação do $LiVFC_{2LIM}$ da mesma forma que ocorre com os LL_2 ; no entanto, essas parecem gerar maior interferência na consistência do $LiVFC_{2LIM}$, restando a realização de futuros estudos para esclarecer as possíveis razões para tal situação.

Através da análise do delta (Δ) entre os protocolos (figura 13), verificou-se que a magnitude das alterações, decorrentes da influência da taxa de incremento (ΔPAB) e/ou duração dos estágios (ΔPAC), no $LiVFC_{2LIM}$ não acompanharam aquelas ocorridas nos LL_{2FIXO} e LL_{2THO} , ou seja, as modificações na amplitude e/ou duração dos estágios afetam as respostas do $LiVFC_{2LIM}$.

Nossos resultados, por meio da ANOVA, apontam evidências de equivalência entre o $LiVFC_{2LIM}$ e o LL_{2THO} , no $PA_{15W/1'}$. Entretanto, ao se utilizar a técnica de Bland-Altman, verificou-se que a média das diferenças entre esses limiares apresentou baixa capacidade de concordância, devido à elevada amplitude dos limites de concordância (+68,7 – -75,4 W). Do mesmo modo, nos $PB_{30W/1'}$ e $PC_{45W/3'}$, a estimativa dos critérios de LL_2 através do $LiVFC_{2LIM}$ também se mostrou fraca, sugerindo que o $LiVFC_{2LIM}$ parece não ser um bom preditor dos LL_2 . A pesquisa de Cottin et al. (2006a) mostrou que a concordância entre o $LiVFC$ e o LV , parece ser depende do critério utilizado para a determinação do $LiVFC_2$, pois, para o método $HF.f_{HF}$ vs LV_2 , encontraram pequena variação na média das diferenças entre essas variáveis, além de, estreita magnitude entre o limite de concordância superior e inferior, indicando boa predição do limiar ventilatório através do limiar cardiovascular. Por outro lado, utilizando o método f_{HF} vs LV_2 , os resultados foram opostos.

No que se refere ao critério fixo de LL_2 no $PB_{30W/1'}$, além da amplitude do incremento a duração do estágio exerce influência, à medida que se observa valores elevados também

quando comparados ao $PC_{45W/3}$ com estágios de longa duração. Coen et al. (2001), verificaram que o critério de 4 mM é sensível às modificações da duração e amplitude do estágio. Os achados da presente pesquisa são suportados pelo estudo de Yoshida (1984) que aplicando protocolos incrementais em cicloergômetro com estágios de 1 e 4 min, também utilizou o critério fixo (4mM) para determinar o LL_2 , e observou que a intensidade de esforço no LL_{2FIXO} foi maior nos estágios com menor duração: 177, 5 vs 144 W ($p < 0,05$). Contudo a duração dos estágios não interfere na identificação do LL_2 quando expresso em valores de VO_2 .

É importante ressaltar que as [La] são tempo-dependente e, portanto, estágios de curta duração resultam em um aparecimento atrasado de lactato no sangue, e por conseqüência superestimam os valores das intensidades de exercício referentes aos limiares, principalmente quando se adotam valores fixos para sua determinação (RIBEIRO et al., 1986; DENADAI 1995). A concentração fixa de lactato sanguíneo de 4 mM é um dos métodos mais utilizados como referência, e sua utilização se justifica por corresponder a máxima fase estável entre a produção e a remoção de lactato (MSSL) em teste realizado em esteira ergométrica (HECK et al., 1985). No entanto, existem divergências quanto à [La] referentes à MSSL, mesmo na pesquisa de Heck et al. (1985), encontra-se uma variação individual entre 3,05 – 5,5 mM, o que implicaria um equívoco na prescrição do exercício ao se adotar a referência de 4 mM, pois os indivíduos submetidos à intensidade correspondente a esta concentração não estariam se exercitando efetivamente no limiar, mas possivelmente acima ou abaixo deste.

Em virtude das divergências e limitações do critério fixo na identificação do LL_2 , algumas propostas de individualização são citadas na literatura (STEGMANN, KINDERMANN, SCHNABEL, 1981; THODEN, 1991; BALDARI e GUIDETTI, 2000). Thoden (1991) propôs identificar o LL_2 na carga que precede dois aumentos consecutivos, superiores ou iguais a $1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, para avaliar atletas de alto rendimento. Nicholson e Sleivert

(2001) compararam a velocidade de limiar em corrida entre os métodos D_{máx}, 4 mM e o limiar de lactato proposto por Thoden (1991), e encontraram o método fixo em velocidade maior aos demais métodos e também à velocidade nos 10 km de corrida. Por outro lado, os métodos LL_{2THO} e o D_{máx} apresentaram intensidades similares entre si e ainda com os 10 km ($r = 0,78 - 0,86$), sugerindo que esses métodos têm maior relação com o desempenho. Os resultados provenientes dessa pesquisa corroboram parcialmente os nossos, uma vez que que no PB_{30W/1'} e PC_{45W/3'} o LL_{2FIXO} superestimou a carga no limiar quando comparado ao LL_{2THO}.

Ao comparar os diferentes métodos de identificação do LT₂, nos diferentes protocolos, verificou-se que o LiVFC_{2LIM} apresentou cargas maiores em relação ao LL_{2FIXO}, nos três protocolos empregados ($p \leq 0,05$). No estudo de ABAD (2006), apesar do LiVFC₂ apresentar tendência de valores maiores em relação ao critério fixo de 3,5 mM para o LL₂ (240 ± 47 vs 208 ± 56 W), não houve diferença estatisticamente significante entre o método cardiovascular e o metabólico de identificação do LT₂. No entanto, devido ao baixo grau de associação ($r = -0,12$), coloca-se em dúvida o poder discriminatório da aptidão física através do LiVFC₂.

Os nossos resultados apontaram semelhanças apenas no PA_{15W/1'}, entre a carga de exercício referente aos LiVFC_{2LIM} e LL_{2THO}, além do que esses critérios apresentaram uma tendência de associação ($r = 0,43$; $p = 0,11$). Essa relação se fortaleceu nos protocolos B e C ($r = 0,67$ e $r = 0,72$), e ainda observou-se que nesses protocolos o LiVFC_{2LIM} prediz entre 40 a 52% os LL₂. Desse modo, apesar de nos protocolos B e C estarem em intensidades distintas, existem indícios de que o LiVFC_{2LIM} parece ser discriminador da aptidão aeróbia. Possivelmente, a explicação para essa relação está associada à estimulação adrenérgica exacerbada e ao comportamento das catecolaminas circulantes que aparecem em concentrações elevadas nessa intensidade de exercício, influenciando de forma mais

acentuada tanto as respostas cardiovasculares quanto as metabólicas (CHRISTENSEN e GALBO, 1983; MEYER et al., 1988; BREUER et al. 1993).

Entretanto, quando os valores do LT_2 foram expressos em cargas relativas, os métodos $LiVFC_{2LIM}$, LL_{2FIXO} e LL_{2THO} , no $PA_{15W/1}$, encontraram-se na mesma faixa de transição (~73 – 79% da C_{PICO}). Tokmakidis et al. (1998) compararam vários métodos e critérios para identificar o LL_2 , e verificaram que a intensidade correspondente a este limiar está entre 79 a 91% da C_{PICO} , e ainda, embora exista uma ampla variação dependente do critério utilizado, todos esses são altamente correlacionados entre si ($r > 0,92$) e com o desempenho na corrida dos 10, 15, 20 e 42 km ($r = 0,83 - 0,98$). Além disso, os achados obtidos neste estudo concordam com recentes pesquisas, que apesar das distintas metodologias para determinar o $LiVFC_2$, têm o encontrado entre 72 – 85% da C_{PICO} em adultos (COTTIN et al., 2004; ABAD, 2006; COTTIN et al., 2006a, b) e a 89% do $VO_{2MÁX}$ em adolescentes. (BUCHHEIT, SOLANO, MILLET, 2007).

Cottin et al. (2006a), estudando ciclistas e triatletas encontraram o LT_2 determinado pelos métodos de VFC ($HF.f_{HF}$) e ventilatório (VE/VO_2 , VE/VCO_2) em intensidades equivalentes de esforço (294 vs 293 W; $r = 0,95$). Buchheit, Solano e Millet (2007), avaliando adolescentes durante teste progressivo em esteira, verificaram que o $LiVFC_2$ foi semelhante ao ponto de deflexão da FC (PDFC) e ao LV_2 , e ainda os distintos critérios para determinação do LT_2 mostraram associação significativa entre si ($r = 0,63 - 0,88$). Esses estudos mostraram a possibilidade de determinar o LT_2 através da análise da VFC, sendo a hiperventilação a principal responsável pelo aparecimento do $LiVFC_2$, devido aos efeitos mecânicos sobre o coração que induz o aumento dos intervalos R-R em intensidades de exercício acima do LT_2 .

Abad et al. (2007), investigando a possibilidade de encontrar o segundo $LiVFC$, verificaram que a velocidade de ocorrência foi semelhante ao PDFC, além de apresentarem correlação significativa ($r = 0,69$). Por conseguinte, sugeriram a identificação de domínios de

esforço também pela análise da curva de VFC, modelo originalmente proposto por Gaesser e Poole (1996) com variáveis ventilatórias e $[La]$, consistindo de três fases de intensidade, delimitada pelos LT_1 e LT_2 . Importante ressaltar que, a transição do domínio intenso para o severo, pode demarcar tanto a exacerbada atividade simpática no controle da FC, fazendo com que os valores de VFC tendem a zero (LIMA, 1997; ABAD, 2007), ou então, uma segunda inflexão na curva de VFC, com aumento dos índices de VFC decorrente da acentuada hiperventilação que modifica o ritmo intrínseco cardíaco e altera o controle da FC, aumentando os valores de VFC independente de uma ação autonômica (COTTIN et al., 2006a, b; BUCHHEIT, SOLANO, MILLET, 2007).

Com relação à determinação do $LiVFC_2$, ainda existem algumas controvérsias, à medida que em altas intensidades de esforço existe tendência a extinção do estímulo parassimpático, porém, alguns estudos têm mostrado aumento nos índices de VFC, determinados pela análise espectral. Perlini et al. (1995) relatam que em coelhos anestesiados, vagotônicos, e sob bloqueio dos receptores β -adrenérgicos, persistiu um resíduo de ASR, indicando que existe um mecanismo intrínseco dependente de parâmetros ventilatórios que podem modificar o controle da FC independente da modulação autonômica.

Em concordância, Casadei et al. (1996), verificaram em homens, jovens e saudáveis, submetidos a exercício sob condições de bloqueio da atividade parassimpática, que a VFC é reduzida, porém a ASR é aumentada devido aos mecanismos não-neurais. Normalmente, a relação LF/HF, que indica o balanço simpatovagal, é aumentada durante o exercício, e esta condição se mantém mesmo com o bloqueio autonômico, entretanto, em altas intensidades de exercício o índice LF/HF diminui ou permanece constante devido ao mecanismo não-neural que parece superestimar a atividade vagal, uma vez que, nesta situação a variação dos intervalos R-R estaria grandemente reduzida.

Contudo, o comportamento da VFC em intensidades acima do LT_2 parece decorrente de um mecanismo não-neural, sensível às alterações da ventilação e da frequência respiratória, que influenciam o mecanismo intrínseco do coração, provocando alterações no estiramento atrial em resposta ao retorno venoso, e, por conseguinte, reduzindo a taxa de aumento da FC e aumentando os intervalos R-R, independente da estimulação do sistema nervoso autônomo (CASADEI, 1996; PICHON et al., 2004; BUCHHEIT, SOLANO, MILLET, 2007).

O método matemático para identificação do $LiVFC_2$ adotado na presente pesquisa parece ser limitado para identificação deste, à medida que o número de identificações foi de 81% no $PA_{15W/1}$, 76% no $PB_{30W/1}$, e no protocolo C com duração de 3 min esse percentual foi ainda mais reduzido (48%). Entretanto, não adotamos o critério fixo de 2 ms (ABAD et al., 2007), pois apesar da aparente estabilização na cinética da VFC nas intensidades do LT_2 , os resultados não apresentaram valores com tendência à zero, ao contrário, foi observada uma variação nos valores de VFC nas intensidades a partir do LT_2 até a exaustão entre 0,8 – 4 ms no $PA_{15W/1}$; 0,9 – 4 ms no $PB_{30W/1}$; e 1 – 4,6 ms no $PC_{45W/3}$. Alguns estudos analisam os limiares de VFC através dos índices espectrais (HF – ação parassimpática), nesta metodologia observa-se que a curva de VFC apresenta dois pontos de quebra que coincidem com os LV_1 e LV_2 , sendo que no segundo ponto de quebra ocorre incremento da VFC e da frequência respiratória de forma simultânea (COTTIN et al., 2006a, b; BUCHHEIT, SOLANO, MILLET, 2007). Entretanto, observamos na literatura que o método da análise espectral não seria o mais indicado para avaliar a VFC quando não ocorre um sinal estacionário, como por exemplo, durante o exercício físico. Assim, nessa situação a plotagem de Poincaré, fornece uma informação mais acurada da VFC (TASK FORCE ESP AND NASPE, 1996; TULPPO et al., 1996; HUYKURI et al., 1999). Além disso, quanto aos dados aqui encontrados na faixa de esforço do domínio severo não se observou um incremento acentuado na curva de VFC

(índice SD1- plotagem de Poincaré), possivelmente devido a este indicador de VFC sofrer menor interferência da frequência respiratória comparado aos índices da análise espectral. Desse modo, se faz necessário estudos adicionais para aprimorar os métodos de identificação deste segundo LiVFC e verificar a sua consistência para predição do LT_2 .

Em virtude dos aspectos anteriormente abordados, verificamos que o $LiVFC_{2LIM}$ parece ser protocolo-dependente, e ainda, as modificações na amplitude do protocolo alteram a relação deste método com os dois critérios de LL_2 , enquanto que a maior duração do estágio afeta a relação apenas com o LL_{2THO} . Além do mais, apesar do $LiVFC_{2LIM}$ diferir de forma significativa dos métodos de LL_2 , se mostra um bom discriminador da aptidão aeróbia.

6 CONCLUSÕES

Com base no que foi discutido, pode-se concluir que:

- a aplicação de diferentes protocolos de teste apontou o critério de $\text{LiVFC}_{\text{LIM}}$ como variável não protocolo-dependente, enquanto que, para o LT_2 , o $\text{LiVFC}_{2\text{LIM}}$ parece ser protocolo-dependente;
- a relação entre os limiares cardiovascular e metabólico, a partir das alterações nos protocolos de teste, parece ser mais consistente no que se refere ao LT_1 do que ao LT_2 ;
- ao comparar os distintos critérios de identificação do LT_1 , foram encontradas semelhanças entre eles nos $\text{PA}_{15\text{W}/1}$ e $\text{PB}_{30\text{W}/1}$. Por outro lado, para o LT_2 , houve maior discrepância entre os critérios, sendo observada similaridade apenas entre o $\text{LiVFC}_{2\text{LIM}}$ e o critério $\text{LL}_{2\text{THO}}$ no $\text{PA}_{15\text{W}/1}$.

Em suma, pode-se inferir que o $\text{LiVFC}_{\text{LIM}}$ parece ser independente do protocolo utilizado, e assim, mostrar-se um método válido como indicador da transição parassimpática-simpática durante o exercício físico, no entanto, faz-se necessário cautela na utilização deste como variável indicadora da aptidão aeróbia devido à baixa associação aos LL_1 . O $\text{LiVFC}_{2\text{LIM}}$, sofre modificações com as alterações na amplitude e duração dos protocolos, tanto no que se refere ao número de identificações quanto à faixa de intensidade em que é encontrado. Apesar disso, apresenta razoável poder discriminatório da aptidão aeróbia, mesmo que situado em intensidade distinta dos LL_2 . Em conjunto, mais até que os LL , os LiVFC parecem ser altamente protocolo-dependente.

REFERÊNCIAS

ABAD, C.C.C. **Pode os limiares da variabilidade da frequência cardíaca identificar os limiares metabólicos?** 2006. 88p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Educação Física e Esporte – Universidade de São Paulo, São Paulo.

ABAD, C.C.C.; BARROS, R. V.; DE-OLIVEIRA, F. R.; LIMA, J.R.P.; PEREIRA, B.; KISS, M.A.P.D.M. O segundo platô da variabilidade da frequência cardíaca indica o segundo limiar de transição fisiológica? **Efdeportes** (on line), n.114, 2007.

ABERNETHY, P.J.; JURIMAE, J.; LOGAN, P.A.; TAYLOR, A.W.; THAYER, R.E. Acute and chronic response of skeletal muscle to resistance exercise. **Sports Med.** v.17, n.1, p. 22-38, 1994.

AGUIAR, A; FRONCHETTI, L.; AGUIAR, C.A.; NAKAMURA, F.Y. Efeito do treinamento com pesos sobre a modulação autonômica cardíaca em exercício progressivo. In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE METABOLISMO, NUTRIÇÃO E EXERCÍCIO, 2006, Londrina. *Anais...* Londrina, 2006. p.25.

AL-ANI, M.; MUNIR, S. M. ; WHITE, M.; TOWNEND, J.; COOTE, J. H. Changes in R-R variability before and after endurance training measured by power spectral analysis and by the effect of isometric muscle contraction. **Eur. J. Appl. Physiol.** v.74, p. 397- 403, 1996.

ALONSO, D.O.; FORJAZ, C.L.M.; REZENDE, L.O.; BRAGA, A.M.F.W.; BARRETO, A.C.P.; NEGRÃO, C.E.; RANDON, M.U.P.B. Comportamento da frequência cardíaca e da

sua variabilidade durante as diferentes fases do exercício físico progressivo máximo. **Arq. Bras. Cardiol.** São Paulo, v.71, n.6, p. 787 – 792 1998.

ALTMAN, D.G; BLAND, J.M. Measurement in medicine: the analysis of method comparison studies. **Statist.** v. 32, p. 307 -317, 1983.

AMANN, A; SUBUDHI, A; FOSTER, C. Influence of testing protocol on ventilatory thresholds and cycling performance. **Med. Sci. Sports Exerc.** v. 36, n. 4, p. 613-622, 2004.

ANGELIS, K.; SANTOS, M.S.; IRIGOYEN, M.C. Sistema nervoso autônomo e doença cardiovascular. **Rev. Soc. Cardiol.** Rio Grande do Sul, n.3, set - dez 2004.

ARAI, Y; SAUL, J.P.; ALBRECHT, P.; HARTLEY, L.H.; LILLY, L.S.; COHEN, R.J.; COLUCCI, W.S. Modulation of cardiac autonomic activity during and immediately after exercise. **Am. J. Physiol.** v. 256, p. H132 - H141, 1989.

AUNOLA, S.; RUSKO, H. The anaerobic threshold measured by four different bicycle exercise tests. **Scand. J. Sports Sci.** v.4, n. 2, p. 49 -56, 1982.

AVALOS, V.D.M. **Frequência Cardíaca em Cicloergometria Unilateral de Membros Inferiores.** 2006. 75p. Monografia (Bacharela em Fisioterapia). Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis.

BALDARI, C.; GUIDETTI, L. A simple method for individual anaerobic threshold as predictor of max lactate steady state. **Med. Sci. Sports Exerc.** v.32, n.10, p.1798-1802, 2000.

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. 575-586, 2007.

BENTLEY, D. J.; McNAUGHTON, L. R. Comparison of $W_{peak} VO_{2peak}$ and the ventilation threshold from two different incremental exercise tests: Relationship to endurance performance. **J. Sci. Med. Sport.** v.6, n.4, p. 422-435, 2003.

BENTLEY, D. J.; McNAUGHTON, L. R.; BATTERHAM, A. M. Prolonged stage duration during incremental cycle exercise: effects on the lactate threshold and onset of blood lactate accumulation. **Eur. J. Appl. Physiol.** v. 85, n. 3-4, p. 351-357, 2001.

BERG, A.; JACOB, E.; LEHMANN, M.; DICKHUTH, H. H.; HUBLER, C.; KEUL, J. Aktuelle aspekte der modernen ergometrie. **Pneumol.** v. 44, p. 2-13, 1990.

BERNE, R.M.; LEVY, M.N. *Fisiologia* 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996.

BLOMQVIST, C. G.; SALTIN, B. Cardiovascular adaptations to physical training. **Ann. Rev. Physiol.** v. 45, p. 169-189, 1983.

BISHOP, D.D.; JENKINS, D. G.; MACKINNON, L. T. The relationship between plasma lactate parameters W_{peak} and 1 h cycling performance in women. **Med. Sci. Sports Exerc.** v. 30, n.8, p. 1270-1275, 1998.

BLAND, J.M; ALTMAN, D.G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. **Lancet**, p. 307 – 310, 1986.

BOOTSMA, M.; SWENNE, C. A.; VAN BOLHUIS, H.H.; CHANG, P.C.; CATS, V.M.; BRUSCHKE, A.V. Heart rate and heart rate variability as indexes of sympathovagal balance. **Am. J. Physiol.** p. H1565-H1571, 1994.

BUCHHEIT, M.; SOLANO, R; MILLET, G. Heart rate deflection point and the second heart rate variability threshold during running exercise in 12- to 15-year old trained boys. **Pediatr. Exerc. Sci.** v. 19, p. 192-204, 2007.

BREUER, H-W.M.; SKYSCHALLY, A.; SCHULZ, R.; MARTIN, C.; WEHR, M.; HEUSCH, G. Heart rate variability and circulating catecholamine concentrations during steady state exercise in healthy volunteers. **Br. Heart J.** v. 70, p. 144-149, 1993.

BROOKS, G.A.; FAHEY, T.O. *Exercise Physiology: Human Bionergetics and its Applications*. New York: John Wiley and Sons, 1984.

BRUNETTO, A.F; SILVA, B.M.; ROSEGUINI, B.T.; HIRAI, D.M.; GUEDES, D.P. Limiar

ventilatório e variabilidade da frequência cardíaca em adolescentes. **Rev. Bras. Med. Esp.** v., n.1, p. 22-27, 2005.

BRUNETTO, B.C.; NAKAMURA, F.Y.; HIRAI, D.M.; ROSEGUINI, B.T.; BRUNETTO, A.F. Comparação do limiar de variabilidade de frequência cardíaca com o limiar ventilatório em indivíduo adultos saudáveis. **Ed. Esp. Rev. Bras. Cien. Mov.** São Caetano do Sul, p. 40, 2004.

CAMBRI, L.T. **Modulação autonômica cardíaca e controle metabólico em diabéticos tipo 2 em repouso e exercício.** 2007. 105p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Movimento Humano) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis.

CARTA, P.; ARU, G. Incremental stress test: comparison between protocols and cardiorespiratory reference values in healthy workers. **G. Ital. Med. Lav. Ergon.**, v.23, n.1, p. 5 -11, 2001.

CARTER, J.B.; BANISTER, E.W.; BLABER, A.P. The effect of age and gender on heart rate variability after endurance training. **Med. Sci. Sports Exerc.** v.35, n.8, p. 1333 –1340, 2003.

CASADEI, B.; MOON, J.; JOHNSTON, J.; CAIAZZA, A.; SLEIGHT, P. Is respiratory sinus arrhythmia a good index of cardiac vagal tone in exercise? **J. Appl. Physiol.** v. 81, n. 2, p. 556-564, 1996.

CONSELHO NACIONAL DE ERGOMETRIA: indicações e contra-indicações dos testes ergométricos. **Arq. Bras. Cardiol.** v.65, n.2, p. 191-211, 1995.

COEN, B.; URHAUSEN, A.; KINDERMANN, W. Individual anaerobic threshold: methodological aspects of its assessment in running. **I. J. Sports Med.** v.22, p.8-16, 2001.

COTTIN, F.; MEDIGUE, C.; LEPRETRE, P.M.; PAPELIER, Y.; KORALSZTEIN, J.-P.; BILLAT, V.. Heart Rate Variability during Exercise Performed below and above Ventilatory Threshold. **Med. Sci. Sports Exerc.** v. 36, n. 4, p. 594-600, 2004.

COTTIN, F.; LEPRÊTRE, P.-M.; LOPES, P.; PAPELIER, Y.; MÉDIGUE, C.; BILLAT, V.

Assessment of ventilatory thresholds from heart rate variability in well-trained subjects during cycling. **Int. J. Sports Med.** Published on line, 2006a.

COTTIN, F.; MÉDIGUE, C.; LOPES, P.; LEPRÊTRE, P.-M.; HEUBERT, R.; BILLAT, V. Ventilatory Thresholds Assessment from heart rate variability during incremental exhaustive running test. **Int. J. Sports Med.** Published on line, 2006b.

CHRISTENSEN, N.J.; GALBO, H. Sympathetic nervous activity during exercise. **Ann. Rev. Physiol.** v. 45, p.139-153,1983.

DAVIS, J.A.; WHIPP, B.J.; LAMARRA, N.; HUNTSMAN, D.J.; FRANK, M.H.; WASSERMAN, K. Effect of ramp slope on determination of aerobic from the ramp exercise test. **Med. Sci. Sports Exerc.** v. 14, n. 5, p. 339 -343, 1982.

DAVIS, J.A.; VODAK, P.; WILMORE, J.H.; VODAK, J.; KURTZ, P. Anaerobic threshold and maximal exercise power for three modes of exercise. **J. Appl. Physiol.** v.41, p.544-550, 1976.

DENADAI, B.S. Limiar anaeróbio: considerações fisiológicas e metodológicas. **Rev. Bras. Ativ Fís Saúde**, v.1, n.2, p. 74-88, 1995.

DICKSTEIN, K.; BARVIK, S.; AARSLAND, T.; SNAPINN, S.; KARLSSON, J. A comparison of methodologies in detection of the anaerobic threshold. **Circ.** n. 81(suppl. II), p. II38-II46, 1990.

DURU, F.; CANDINAS, R.; DZIEKAN, G.; GOEBBELS, U.; MYERS, J.; DUBACH, P. Effect of exercise training on heart rate variability in patients with new-onset left ventricular dysfunction after myocardial infarction. **Am. Heart J.** v.140, n.1, p. 157-161, 2000.

EVANS, J.M.; ZIEGLER, M.G.; PATWARDHAN, A.R.; OTT, J.B.; KIM, C.S.; LEONELLI, F.M.; KNAPP, C.F. Gender differences in autonomic cardiovascular regulation: spectral, hormonal, and hemodynamic indexes. **J. Appl. Physiol.** v.91, p. 2611-2618, 2001.

FAIRSHTER, R.D.; WALTERS, J.; SALNESS, K.; FOX, M.; MINH, V.D.; WILSON, A.F.

A comparison of incremental exercise tests during cycle and tread-mill ergometry. **Med. Sci. Sports Exerc.** v.15, n. 6, p. 549-554, 1983.

FRANCHINI, K.G. Função e disfunção autonômica na doença cardiovascular. **Rev. Soc. Cardiol.** São Paulo, n.2, p. 285-97, 1998.

FROELICHER, V.F.; BRAMMELL, H.; DAVIS, G.; NOGUERA, I.; STEWART, A.; LANCASTER, M.C. A comparison of three maximal treadmill exercise protocols. **J. Appl. Physiol.** v.36, p.720-725, 1974.

FRONCHETTI L. **Efeitos do Treinamento Anaeróbio na Frequência Cardíaca e na sua Variabilidade em Teste Incremental.** 2004a. 56p. Monografia (Bacharelado em Ciência do Esporte). Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

FRONCHETTI, L.; AGUIAR, C.A.; AGUIAR, A.; NAKAMURA, F.Y. Comparação do Limiar de Variabilidade da Frequência Cardíaca entre Gêneros em Teste Progressivo de Esforço em Cicloergômetro. **Edição Especial da Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, São Caetano do Sul, p. 61, 2004b. (Abstract).

FRONCHETTI, L.; COSTA, V.P.; ADAMI, F.; LIMA, J.R.P.; DE-OLIVEIRA, F.R. Limiar de Variabilidade da Frequência Cardíaca em Mountain Bikers. **Edição Especial da Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, São Caetano do Sul, v.14, n.4, p.219, 2006b. (Abstract).

FRONCHETTI, L.; NAKAMURA, F.Y.; AGUIAR, C.A.; DE-OLIVEIRA, F.R. Indicadores de regulação autonômica cardíaca em repouso e durante exercício progressivo – aplicação do limiar de variabilidade da frequência cardíaca. **Rev. Port. Cien. Desp.** v.6,n.1,p.21-28,2006a.

FRONCHETTI, L.; NAKAMURA, F.Y.; DE-OLIVEIRA, F.R. LIMA-SILVA, A.E ; LIMA, J. R. P. Effects of high-intensity interval training on heart rate variability during exercise. **J. Exer. Physiol. online**, v.10, n.4, p.1-9, 2007.

GAESSER, G.A.; POOLE, D.C. The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. **Exerc. Sport Sci. Rev.** v.24, p.35-71, 1996.

GALLO JR, L.; MACIEL, B.C.; MARIN-NETO, J.A.; MARTINS, L.E.; LIMA-FILHO, E.C.; GOLFETTI, R.; CHACON, M.P.; FORTI, V.A. Control of heart rate during exercise in health and disease. **Braz. J. Med. Biological Research** v.28, p. 1179- 1184, 1995.

GALLO JR, L.; MACIEL, B.C.; MARIN NETO,J.A.; MARTINS, L.E.B. Ajustes cardiovasculares ao exercício físico: efeitos do treinamento aeróbio. **Med.** v. 23, n.2, p. 101-106, 1999.

GRUPI, C.J.; ARCÊNCIO, S.R. Aplicações clínicas do eletrocardiograma nas disautonomias. **Rev. Soc. Cardiol.** São Paulo, 1999.

GRUPI, C.J.; MORAES, R. **Variabilidade da Frequência Cardíaca: conceito e utilidade clínica.** In: MOFFA, Paulo Jorge; SANCHES, Paulo César R. (Coord.). Eletrocardiograma: normal e patológico. 7 ed. São Paulo: Roca. p. 839 – 868, 2001.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. *Tratado de fisiologia médica.* 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002. 973 p.

HANSEN, J.E.; CASABURI, R.; COOPER, D.M.; WASSERMAN, K. Oxygen uptake as related to work rate increment during cycle ergometer exercise. **Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.** v.57, p.140-145, 1988.

HAUTALA, A. **Effect of physical exercise on autonomic regulation of heart rate.** 2004. Academic Dissertation (Faculty of Medicine) - University of Oulu, Finland.

HAUTALA, A.J.; MÄKIKALLIO, T.H.; SEPPÄNEN, T.; HUIKURI, H.V.; TULPPO, M.P. Short-term correlation properties of R-R interval dynamics at different exercise intensity levels. **Clin. Physiol. Func. Imag.** v.23, n.4, 2003.

HECK, H.; MADER, A.; HESS, G.; MÜCKE, S.; MÜLLER, R.; HOLLMANN, W. Justification of the 4mmol/l lactate threshold. **Int. J. Sports Med.** v.6, p. 117-130, 1985.

HUIKURI, H.V.; PIKKUJÄMSÄ, S.M.; AIRAKSINEN, K.E.J.; IKAHEIMO, M.J.; RANTALA, A. O.; KAUMA, H.; LILJA, M.; KESANIEMI, M. Sex-related differences in

autonomic modulation of heart rate in middle aged subjects. **Circ.** v.94, p.122-125, 1996.

ISSEKUTZ JR, B.; SHAW, W.A.; ISSEKUTZ, A.C. Lactate metabolism in resting and exercising dogs. **J. Appl. Physiol.** v.40, p. 312-319, 1976.

ISSEKUTZ Jr, B. Effect of B-adrenergic blockade on lactate turnover in exercising dogs. **J. Appl. Physiol.** v. 57, p. 1754- 1759, 1984.

JACKSON, A. L.; POLLOCK, M. L. Generalized equations for prediction body density of men. **British J. Nutrition**, v.40, p. 497-504, 1978.

JUEL, K.; PILEGAARD, H. *Lactate exchange and pH regulation in skeletal muscle*. In: HARGREAVES, M.; THOMPSON, M. (Ed.). *Biochemistry of exercise X*. Champaign: Human Kinetics, p.185–200, 1999.

JUNQUEIRA, L.F. **Disfunção Autonômica Cardíaca**. In: Porto C.C. (Ed.). *Doenças do coração: tratamento e reabilitação*. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan v.58, p. 306 –311, 1998.

KARA, M.; GÖKBEL, H.; BEDIZ, N.; ERGENE, N.; ÜÇOK, K.; UYSAL, H. Determination of the heart rate deflection point by the Dmax method. **J. Sports Med. Physical Fitness** v.36, p. 31-34, 1996.

KARAPETIAN, G.K.; ENGELS, H.J.;GRETEBECK, R.J. Use heart rate variability to estimate LT and VT. **Int. J. Sports Med.** (*in press*), 2008.

KIENZLE, M.G; FERGUSON, D.W.; BIRKETT, C.L.; MYERS, G.A.; BERG, W.J.; MARIANO, D.J. Clinical, hemodynamic and sympathetic neural correlates of heart rate variability in congestive heart failure. **Am. J. Cardiol.** v.69, n.8, p.761-767, 1992.

KINDERMANN, W.; SIMON, G.; KEUL, J. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. **Eur. J. Appl. Physiol.** v.42, p. 25-34, 1979.

KLEIGER, R.E.; MILLER, J.P.; BIGGER Jr., J.T.; MOSS, A.J. Decreased heart rate variability and its association with increased mortality after acute myocardial infarction. **Am. J. Cardiol.** v.59, p. 256-262, 1987.

KUIPERS, H. Training and overtraining: an introduction. **Med. Sci. Sports Exerc.** v.30, n.7, p. 1137-1139, 1998.

KUO, T.B.J.; LIN, T.; YANG, C.C.H.; LI, C.L.; CHEN, C.F.; CHOU, P. Effect of aging on gender differences in neural control of heart rate. **Am. J. Physiol.** v. 277, p. H2233 - H2239, 1999.

LEE, C.M.; WOOD, R.H.; WELSCH, M.A. Influence of short-term endurance exercise training on heart rate variability. **Med. Sci. Sports Exerc.** v.35, n.6, p. 961-969, 2003.

LEHMAN, M.; KEUL, J.; HUBER, G.; PRADA, M. Plasma catecholamines in trained and untrained volunteers during graduated exercise. **Int. J. Sports Med.** v.2, p. 143-147, 1981

LIMA, J.R.P. **Frequência cardíaca em cargas crescentes de trabalho: ajuste sigmóide, ponto de inflexão e limiar de variabilidade da frequência cardíaca.** 1997. 129p. Tese (Doutorado em Biodinâmica do Movimento Humano) – Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo.

LIMA, J.R.P.; KISS, M.A.P.D. Limiar de Variabilidade da frequência cardíaca. **Rev. Bras. Atividade Física e Saúde**, Londrina, v. 4, n. 1, p. 29 - 38, 1999.

LIU, C.C.; KUO, T.B.J.; YANG, C.C.H. Effects of estrogen on gender-related autonomic differences in humans. **Am. J. Physiol.** v.285, p. H2188-H2193, 2003.

LONGO, A.; FERREIRA, D.; CORREIA, M.J. Variabilidade da frequência cardíaca. **Rev. Port. Cardiol.**, v.14, n.3, p. 241-262, 1995.

MACIEL, B.C.; GALLO, L.; MARIN NETO, J.A.; LIMA FILHO, E.C.; MARTINS, L.E.B. Autonomic nervous control of the heart rate during dynamic exercise in normal man. **Clin. Sci.**, v.71, p. 457- 460, 1986.

MADER, A.; HECK, H. A theory of the metabolic origin of “anaerobic threshold”. **Int. J. Sports Med.** v. 7, p. 45-65, 1986. (suppl.).

MAZZEO, R.S.; MARSHAL, P. Influence of plasma catecholamines on the lactate threshold during graded exercise. **J. Appl. Physiol.** n. 67, p. 1319 -1322, 1989.

MEYER, R.; MAYER, U.; WEISS, M.; WEICKER, H. Sympathoadrenergic regulation of metabolism and cardiocirculation during and following running exercises of different intensity and duration. **Int. J. Sports Med.** v.9, p. S132-140,1988. (suppl.2).

McLELLAN, T.M. Ventilatory and plasma lactate response with different exercise protocols: a comparison of methods **Int. J. Sport Med.** v.6, p. 30–35, 1985.

MITCHELL, J. H. Neural control of the circulation during exercise. **Med Sci Sports Exerc.** v. 22, n. 2, p. 141 -154, 1990.

MOUROT, L.; BOUHADDI, M.; PERREY, S.; CAPPELLE, S.; HENRIET, M.T.; WOLF, J.P.; ROUILLON, J.D.; REGNARD, J. Decrease in heart rate variability with overtraining: assessment by the Poincaré plot analysis. **Clin Physiol Funct Imaging** v.24, p.10 – 18, 2004.

NAKAMURA, F.Y.; AGUIAR, C.A.; FRONCHETTI, L.; AGUIAR, A.F.; PERROUT DE LIMA, J.R. Alteração do limiar de variabilidade da frequência cardíaca após treinamento aeróbio de curto prazo. **Motriz** (UNESP), Rio Claro, v. 11, n. 1, p. 1-10, 2005.

NAKAMURA, Y.; YAMAMOTO, Y.; MURAOKA, I. Autonomic control of heart rate during physical exercise and fractal dimension of heart rate variability. **J. Appl. Physiol.** v.74, n.2, p. 875 – 881, 1993.

NICHOLSON, R.M.; SLEIVERT, G.G. Indices of lactate threshold and their relationship with 10-km running velocity. **Med. Sci .Sports Exerc.** v.33, p. 339-342, 2001.

ORR, G. W.; GREEN, H. J; HUGHSON, R. L.; BENNETT, G. W. A computer linear regression model to determine ventilatory anaerobic threshold. **J. Appl. Physiol.** v.52, p.1349-1352, 1982.

PERLINI, S.; SOLDA, P.L.; PIEPOLI, M.; SALA-GALLINI, G.; CALCIATI, A.; FINARDI, G.; BERNARDI, L. Determinants of respiratory sinus arrhythmia in the vagotomized rabbit. **Am. J. Physiol.** v.269, p. H909–H915, 1995.

PICHON, A.P., BISSCHOP, C.; ROULAND, M.; DENJEAN, A.; PAPELIER, Y. Spectral analysis of heart rate variability during exercise in trained subjects. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v. 36, n. 10, p. 1702–1708, 2004.

PICHOT, V.; ROCHE, F. GASPOZ, J.M.; ENJOLRAS, F.; ANTONIADIS, A.; MININI, P.; COSTES, F.; BUSSO, T.; LACOUR, J.R.; BARTHELEMY, J.C. Relation between heart rate variability and training load in middle-distance runners. **Med Sci Sports Exerc.** v.32, n.10, p.1729-36, 2000.

REIS, A. F.; BASTOS, B.G.; MESQUITA, E.T.; ROMÊO, L.J.M; NÓBREGA, C.L. da. Disfunção parassimpática, variabilidade da frequência cardíaca e estimulação colinérgica após infarto agudo do miocárdio. **Arq. Bras. Cardiol.** v. 70, n. 3, p. 193-199, 1998.

RIBEIRO, J.P. Limiares metabólicos e ventilatórios durante o exercício. Aspectos fisiológicos e metodológicos. **Arq. Bras. Cardiol.** v.64, p. 171-181, 1995.

RIBEIRO, J.P.; YANG, J.; ADAMS, R.P.; KUCA, B.; KNUTTEN, H.G. Effect of different incremental exercise protocols on the determination of lactate and ventilatory thresholds. **Braz J Med Biol Res.** v.19,n.1, p.109-117, 1986.

ROBERGS, R.A.; GHIASVAND, F.; BURNS, S.; ASTORINO, T.A.; MARKS, D.W. Determination Of Lactate Threshold Using Three Different VO₂max Protocols. In: AMERICAN SOCIETY OF EXERCISE PHYSIOLOGISTS 2° ANNUAL MEETING, 1999. Minnesota - United States. *Anais...*Minnesota, 1999. (Abstract).

ROZA, T.H.; DARIO, A.B.; FRONCHETTI, L.; NAKAMURA, F.Y.; DE-OLIVEIRA, F.R. Efeitos do treinamento de moderada e alta intensidade na variabilidade da frequência cardíaca de repouso. **Edição Especial da Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, São Caetano do Sul, v.14, n.4, p.226, 2006. (Abstract).

- SHADGAN, B. Overtraining syndrome in aquatic sports. *Sports Medicine*, 2004.
- SCHEUER, J.; TIPTON, C.M. Cardiovascular adaptations to physical training. **Annu. Rev. Physiol.** v.39, p. 221-251, 1977.
- SIMÕES, H.G.; CAMPBELL, M.S.G.; KOKUBUN, E.; DENADAI, B.S.; BALDISSERA, V. Blood glucose responses in human mirror lactate responses for individual anaerobic threshold and for lactate minimum in track tests. **Eur. J. Appl. Physiol.** v. 80, p. 34-40, 1999.
- SIRI, W. E. *Body composition from fluid spaces and density: Analysis of methods*. In: BROZEK, J.; HENSCHEL, A. *Techniques for Measuring Body Composition*, 223-224, 1961.
- SMITH, J.; KAMPINE, J.P. *Circulatory Physiology*. 3.Ed. Reading: Williams & Wilkins, 1990.
- STAUSS, H.M. Heart rate variability. **AJP- Regul. Integ. Comp. Physiol.** v.285, p. R927 - R931, 2003.
- STEGMANN, H.; KINDERMANN, W. Comparison of prolonged exercise tests at the individual anaerobic threshold and the fixed anaerobic threshold of 4mmol/l. **Int. J. Sports Med.** v. 3, p.105-110, 1982.
- STEGMANN, H.; KINDERMANN, W.; SCHNABEL, A. Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. **Int. J. Sports Med.** v. 2, p. 160-165, 1981.
- TASK FORCE OF THE EUROPEAN SOCIETY OF CARDIOLOGY AND THE NORTH AMERICAN SOCIETY OF PACING AND ELECTROPHYSIOLOGY: HEART RATE VARIABILITY. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. **Circ.** v.93, p. 1043 – 1065, 1996.
- TEBEXRENI, A.S.; LIMA, E.V; TAMBEIRO, V.L.; BARROS NETO, T.L. Protocolos tradicionais em ergometria, suas aplicações práticas versus protocolo de rampa. **Rev. Soc. Cardiol.** São Paulo, v.11, N.3, p. 519-528, 2001.

TEGTBUR, U.; BUSSE, M.W.; BRAUMANN, K.M. Estimation of an individual equilibrium between lactate production and catabolism during exercise. **Med Sci Sports Exerc.** v. 25, n. 5, p. 620-627, 1993.

THODEN, J.S. *Testing aerobic power.* In: WENGER, H.A.; MAcDOUGALL, J.D.; GREEN, H.J., editors. *Physiological testing of the high-performance athlete.* Champaign: Human Kinetics, p.107-174, 1991.

TOKMAKIDIS, S.P.; LÉGER, L.A.; PILIANIDIS, T.C. Failure to obtain a unique threshold on the blood lactate concentration curve during exercise. **Eur. J. Appl. Physiol.** v. 77, n.4, p. 333-342, 1998.

TULPPO, M.P.; HAUTALA, A.J.; MÄKIKALLIO, T.H.; LAUKKANEN, R.T.; NISSILÄ, S.; HUGHSON, R.L.; HUIKURI, H.V. Effects of aerobic training on heart rate dynamics in sedentary subjects. **J Appl Physiol** v.95, p.364 – 372, 2003.

TULPPO, M.P.; MÄKIKALLIO, T.H.; SEPPÄNEN, T.; LAUKKANEN, R.T.; HUIKURI, H.V. Vagal modulation of heart rate during exercise: effects of age and physical fitness. **Am. J. Physiol. (Heart Circ. Physiol.)**, v.274, n.2, p. H424-H429, 1998.

TULPPO, M.P.; MÄKIKALLIO, T.H.; TAKALA, T.; SEPPÄNEN, T.; HUIKURI, H. Quantitative Beat-To-Beat Analysis Of Heart Rate Dynamics During Exercise. **Am. J. Physiol.** v.271, p. H244 – 252, 1996.

TULPPO, M.P.; MÄKIKALLIO, T.H.; LAUKKANEN, R.T.; HUIKURI, H.V. Differences in autonomic modulation of heart rate during arm and leg exercise. **Clin. Physiol.** v.19, n.4, p. 294 – 299, 1999.

URHAUSEN, A.; WEILER, B.J.; COEN, B.J.; KINDERMANN, W.J. Plasma catecholamines during endurance exercise of different intensities as related to the individual anaerobic threshold. **Eur. J. App. Physiol.** n. 69, p. 16-20, 1994.

UUSITALO, A.L.T.; UUSITALO, A.J.; RUSKO, H.K. Exhaustive endurance training for 6-9

weeks did not induce changes in intrinsic heart rate and cardiac autonomic modulation in female athletes. **Int J Sports Med.** v.19, p. 532-540, 1998.

UUSITALO, A.L.T.; UUSITALO, A.J.; RUSKO, H.K. Heart rate and blood pressure variability during heavy endurance training and overtraining in the female athlete. **Int J Sports Med.** v.21, p. 45-53, 2000.

WASSERMANN, K.; WHIPP, B.J. Exercise physiology in health and disease. **Am. Rev. Resp. Dis.**, v. 112, p. 219-249, 1975.

WASSERMAN, K.; WHIPP, B. J.; KOYAL, S. N.; BEAVER, W. L. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. **J. Appl. Physiol.** v.35, n.2, p. 236-243, 1973.

WELTMAN, A. *The blood lactate response to exercise*. Champaign: HumanKinetics, 1995.

WESTON, S.B.; GRAY, A.B.; SCHNEIDER, D.A.; GASS, G.C. Effect of ramp slope on ventilation thresholds and VO_{2PEAK} in male cyclists. **Int. J. Sports Med.** v.23, p. 22-27, 2002.

WHIPP, B.J.; DAVIS, D.A.; TORRES, F.; WASSERMAN, K. A test to determine parameters of aerobic function during exercise. **J Appl Physiol** v.50, p. 217-221, 1981.

WILMORE, J.H.; COSTILL, D.L. *Fisiologia do Esporte e do Exercício*. São Paulo: Manole, 2001.

YAMAMOTO, K.; MIYACHI, M.; SAITOH, T.; YOSHIOKA, A.; ONODERA, S. Effects of endurance training on resting and post-exercise cardiac autonomic control. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v.33, n.9, p. 1496 – 1502, 2001.

YAMAMOTO, Y.; HUGHSON, R. L.; PETERSON, J. C. Autonomic Control of Heart Rate During Exercise Studied by Heart Rate Variability Spectral Analysis. **Journal of Applied Physiology.** v. 71, n. 3, p. 1136-1142, 1991.

YOSHIDA, T. Effect of exercise duration during incremental exercise on the determination of

anaerobic threshold and the onset of blood lactate accumulation. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v.53, n.3, p. 196-199, 1984.

YUAN, Y.; SO, R.; WONG, S.; CHAN, K.M. Ammonia threshold-comparison to lactate threshold, correlation to other physiological parameters and response to training. **Scand. J. Med. Sci. Sports.**, v.12, n.6, p. 358-364, 2002.

ZHANG, Y-Y; JHONSON II, M.C.; CHOW, N.; WASSERMAN, K. Effect of exercise testing protocol on parameters of aerobic function. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v 23, n 5, p. 625-630, 1991.

APÊNDICES

APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Título do Projeto: Influência de Diferentes Protocolos Ergométricos sobre o Limiar de Variabilidade da Frequência Cardíaca.

O(a) senhor(a) está sendo convidado a participar de um estudo de avaliação física que consistirá de três testes de esforço físico. As avaliações correspondem a diferentes protocolos de testes ergométricos que serão executados de forma aleatória num intervalo mínimo de 48h entre os testes. Precedendo a execução do primeiro teste será realizada também avaliação antropométrica (massa corporal, estatura e dobras cutâneas).

Os testes serão executados em cicloergômetro e em todas as etapas do experimento serão registrados os batimentos cardíacos através de um cardiofrequencímetro (Polar® modelo S810i) durante o exercício como medida indireta do controle autonômico sobre o coração, e serão também coletadas amostras de sangue do lóbulo da orelha para mensurar as concentrações de lactato (analisador portátil Yellow Springs 1500).

Estes procedimentos serão realizados no Laboratório de Pesquisa Morfo-Funcional CEFID/UEDESC. Serão previamente marcados a data e horário para as avaliações. Recomenda-se a utilização de roupas leves e tênis para a realização dos testes. Também será realizada uma anamnese sobre o seu estado de saúde que inclui perguntas como, uso de medicação, prática de exercícios físicos, idade e ocupação.

Os riscos destes procedimentos serão mínimos. Os benefícios e vantagens em participar deste estudo serão avaliações físicas e orientações sobre aspectos fisiológicos para obter e manter um bom condicionamento físico.

A sua identidade será preservada, pois cada indivíduo será identificado por um número.

As pessoas que estarão te acompanhando serão: uma estudante de pós-graduação (Lenise Fronchetti), uma estudante de graduação (Thuane Huyer da Roza) e um professor responsável (Fernando Roberto De-Oliveira).

O(a) senhor(a) poderá se retirar do estudo a qualquer momento.

Solicitamos a vossa autorização para o uso de seus dados para a produção de artigos técnicos e científicos. A sua privacidade será mantida através da não-identificação do seu nome.

Agradecemos a vossa participação e colaboração.

PESSOA PARA CONTATO

Prof. Dr. Fernando Roberto de Oliveira

TELEFONE: 3244 – 2324, ramal 241.

ENDEREÇO: Rua Pascoal Simone, 358 Coqueiros, CEP: 88080 – 350

TERMO DE CONSENTIMENTO

Declaro que fui informado sobre todos os procedimentos da pesquisa e, que recebi de forma clara e objetiva todas as explicações pertinentes ao projeto e, que todos os dados a meu respeito serão sigilosos. Eu compreendo que neste estudo, as medições dos experimentos/procedimentos de tratamento serão feitas em mim.

Declaro que fui informado que posso me retirar do estudo a qualquer momento.

Nome por extenso _____ .

Assinatura _____ Florianópolis, ____/____/____ .

APÊNDICE B – ANAMNESE

Nº _____

Nome: _____

Data de nascimento: ____/____/____ Sexo: () F () M

Endereço: _____

Cidade: _____

Telefone: _____

e-mail: _____

Profissão: _____

1) Você pratica exercício físico?

() Sim Qual? _____

Frequência: ____ dias por semana.

Há quanto tempo? ____ anos ____ meses.

() Não

2) Você apresenta algum problema de saúde (diabetes, doença cardiovascular, doença respiratória,...)? Qual (is)?

3) Você faz uso de medicamentos? Quais?

4) Estabilidade Clínica – Como você está se sentindo neste momento?

ANEXOS

ANEXO A – APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA**UDESC**

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA EM SERES HUMANOS

Florianópolis, 06 de novembro de 2006

Nº. de Referência 164/06

Ao Pesquisador Prof. FERNANDO ROBERTO DE OLIVEIRA

Prezados Senhores,

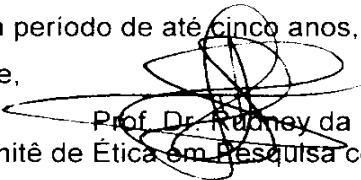
Analisamos o projeto de pesquisa intitulado "**Influencia dos diferentes protocolos ergométricos e de depleção prévia do glicogênio muscular sobre o limiar de variabilidade da frequência cardíaca**", enviado previamente por V. S.^a. Desta forma, vimos por meio desta, comunicar que o Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos tem como resultado a **aprovação** do referido projeto.

Este Comitê de Ética em Pesquisa segue as Normas e Diretrizes Regulamentadoras da Pesquisa Envolvendo Seres Humanos – Resolução CNS 196/96, criado para defender os interesses dos sujeitos da pesquisa em sua integridade e dignidade e para contribuir no desenvolvimento da pesquisa dentro de padrões éticos.

Gostaria de salientar que quaisquer alterações do procedimento e metodologia que houver durante a realização do projeto em questão e, que envolva os indivíduos participantes, deverão ser informadas imediatamente ao Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos.

Duas vias do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido deverão ser assinadas pelo indivíduo pesquisado ou seu representante legal. Uma cópia deverá ser entregue ao indivíduo pesquisado e a outra deverá ser mantida pelos pesquisadores por um período de até cinco anos, sob sigilo.

Atenciosamente,


Prof. Dr. Raimony da Silva
Presidente do Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos – UDESC

ANEXO B – QUESTIONÁRIO PAR-Q*

Nº _____

Por favor, leia as questões cuidadosamente e indique com um X se a sua resposta for SIM ou NÃO.

SIM NÃO

- | | | |
|-----|-----|---|
| () | () | 1. Seu médico alguma vez mencionou que você possui algum problema cardíaco? |
| () | () | 2. Você apresenta freqüentemente dores no coração e no peito? |
| () | () | 3. Você tem freqüentemente sensações de desmaio ou crise de tonturas severas? |
| () | () | 4. Alguma vez seu médico lhe disse que sua pressão arterial estava muito alta? |
| () | () | 5. Alguma vez seu médico lhe disse que você possui um problema ósseo ou articular, como artrite, que foi agravado ou que pode piorar com o exercício? |
| () | () | 6. Existe uma boa razão física não mencionada para que você não participe de um programa de atividade física, apesar de desejar fazê-lo? |
| () | () | 7. Você tem mais de 65 anos de idade e não está habituado à pratica de exercício vigoroso? |

* Physical Activity Readiness Questionnaire. Um questionário auto-administrável para adultos (Desenvolvido pelo British Columbia Ministry of Health, 1978).