



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE**  
**FACULDADE DE MEDICINA**  
**INSTITUTO DO CORAÇÃO EDSON SAAD**

**RAFAEL SANTIAGO FLORIANO**

**VALIDADE DA FÓRMULA PREDITIVA DO CONSUMO DE OXIGÊNIO EM  
HOMENS JOVENS E IDOSOS SAUDÁVEIS E PACIENTES COM  
INSUFICIÊNCIA CARDÍACA CRÔNICA.**

**RIO DE JANEIRO**

**Março de 2017**

RAFAEL SANTIAGO FLORIANO

**VALIDADE DA FÓRMULA PREDITIVA DO CONSUMO DE OXIGÊNIO EM  
HOMENS JOVENS E IDOSOS SAUDÁVEIS E PACIENTES COM  
INSUFICIÊNCIA CARDÍACA CRÔNICA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Cardiologia para Exame de Qualificação, Instituto do Coração Edson Saad, Faculdade de Medicina, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Cardiovasculares.

Orientador: Prof. Dr. Michel Silva Reis

Pesquisa realizada no Grupo de Pesquisa em Avaliação e Reabilitação  
Cardiorrespiratória (GECARE) / Universidade Federal do Rio de Janeiro

RIO DE JANEIRO

Março de 2017

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

RAFAEL SANTIAGO FLORIANO

**VALIDADE DA FÓRMULA PREDITIVA DO CONSUMO DE OXIGÊNIO EM  
HOMENS JOVENS E IDOSOS SAUDÁVEIS E PACIENTES COM  
INSUFICIÊNCIA CARDÍACA CRÔNICA.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Cardiologia, Instituto do Coração Edson Saad, Faculdade de Medicina, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Cardiovasculares.

Aprovada em:

---

Prof. Dr. Thiago de Arruda Sanchez – UFRJ

---

Prof<sup>ª</sup>.Dr<sup>ª</sup>. Glorimar Rosa– UFRJ

---

Prof. Dr. Maurício Sant'Anna Júnior– IFRJ

## DEDICATÓRIAS

Ao senhor nosso Deus que sempre me amparou e me protegeu em toda a minha trajetória, sempre presente em minha jornada neste mundo, por ter me forjado, me fortalecido durante esses anos de vida e por ter me orientado a seguir bons caminhos.

Aos meus pais, Weston e Sidnéa, que mesmo a distância sempre emanaram força e palavras de encorajamento, além de sabedoria de vida para que eu prosseguisse em meus objetivos; ao meu irmão Rodrigo que sempre foi pra mim um exemplo intelectual.

A minha querida esposa Sabrina, que com muito carinho e compreensão sempre entendeu a importância desta pesquisa para mim e para a minha carreira acadêmica.

Aos meus amados filhos Isabela e Arthur, que são meus “motores de propulsão” e meus maiores incentivadores nessa minha luta pelo crescimento acadêmico-profissional.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus por me conceder o direito a vida e ao livre arbítrio. Em segundo lugar ao meu grande amigo e orientador Michel Silva Reis, que me ensinou praticamente tudo que eu sei na área de reabilitação cardiorrespiratória com muita paciência e maestria; acreditou e apostou num aluno um pouco mais velho que a média, um trabalhador muito atribulado e incansável, além de um presente pai de família. Não poderia deixar de agradecer a todos os membros da “família” do grupo de pesquisa (GECARE), que certamente contribuíram para o meu crescimento acadêmico. Gostaria de agradecer também a todos os professores que fizeram parte da minha formação acadêmica. Agradecer com a mesma importância os pacientes e voluntários que de maneira gentil e espontânea participaram e contribuíram com as nossas pesquisas, para que este sonho se tornasse realidade. E por fim agradeço a todos os familiares e amigos que torceram por mim e pela evolução como pesquisador e futuro docente.

Agradecimentos especiais: A todos os professores e colaboradores do Programa de Pós-Graduação em Cardiologia, Instituto do Coração Edson Saad, Faculdade de Medicina, Universidade Federal do Rio de Janeiro e a Coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior (CAPES).

## RESUMO

### VALIDADE DA FÓRMULA PREDITIVA DO CONSUMO DE OXIGÊNIO EM HOMENS JOVENS E IDOSOS SAUDÁVEIS E PACIENTES COM INSUFICIÊNCIA CARDÍACA CRÔNICA.

Rafael Santiago Floriano

Orientador: Prof. Dr. Michel Silva Reis

Resumo da dissertação submetida ao Corpo Docente da Faculdade de Medicina da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências Cardiovasculares.

**Introdução:** O teste de exercício cardiopulmonar (TECP) é um método (padrão ouro) não invasiva de avaliação global da integridade dos ajustes fisiológicos no organismo humano durante a execução do exercício físico. Alternativamente, a avaliação da capacidade funcional tem sido executada por meio de fórmulas de predição com correção para as características antropométricas e carga de trabalho executada ao exercício. No entanto, não há consistência na literatura sobre a coerência das fórmulas de predição e os valores obtidos da capacidade funcional, especialmente, na população de idosos saudáveis e pacientes com insuficiência cardíaca (IC) crônica. **Objetivo:** comparar os valores do consumo de oxigênio ( $VO_2$ ) estimado por meio de fórmula predição com os valores obtidos pelo TECP no limiar anaeróbio ventilatório (LAV) e no pico do exercício de homens jovens e idosos saudáveis e com IC crônica. **Métodos:** cinquenta e seis homens divididos em 3 grupos, sendo um grupo com 18 jovens (idade  $27 \pm 6,01$ ) saudáveis (GJ), no segundo grupo foram 14 idosos (idade  $61 \pm 6,3$ ) saudáveis (GI) e o terceiro grupo com 24 pacientes (idade  $53 \pm 13,6$ ) com IC crônica (GIC). Todos foram submetidos ao TECP em cicloergômetro para determinação do  $VO_2$  no LAV e no pico do exercício. Posteriormente, foi realizada a estimativa do  $VO_2$  na potência do LAV e no pico do exercício por meio de fórmula de predição ( $VO_2 \text{ mL/kg.min}^{-1} = (\text{CARGA em watts} * 12) + 300 / \text{massa corporal em kg}$ ). Os valores do  $VO_2$  obtido e da carga estimada foram comparados. **Resultados:** Os valores do  $VO_2$  estimado foram significativamente maiores nos GI e GIC ( $16,9 \pm 1,8$  vs.  $13,1 \pm 2,1$  mL/kg/min e  $12 \pm 6,9$  vs.  $8,7 \pm 2,5$  mL/kg/min, respectivamente). Por outro lado, os valores do  $VO_2$  estimado e obtido não mostraram diferentes no GJ ( $22,6 \pm 5,5$  vs.  $23,1 \pm 8,7$  mL/kg/min, respectivamente). **Conclusão:** A fórmula de predição superestimou os valores de  $VO_2$  no LAV e pico do exercício físico dos idosos e pacientes com IC crônica. No entanto, mostrou-se semelhante para os jovens.

**Palavras chave:** Teste de exercício cardiopulmonar, capacidade funcional, insuficiência cardíaca crônica, fórmula preditiva, LA,  $VO_2$ .

**ABSTRACT****THE VALIDITY OF THE PREDICTIVE FORMULA OF THE OXYGEN CONSUMPTION FOR HEALTHY MEN YOUNG AND ELDERLY AND PATIENTS WITH CHRONIC HEART FAILURE.**

Rafael Santiago Floriano

Orientador: Prof. Dr. Michel Silva Reis

Abstract da dissertação submetida ao Corpo Docente da Faculdade de Medicina da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências Cardiológicas.

**Introduction:** The cardiopulmonary exercise test (CPT) is a noninvasive (gold standard) methodology of global assessment of the integrity of physiological adjustments in the human body during the execution of the physical exercise. Alternatively, functional capacity assessment has been performed using predictive formulas with correction for the anthropometric characteristics and exercise workload performed. However, this method of evaluation maybe have different outcomes when used in a population of healthy older and patients with chronic heart failure (CHF). **Objective:** To compare the values of oxygen consumption ( $VO_2$ ) estimated by prediction formula with the values obtained by the CPT in the ventilatory anaerobic threshold (LAV) and in the exercise peak of healthy young and older and patients with CHF. **Methods:** fifty-six men were divided into 3 groups, 18 were young (age  $27 \pm 6.01$ ) healthy (GJ) and 14 were elderly (age  $61 \pm 6.3$ ) healthy (GI), and the third group was composed of 24 (age  $53 \pm 13.6$ ) with chronic CHF (GIC). All were submitted to the CPT in cycle ergometer to determine the  $VO_2$  in the LAV and at the peak of the exercise. Subsequently, the  $VO_2$  estimation was performed in the LAV power and at the peak of the exercise using a prediction formula. The values of the  $VO_2$  obtained and the estimated load were compared. **Results:** The  $VO_2$  estimated were significantly more than  $VO_2$  obtained in GI and GIC ( $16.9 \pm 1.8$  vs.  $13.1 \pm 2.1$  mL/kg/min e  $12 \pm 6.9$  vs.  $8.7 \pm 2.5$  mL/kg/min, respectively). Finally, there were no difference in the values of  $VO_2$  estimated and obtained for GJ ( $22.6 \pm 5.5$  vs.  $23.1 \pm 8.7$  mL/kg/min, respectively). **Conclusion:** The predict formula overestimated the  $VO_2$  values for elderly and patients with chronic heart failure. However, in the GJ the values showed similar for predict formula and obtained CPT.

**Key words:** Cardiopulmonary exercise testing, status functional, chronic heart failure, predictive formula, A.T.,  $VO_2$ .

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1.** Mecanismo de retroalimentação da insuficiência cardíaca crônica. 17
- Figura 2.** Nível de aptidão física do *American Heart Association* para homens de acordo com  $VO_2$  max ou  $VO_2$  pico (ml/kg/min). 22
- Figura 3.** Montagem e execução do teste de exercício cardiopulmonar. 27
- Figura 4.** Protocolos para teste de exercício cardiopulmonar executado em cicloergômetros. À esquerda exemplos de protocolos incrementais do tipo rampa. À direita, exercício físico de carga constante. 29
- Figura 5.** Variáveis cardiorrespiratórias e metabólicas obtidas durante o teste cardiopulmonar com protocolo do tipo rampa em cicloergômetro. 30
- Figura 6.** Variáveis cardiorrespiratórias e metabólicas obtidas durante o teste cardiopulmonar com protocolo do tipo rampa. 31
- Figura 7.** Tela do programa utilizado em nosso trabalho com as variáveis cardiorrespiratórias e metabólicas obtidas durante o teste cardiopulmonar com protocolo do tipo rampa em cicloergômetro. 32
- Figura 8.** Escala de *BORG CR-10* modificada. 34
- Figura 9.** Determinação dos limiares metabólicos pelo método visual gráfico. 35
- Figura 10.** Fluxograma descrevendo a análise dos pacientes em cada etapa do estudo. 45
- Figura 11.** Consumo de oxigênio obtido e predito dos grupos estudados no limiar anaeróbio ventilatório. 47
- Figura 12.** Consumo de oxigênio obtido e predito dos grupos estudados no pico do exercício físico. 48

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

<b>Quadro 1.</b> Indicações para a execução do TECP	21
<b>Quadro 2.</b> Equivalentes metabólicos (METs) para atividades físicas	24
<b>Quadro 3.</b> Vantagens e desvantagens da utilização da esteira ou cicloergômetro no teste cardiopulmonar	26
<b>Tabela 1.</b> Dados antropométricos e características clínicas da população do estudo.	46

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AHA – do inglês, *American Heart Association*  
 BNP – peptídeo natriurético tipo B  
 BTPS – condições normais de temperatura e pressão do corpo  
 EMG – eletromiografia  
 FC – frequência cardíaca  
 FC<sub>máx.</sub> – frequência cardíaca máxima  
 FEO<sub>2</sub> – fração expirada de oxigênio  
 FR – frequência respiratória  
 IC – insuficiência cardíaca crônica  
 IRPM – incursão respiratória por minuto  
 J/S – joule por segundo  
 Kgf – quilograma força  
 KPM/MIN – quilopondsmetro por minuto  
 LAV – limiar anaeróbio ventilatório  
 MET – equivalente metabólico  
 MMII – membros inferiores  
 NYHA – do inglês, *New York Heart Association*  
 O<sub>2</sub> – oxigênio  
 OVE – oscilação ventilatória no exercício  
 PCR – ponto de compensação respiratória  
 PETCO<sub>2</sub> – pressão expirada de gás carbônico  
 PETO<sub>2</sub> – pressão expirada de oxigênio  
 PI<sub>máx.</sub> – pressão inspiratória máxima  
 QCO<sub>2</sub> – taxa de produção periférica de dióxido de carbono  
 QO<sub>2</sub> – consumo periférico de oxigênio  
 R – razão da troca respiratória  
 STPD – condições normais de temperatura e pressão  
 SWT – do inglês, *shuttle walk test*  
 TC6M – teste de caminhada de seis minutos  
 TD6M – teste de degrau de seis minutos  
 TECP – teste cardiopulmonar de exercício  
 VC – volume corrente  
 VCO<sub>2</sub> – produção de dióxido de carbono  
 VCO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub> – razão entre a produção de dióxido de carbono e o consumo de oxigênio pulmonar medidos no ar expirado  
 VD – espaço morto  
 VE – ventilação  
 VE/VCO<sub>2</sub> – equivalente ventilatório de gás carbônico  
 VE/VO<sub>2</sub> – equivalente ventilatório de oxigênio  
 VFC – variabilidade da frequência cardíaca  
 VO<sub>2</sub> – consumo de oxigênio  
 VO<sub>2máx.</sub> – consumo de oxigênio máximo  
 VO<sub>2Pico</sub> – consumo de oxigênio pico  
 VT – volume total  
 W – watts  
 ΔVO<sub>2</sub> – delta de consumo de oxigênio  
 ΔW – delta da carga em watts

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	13
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b>	14
2.1 Epidemiologia da Insuficiência Cardíaca	14
2.1.1 Fisiopatologia da Insuficiência Cardíaca	15
2.1.2 Ferramentas Diagnósticas e de Avaliação Funcional	17
2.2 Capacidade Funcional	19
2.2.1 Teste de exercício cardiopulmonar	22
2.2.1.1 Ergômetros	25
2.2.1.2 Analisador de gases	26
2.2.1.3 Tipos de protocolo para TECP	28
2.2.1.4 Variáveis do TECP	30
2.2.1.5 Limiar anaeróbico ou 1º limiar ventilatório	34
2.2.1.6 Ponto de compensação respiratório ou 2º Limiar ventilatório	36
2.2.2 Equações de predição	37
<b>3.OBJETIVOS</b>	39
3.1 Objetivo geral	39
<b>4. JUSTIFICATIVA</b>	39
<b>5. MATERIAL E MÉTODOS</b>	40
5.1 Desenho do estudo	40
5.2 Amostra	41
5.3 Protocolos experimentais	42
5.3.1 Avaliação fisioterapêutica	42
5.3.2 TECP máximo ou sintoma limitado	42
5.3.3 Avaliação do eletrocardiograma	43
5.3.4 Utilização da fórmula preditiva	43
5.4 Considerações éticas	44
5.5 Análise estatística	44
<b>6. RESULTADOS</b>	44
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	48
7.1 Perspectivas para a dissertação final	49
7.2 Limitações	49
<b>8. REFERÊNCIAS</b>	49
APÊNDICE A Termo de consentimento livre e esclarecido	57
APÊNDICE B Ficha de avaliação da função pulmonar	60
APÊNDICE C Ficha de avaliação do TECP	61
ANEXO Comitê de ética e pesquisa	62



## 1 INTRODUÇÃO

Os ajustes centrais e periféricos atuam harmonicamente com o objetivo de manter a homeostasia (WILLIAMSOM *et al.*, 2010; POWERS *et al.*, 2000; NEDER & NERY, 2003). A disponibilidade do oxigênio em nosso organismo é fundamental para que os substratos energéticos sejam utilizados para síntese de energia (GUYTON & HALL, 2006). O predomínio de cada mecanismo de transferência de energia durante o exercício, como a utilização de glicose ou ácidos graxos pelo organismo pode ser observada na atividade física e também durante o teste de exercício cardiopulmonar (TECP), por meio do aumento das variáveis ventilatórias e metabólicas obtidas de forma não invasiva e acessível (NEDER & NERY, 2003; POWERS *et al.*, 2000). O TECP é uma metodologia não invasiva de avaliação global da integridade dos ajustes cardiovasculares, respiratórios, musculares periféricos, neurofisiológicos, humorais e hematológicos do organismo humano durante a execução do exercício físico (WASSERMAN *et al.*, 1999; BALADY *et al.*, 2010; NEDER & NERY, 2003). Na prática, a grande utilidade do TECP é na determinação da capacidade funcional e/ou potência aeróbia, pela obtenção dos dois índices de limitação funcional mais empregados, que são o consumo de oxigênio pico ( $VO_{2\text{pico}}$ ) ou consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2\text{máx}}$ ) e o limiar anaeróbio ventilatório (LAV) em níveis de exercício físico submáximo ou máximo (POWERS *et al.*, 2000; NEDER & NERY, 2003; MENEGUELO *et al.*, 2010).

O  $VO_{2\text{pico}}$  e o LAV durante a prática de exercícios podem servir como marcador prognóstico e para determinar a capacidade funcional dos indivíduos (POWERS *et al.*, 2000; NEDER & NERY, 2003). Entretanto nos pacientes com insuficiência cardíaca (IC) crônica o LAV pode não ser identificado pelo método padrão de avaliação (aproximadamente 10% dos casos) o que traduziria para os avaliadores um pior prognóstico desses pacientes com IC crônica (AGOSTINI *et al.*, 2013). Adicionalmente, esses marcadores poderão contribuir para a prescrição de exercícios (NEDER & NERY, 2003; ACSM, 2006; BALADY *et al.*, 2010).

Neste sentido, o TECP representa o padrão ouro para a determinação da capacidade funcional, do  $VO_{2\text{máx}}$  ou  $VO_2$  pico e do LAV (NEDER & NERY, 2003; ACSM, 2006; BALADY *et al.*, 2010). Todavia, os equipamentos necessários para a realização do TECP são muito dispendiosos e necessitam tanto de uma equipe com pelo menos três pesquisadores bem treinados e de um laboratório em condições especiais para a sua realização adequada (NEDER & NERY, 2003; ACSM, 2006; BELLINI *et al.*, 1997; GLASS *et al.*, 2007). Desta forma são poucos os locais especializados nesse tipo de exame que possuem todo o aparato tecnológico necessário para a realização dos TECP (GLASS *et al.*, 2007). Como por exemplo, os grandes

clubes de futebol profissional, assim como laboratórios de pesquisa de algumas poucas universidades.

Alternativamente, a avaliação da capacidade funcional e aeróbia tem sido executada de forma indireta por meio de fórmulas de predição com correção para as características antropométricas e carga de trabalho executada (PETERSON *et al.*, 2003; KOUTLIANOS *et al.*, 2013; MALEK *et al.*, 2004; DOS SANTOS NOGUEIRA *et al.*, 2006; DE LIMA *et al.*, 2006; MAGRINI *et al.*, 2010; ALMEIDA *et al.*, 2010). Apesar de ser possível prever o  $\text{VO}_2$  no LAV e no pico do exercício através de fórmulas preditivas, é importante discutir as vantagens da predição destas variáveis em relação à execução do TECP (ACSM, 2006). As vantagens da fórmula preditiva são baseadas no baixo custo, praticidade e rapidez para a determinação do  $\text{VO}_2$ . No entanto, a literatura é incipiente quanto à similaridade dos resultados da predição em relação ao padrão ouro. Esta similaridade entre os dois métodos (direto e indireto) seria capaz de agregar mais conhecimento para a utilização do método indireto para a obtenção do  $\text{VO}_2$  no LAV e no pico do exercício, ou até mesmo em afirmar similaridade entre o  $\text{VO}_2$  obtido por meio da fórmula de predição. Neste sentido é possível que exista uma semelhança nos valores do  $\text{VO}_2$  obtidos pelo método de predição, quando comparados aos valores aferidos pelo padrão ouro numa população de jovens e idosos saudáveis e pacientes com IC crônica. Isto, tanto na potência do LAV, quanto no pico do exercício físico realizado em cicloergômetro.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Epidemiologia da Insuficiência Cardíaca**

A insuficiência cardíaca (IC) crônica é um problema de morbi-mortalidade de saúde a nível mundial e seu alto índice e prevalência de 5.1 milhões de indivíduos com IC nos Estados Unidos da América entre os anos de 2007 e 2012 (ALBUQUERQUE, *et al.*, 2015), geram um impacto na economia deste país de forma incisiva e preocupante. É possível constatar isso através dos dados fornecidos pela *American Heart Association* (AHA). A previsão em relação ao número de novos casos é de aumento, uma vez que a IC crônica atinge as pessoas mais idosas; além disso, a expectativa de vida tem aumentado nos últimos anos e a tendência é que a população de idosos cresça, aumentando a incidência da IC crônica.

No Brasil, segundo o DATASUS, estima-se que o número de óbitos somente no ano de 2014 foi de aproximadamente 21.994 casos decorrentes de IC (DATASUS, 2014). Mesmo

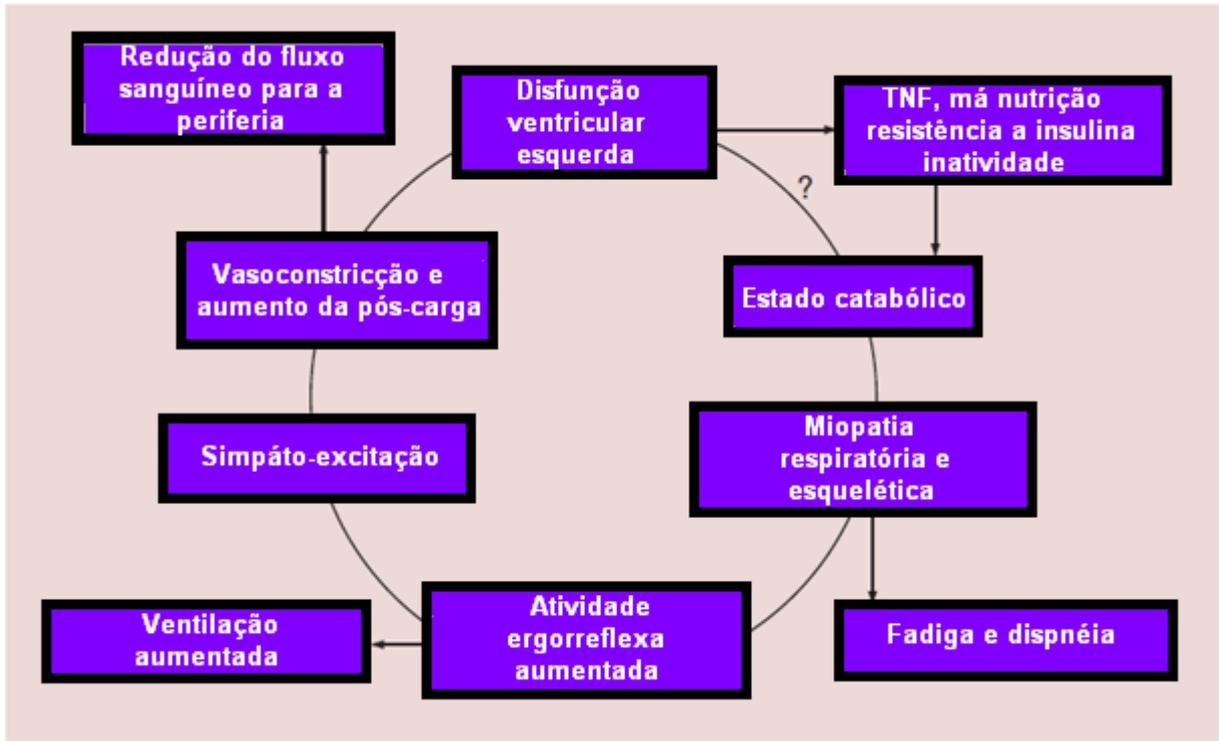
diante destes números, não existem dados consolidados da prevalência na população brasileira e uma das justificativas para essa afirmação, seria a baixa capacidade de realização de testes diagnósticos disponíveis principalmente na rede pública de saúde. Ademais, sabe-se que no Brasil os dois maiores fatores etiológicos que levam a IC crônica advêm de origem isquêmica e hipertensiva (ALBUQUERQUE, *et al.*, 2015). Outro ponto que chama a atenção neste cenário é o fato da baixa adesão medicamentosa (ALBUQUERQUE, *et al.*, 2015) ao tratamento ser considerada como uma das principais causas de descompensação da IC crônica, o que nos leva a pensar que não é somente um sistema de saúde deficitário na atenção básica que resulta no aumento desse diagnóstico, mas sim o limitado alcance dos processos educativos e os métodos de conscientização que são utilizados.

### **2.1.1 Fisiopatologia da Insuficiência Cardíaca**

A IC pode ser caracterizada como a ineficiência do miocárdio em gerar uma fração de ejeção satisfatória a cada sístole. Não conseguindo assim satisfazer a demanda de todos os sistemas do nosso corpo; ou fazê-lo às custas de elevadas pressões de enchimento. Diante disto, o organismo precisa utilizar mecanismos compensatórios como: os cardiovasculares e renais para manter uma pressão arterial satisfatória que consiga perfundir minimamente os órgãos que dependem, exclusivamente, do fornecimento de oxigênio, como cérebro, coração e rins. (MANGINI; ISSA, 2012). Dentre os principais ajustes e adaptações, podemos citar o aumento da atividade adrenérgica, com o intuito de aumentar o inotropismo cardíaco. Outro mecanismo associado a este, seria o aumento do cronotropismo do miocárdio na tentativa em manter um débito cardíaco adequado. Podemos ainda mencionar outro mecanismo, que seria a ativação do sistema renina-angiotensina-aldosterona, que no intuito de manter a pressão arterial sistêmica adequada para irrigação de todas as áreas que demandem de perfusão sanguínea, aumenta a retenção de água e sódio nos rins. Por fim, ainda temos o remodelamento cardíaco, onde ocorre o aumento do comprimento dos sarcômeros, na tentativa de aumentar a massa muscular cardíaca e, assim, diminuir o volume sistólico final (WILSON; BRAUNWALD, 2003). Entretanto, esses mecanismos adaptativos ao longo do tempo geram efeitos deletérios e favorecem de forma negativa o processo de remodelamento cardíaco concêntrico, diminuindo com isso a área da câmara que receberia uma maior quantidade de sangue para ser ejetado em seguida, tendo como consequência um aumento do trabalho miocárdico e maior gasto energético, entre outros (MANGINI; ISSA, 2012). O remodelamento cardíaco é caracterizado pela dilatação das câmaras cardíacas, com deposição

de colágeno nas fibras musculares cardíacas. Além disso, acarreta no distanciamento das unidades contráteis pelo aumento do comprimento dos sarcômeros, com conseqüente perda da capacidade contrátil e déficit de bombeamento. Essa alteração morfológica que gera perda significativa da função e funcionamento adequados do coração predispõe ao aparecimento de arritmias, distúrbios de condutibilidade elétrica ventricular com conseqüente diminuição da fração de ejeção do ventrículo esquerdo. Desta forma, uma parte do sangue venoso que retorna ao coração não consegue ser bombeado de volta para a circulação sistêmica, deixando a periferia com um déficit de recebimento de sangue oxigenado, sendo demonstrado pelo aumento do volume sistólico final (ARENA *et al.*, 2004).

A IC crônica também é descrita como uma afecção sistêmica (figura 1), podendo ser considerada como uma síndrome multifatorial, pois está associada a diversos fatores que vão além da disfunção ventricular como a má nutrição, má captação de oxigênio (hipoxemia), devido a insuficiência perfusional; a inflamação sistêmica e a modificação do perfil metabólico das fibras musculares esqueléticas (GOSKER, *et al.*, 2000; CAHALIN, *et al.*, 2013<sup>a</sup>). Em decorrência desses achados, a IC crônica gera um estado catabólico que vai culminar uma disfunção não só do coração, mas também da musculatura periférica e ventilatória. Neste sentido, a conseqüência desses fatores é a fadiga precoce e conseqüentemente a piora da sensação de dispneia; além do aumento da atividade ergorreflexa e a hiperatividade simpática. O que aumentará ainda a resistência vascular periférica e a pós-carga do ventrículo esquerdo, causando uma retroalimentação neste sistema, o que favorece a disfunção ventricular esquerda (CAHALIN, *et al.*, 2013<sup>a</sup>). Todos esses mecanismos favorecem a redução da capacidade funcional desses indivíduos, o que contribuirá para o processo de cronificação da doença. Diante desse retrato patológico, a baixa aptidão física com baixa tolerância ao exercício físico se torna uma característica marcante que é vista como uma das principais conseqüências da IC crônica, impactando negativamente na qualidade de vida desses indivíduos (GOSKER, *et al.*, 2000).



**Figura 1.** Mecanismo de retroalimentação da insuficiência cardíaca crônica. Adaptada de Cahalin *et al.*, 2013.

### 2.1.2 Ferramentas diagnósticas e de avaliação funcional

Ademais a apresentação clínica, existem outras ferramentas diagnósticas na IC. O ecocardiograma é um exame que gera a imagem através da reflexão de ondas ultrassônicas, revelando informações valiosas sobre o funcionamento do miocárdio, inclusive traz a estimativa da fração de ejeção do ventrículo esquerdo. Sendo assim, é considerada uma importante ferramenta diagnóstica, entretanto pode ser menos acurada em pacientes portadores de IC com a fração de ejeção preservada. Outro método diagnóstico da IC é através da dosagem do peptídeo natriurético do tipo B (BNP), que é produzido no miocárdio, refletindo pressões intra-cardíacas aumentadas, sendo mais eficiente no diagnóstico da doença do que a ecocardiografia (BOCCHI, *et al.*, 2012).

As ferramentas diagnósticas são muito importantes para o controle e manejo dos pacientes com IC crônica, todavia a utilização de avaliações funcionais é fundamental, pois podem trazer mais informações sobre o nível funcional desses pacientes. Dentre as escalas de avaliação, podemos mencionar a classificação funcional da *New York Heart Association* (NYHA), que é específica para os pacientes com IC crônica. Essa classifica os pacientes pela dispnéia durante atividade física ou no repouso. Além do ecocardiograma, do BNP, e da NYHA, existem outras ferramentas de avaliação do paciente com IC crônica. Elas nos

auxiliam tanto no direcionamento de estratégias terapêuticas, quanto na estratificação de riscos dos pacientes. Além de servir como marcadores de morbi-mortalidade.

A pressão inspiratória máxima (P<sub>Imáx</sub>), já foi descrita na literatura como variável do valor prognóstico de sobrevivência independente (CAHALIN, *et al.*, 2013<sup>a</sup>), uma vez que a fraqueza da musculatura ventilatória é uma consequência da IC crônica e está diretamente ligada com a sensação de dispnéia (CAHALIN, *et al.*, 2013<sup>a</sup>). Cahalin *et al.*, mostraram que pacientes com IC crônica com valores de P<sub>Imáx</sub> menores ou iguais a 5.3KPa (aproximadamente 53cmH<sub>2</sub>O) têm 50% de sobrevida em um período de 36 meses, além de correlações de 0,89 entre a P<sub>Imáx</sub> e o índice de dispneia. Dall'Ago *et al.*, ao avaliar 44 pacientes com IC crônica com fração de ejeção do ventrículo esquerdo (FEVE) reduzida (FEVE<45%) com estabilidade clínica e estabeleceram pela primeira vez valores de referência para a fraqueza muscular inspiratória como 70% dos valores preditos por peso, altura e sexo.

Outra variável isolada de gravidade é a força muscular periférica (HULSMANN *et al.*, 2004; ISAWA *et al.*, 2009). Neste estudo de Hulsmann *et al.*, 2004 a força de extensão do joelho mensurada através do dinamômetro isocinético foi capaz de prever a sobrevida em até 60 meses de 122 indivíduos com IC congestiva, independentemente da resposta neuro-hormonal, do VO<sub>2</sub> pico e da terapia betabloqueadora. Em outro estudo, Isawa *et al.*, 2009, estabeleceram valores prognósticos de corte na avaliação da força de preensão palmar em pacientes com IC congestiva, e viram que pacientes com valores abaixo de 32,2Kgf tiveram menor sobrevida em um período de 100 meses quando comparados aos pacientes com valores acima do corte (78,9% versus 96,4% respectivamente).

Sendo a hiperatividade simpática uma consequência da IC crônica, ferramentas de avaliação que trazem informações sobre esse mecanismo têm sido utilizadas, dentre elas, a variabilidade da frequência cardíaca (VFC). Essa ferramenta não invasiva tem sido utilizada na obtenção de importantes marcadores da modulação autonômica sobre o ritmo cardíaco (TASK FORCE, 1996). Ainda que a literatura seja incipiente quanto aos valores de referência de pior prognóstico nas populações cardiopatas, sabe-se que a VFC estará reduzida nos pacientes com IC crônica. Isso se deve ao fato de o ajuste da FC frente à demanda imposta estar muito mais dependente da atividade simpática do que da modulação vagal; ainda que em uso da terapia medicamentosa de escolha rotineira, como o betabloqueador, onde sua abordagem farmacológica é sabidamente inibidora da atividade simpática (BOCCHI, *et al.*, 2012). Essa contribuição simpática predominante nessa população de IC crônica para o ajuste

cardiovascular tem relação direta com a maior chance de aparecimento de arritmias cardíacas e risco de morte súbita (TASK FORCE, 1996).

Nos últimos anos, as variáveis obtidas através do TECP têm mostrado bastante evidência no que diz respeito a valor prognóstico de pacientes com diversas doenças crônicas que cursam com intolerância ao exercício físico, em especial a IC crônica (GIBBONS, *et al.*, 1997; ARENA, *et al.*, 2008; CORNELIS, *et al.*, 2015).

Nos primeiros trabalhos com TECP em pacientes com IC crônica, a baixa tolerância ao exercício físico, vista pelo baixo consumo de oxigênio no pico do exercício ( $VO_2$  pico) (GIBBONS, *et al.*, 1997; ARENA, *et al.*, 2008; CORNELIS, *et al.*, 2015), aparecia como importante marcador de gravidade da doença, assim como o LAV precoce – que reflete a mudança do predomínio do metabolismo anaeróbico em detrimento do metabolismo aeróbico (NEDER; NERY, 2003). O *slope* da ventilação durante o exercício (VE) plotada pela produção de  $CO_2$  ( $VCO_2$ ) –  $VE/VCO_2$  *slope* – mostra-se como uma variável obtida no TECP capaz de nos trazer informações sobre a ineficiência ventilatória presenciada por esses pacientes (CAHALIN, *et al.*, 2013<sup>b</sup>; CORNELIS, *et al.*, 2015). Quanto mais deslocada para o eixo y estiver essa variável, ou seja, quanto maior o *slope* da reta, mais ineficiente é a ventilação do indivíduo, o que está intimamente relacionado com a congestão pulmonar gerada pela IC. Valores acima de 34 são marcadores de pior prognóstico em pacientes com IC crônica (CORNELIS, *et al.*, 2015). Além desses, a oscilação ventilatória no exercício (OVE) também vem ganhando evidência na literatura. A OVE é caracterizada por oscilações repetidas na ventilação durante o exercício, de forma crescente e decrescente, sem apnéias interpostas (OLSON, 2008). Ainda que o mecanismo que desencadeia a oscilação ventilatória não esteja completamente estabelecido, o *delay* circulatório, o aumento na sensibilidade dos quimioceptores periféricos, a resposta ergorreflexa exacerbada e a congestão pulmonar são possíveis gatilhos (CORNELIS, *et al.*, 2015). As últimas meta-análises publicadas sobre o assunto sugerem que apesar de não haver um padrão ouro para obtenção dessa variável, ela aparece como uma das mais poderosas variáveis prognósticas na IC crônica (CAHALIN, *et al.*, 2013<sup>b</sup>; CORNELIS, *et al.*, 2015).

## 2.2 Capacidade Funcional

A capacidade funcional (CF) é a capacidade de o indivíduo realizar as suas atividades cotidianas e habilidades que envolva atividade física, garantindo assim sua autonomia

(ARENA, *et al.*, 2007; NEDER; NERY, 2003). Segundo a *American Heart Association* (AHA), a CF pode ser definida como a capacidade de um indivíduo realizar atividades cotidianas que dependa da integridade e interação dos sistemas musculares, pulmonares e cardiovasculares. A CF pode ser estimada pela avaliação da potência aeróbia, medida pelo consumo de oxigênio máximo ou pico ( $VO_{2max}$  ou  $VO_{2pico}$ ) durante o exercício físico (ARENA, *et al.*, 2007; NEDER; NERY, 2003; FLEG, *et al.*, 2000). A CF depende de fatores como idade, gênero, condicionamento físico e presença de alterações patológicas que influenciem na resposta destes sistemas ao exercício físico. (FLETCHER, *et al.*, 2013; FLEG, *et al.*, 2000; NEDER; NERY, 2003) Na Figura2 está descrita a classificação funcional de acordo com as recomendações da AHA baseada nos valores de  $VO_{2max}$  para homens (ACSM, 2000).

Outra forma de estimar a capacidade funcional é pela taxa metabólica de trabalho alcançada em uma atividade, a qual é mensurada em equivalentes metabólicos (METs). Uma taxa metabólica equivalente a 1 MET representa a taxa de gasto metabólico em repouso equivalente a  $3,5 \text{ mL}O_2/\text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$ , e a capacidade funcional é estimada por múltiplos desta taxa (ex: 2 METs -  $7 \text{ mL}O_2/\text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$ ; 3 METs -  $10.5 \text{ mL}O_2/\text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$ ; etc.) (AINSWORTH, *et al.*, 2011; ARENA, *et al.*, 2007; GARBER, *et al.*, 2001; FLEG, *et al.*, 2000).

Os METs foram calculados em estudos prévios para atividades domésticas, ocupacionais, recreacionais e esportivas mais comuns, variando de 0,9 METs (dormindo) até 18 METs (correndo a 18 km/h) (AINSWORTH, *et al.*, 2011; AINSWORTH, *et al.*, 2000; AINSWORTH, *et al.*, 1993). No Quadro 1 estão listadas algumas destas atividades.

**Quadro 1.** Equivalentes metabólicos (METs) para atividades físicas.

<b>Tipo de atividade</b>	<b>METs</b>	<b>Exemplo</b>
<b>Atividades domésticas</b>		
	3	Lavar/limpar (carro, janelas, garagem).
	4	múltiplas tarefas domésticas de esforço vigoroso.
	4	Varrer garagem e calçadas.
	7.5	Carregas sacolas de compras.
<b>Atividades ocupacionais</b>		
	2	Caminhar no trabalho (escritório, espaços pequenos).
	4	Caminhar (velocidade moderada) carregando objetos leves
	8.5	Caminhar ou descer escadas com objetos pesados (45 Kg)
<b>Atividades recreacionais/Esportivas</b>		
	7	Correr a 8 km/h
	13.5	Correr a 12 km/h
	7	Jogar Futebol (casualmente)
	10	Jogar Futebol (competitivo)

METs: Equivalente Metabólico ( $\text{mLO}_2/\text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$ ); Kg: Kilograma; km/h: quilômetros por hora. Fonte: adaptado de AINSWORTH, *et al.*, 2011.

A avaliação da CF é um parâmetro importante não somente com a finalidade diagnóstica ou prognóstica em pacientes com doenças incapacitantes, mas também para avaliação do desempenho físico em indivíduos saudáveis e atletas, além de servir como parâmetro para prescrição de exercícios, respeitando os princípios da especificidade do treinamento, já que fornece informações fidedignas e mensuráveis das respostas cardiorrespiratórias e metabólicas no exercício. (ARENA *et al.*, 2007; FLETCHER, *et al.*, 2013; NEDER E NERY, 2002; NEDER E NERY, 2003).

Existem alguns testes para a avaliação da capacidade funcional: 1) os testes de campo como o teste de caminhada de 6 minutos (TC6) (ENRIGHT *et al.*, 2003<sup>a</sup>; ENRIGHT *et al.*, 2003<sup>b</sup>; MARRARA *et al.*, 2012; PESSOA *et al.*, 2014) e o *shuttle walk test* (SWT) (DP *et al.*, 2014; PULZ *et al.*, 2008; SINGH *et al.*, 1992; WISE *et al.*, 2005; COELHO *et al.*, 2007); 2) teste de exercício cardiopulmonar (TECP) (NEDER E NERY, 2003; STEIN, 2006; MENEGHELO *et al.*, 2010) em esteira ou cicloergômetro, podendo ser de forma máxima ou submáxima, com a análise ou não de gases expirados ( $\text{O}_2$  e  $\text{CO}_2$ ) através da espirometria (ARENA, *et al.*, 2007; NEDER; NERY, 2003; FLEG, *et al.*, 2000). Cada um desses testes possui suas peculiaridades e objetivos, além de variáveis de interesse e utilidades, porém o padrão ouro para a avaliação da capacidade aeróbia é o TECP máximo, com análise de gases pela ergoespirometria (ARENA, *et al.*, 2007; NEDER; NERY, 2002). Esta modalidade possui

alta reprodutibilidade de resultados e fornece variáveis como o  $VO_{2\text{máx}}$ , porém necessita de equipamentos dispendiosos e considerável experiência dos avaliadores (ARENA, *et al.*, 2007; NEDER; NERY, 2002).

Quando esta capacidade encontra-se prejudicada ou limitada, a qualidade de vida também está afetada, tendo como possível consequência a perda de saúde. Analisando pela ótica da prevenção primária e secundária das doenças (cardiovasculares) relacionadas com a diminuição da capacidade funcional, lamentavelmente, ainda é baixo o número de pacientes encaminhados para o serviço de exercício físico ou de reabilitação cardíaca (CARVALHO *et al.*, 2004). Existe um importante marcador para a avaliação da CF. O valor do  $VO_2$  no LAV (POWERS, *et al.*, 2000; NEDER; NERY, 2003), conhecido também como primeiro limiar de anaerobiose (1° LAV), corresponde ao momento do exercício em que o metabolismo energético deixa de ser predominantemente aeróbico e passa a ser predominantemente anaeróbico, sendo este parâmetro utilizado como um valioso marcador da capacidade oxidativa no exercício progressivo (POWERS, *et al.*, 2000; NEDER; NERY, 2003).

Nível de aptidão física do American Heart Association para <b>homens</b> $VO_{2\text{max}}$ ml/kg/· <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup>					
Faixa etária	Muito fraca	Fraca	Regular	Boa	Excelente
20-29	< 25	25-33	34-42	43-52	> 53
30-39	< 23	23-30	31-38	39-48	> 49
40-49	< 20	20-26	27-35	36-44	> 45
50-59	< 18	18-24	25-33	34-42	> 43
60-69	< 16	16-22	31-40	> 41	

ACSM, 2000

**Figura 2:** Valores da capacidade funcional através do  $VO_2$  para homens.

American College of Sports Medicine. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription (6th ed.) Baltimore: Williams & Wilkins, 2000.

### 2.2.1 Teste de Exercício Cardiopulmonar (TECP)

O TECP ou teste ergoespirométrico ou cardiorrespiratório é uma metodologia não invasiva de avaliação global da integridade dos ajustes cardiovasculares, respiratórios, musculares periféricos, neurofisiológicos, humorais e hematológicos do organismo humano

durante a execução do exercício físico (POWERS, *et al.*, 2000; NEDER; NERY, 2003; WASSERMAN *et al.*, 1999). Na prática, a grande utilidade do TECP é a determinação da capacidade funcional (BALADY *et al.*, 2010, NEDER & NERY, 2003; ACSM, 2006; NEDER & NERY, 2002) ou potência aeróbia pela obtenção de dois índices de limitação funcional mais empregados, que são: 1) o consumo do oxigênio no pico do exercício ( $VO_2$  pico); 2) Consumo máximo de oxigênio ( $VO_2$  máx.). Além disso, o TECP revela o LAV e o ponto de compensação respiratório (PCR) em níveis de exercício físico submáximo ou máximo respectivamente (THOMPSON *et al.*, 2013). Embora as indicações deste teste sejam as mais variadas e crescentes, (BALADY *et al.*, 2010, NEDER & NERY, 2003; ACSM, 2006; WASSERMAN *et al.*, 1999) a sua aplicação tem sido realizada em algumas manifestações clínicas não explicadas totalmente pelos dados da anamnese, exame físico, exames de imagem, teste de função pulmonar e eletrocardiografia convencional, como o exemplo na constatação e avaliação do fator etiológico, assim como o grau de intolerância ao esforço (BALADY *et al.*, 2010, NEDER & NERY, 2003; ACSM, 2006; STEIN, 2006) (Quadro 2). É válido salientar que tanto atletas, assim como indivíduos saudáveis e também os doentes possam se beneficiar do TECP independente da finalidade para que o teste seja realizado (BALADY *et al.*, 2010, NEDER & NERY, 2003; ACSM, 2006). No entanto, para a área da reabilitação, este teste possui uma finalidade peculiar quando se trata da prescrição individualizada de exercícios físicos. (WASSERMAN *et al.*, 1999; NEDER & NERY, 2003). No condicionamento físico de doenças como a IC crônica de forma mais assertiva; assim como fundamentam o desenvolvimento de protocolos de intervenção mais seguros, confortáveis e confiáveis. A determinação da capacidade funcional, através do teste de exercício cardiopulmonar (TECP), traz informações precisas da capacidade de transporte e utilização do oxigênio, isto é, da capacidade funcional dos pulmões e do sistema cardiovascular, muscular e metabólico, combinados para tentar garantir a homeostase durante o exercício (NEDER & NERY, 2003).

**Quadro2.** Indicações para a execução do TECP

---

***Avaliação da intolerância ao exercício***

- Determinação da capacidade funcional
- Determinação dos fatores limitantes da capacidade funcional

***Avaliação da intolerância ao exercício não diagnosticada***

- Avaliação da limitação cardíaca ou pulmonar ou de ambas
- Dispneia a esclarecer

***Avaliação de pacientes com doença cardíaca***

- Avaliação funcional ou prognóstica
- Seleção para transplante

***Avaliação de pacientes com doença pulmonar***

- Avaliação funcional ou prognóstica na doença pulmonar obstrutiva crônica
- Avaliação funcional ou prognóstica na doença intersticial
- Avaliação funcional ou prognóstica na hipertensão pulmonar
- Avaliação funcional ou prognóstica na fibrose cística
- Avaliação do broncoespasmo induzido pelo exercício
- Reabilitação pulmonar

***Avaliação pré-cirúrgica***

- Ressecção pulmonar
  - Cirurgia abdominal
- 
- 

*Adaptado Neder et al, 2003.*

A utilização do TECP tem natureza limitada, por exigir um local em condições e com características apropriadas (laboratório próprio, refrigerado com a temperatura entre 22 e 24°C e com a umidade relativa do ar entre 50 e 70%), equipamentos caros e complexos, equipe de pelo menos três profissionais bem capacitados para a realização deste teste (STEIN, 2006; WASSERMAN *et al.*, 1999; NEDER & NERY, 2003) Hoje, o TECP ainda é considerado a melhor alternativa disponível, denominado, ainda nos dias atuais, como o padrão ouro (MENEGHELO *et al.*, 2010; WASSERMAN *et al.*, 1999; NEDER & NERY, 2003). Existem condições necessárias para a realização do teste e estas devem ser seguidas para que seja possível sua boa execução (POWERS *et al.*, 2000). Um bom ambiente para a realização deste teste, preza por uma sala de exames que deverá conter espaço suficientemente amplo para acomodar todo o equipamento necessário à realização dos testes, além de todo o material a ser usado durante eventuais emergências médicas (WASSERMAN *et al.*, 1999). Sendo assim, essas exigências restringem a utilização deste importante recurso por outros profissionais da área de saúde não médicos. A área livre da sala deve permitir no

máximo a circulação de três pessoas, para que não sature demais o ar daquele ambiente com dióxido de carbono (NEDER & NERY, 2003). No ambiente de testes é necessário um suporte de emergência calibrado e testado previamente a realização dos testes (contendo: desfibrilador, ambu, oxigênio e medicamentos), que devem estar à disposição para o rápido manuseio, caso seja necessário.

### **2.2.1.1 Ergômetros**

Os ergômetros utilizados na execução do TECP devem ser, preferencialmente, eletrônicos ou eletromagnéticos e dispor de interface de comunicação com o computador central, através de saída analógica ou digital, para onde deverão ser enviados os dados de velocidade, inclinação, ciclos, sinais vitais, assim como as variáveis ventilatórias e metabólicas e recebido os comandos de variação de carga. Como dito anteriormente, existem alguns tipos de ergômetros para a realização do TECP, como a cicloergômetro, esteira rolante, escada, ergômetro de membros superiores e remoergômetro (NEDER & NERY, 2003). Os dois mais comumente utilizados são o cicloergômetro e a esteira rolante (NEDER & NERY, 2003; MENEGHELO *et al.*, 2010), todavia devemos salientar que a escolha do ergômetro deve ser feita através da atividade, que o indivíduo que será submetido ao teste, tenha mais familiaridade.

É fundamental que os ergômetros também disponibilizem: 1) controle manual ou automático, através de comando próprio ou de interface com um computador (no caso de sistema de ergometria computadorizado); 2) programação, através do comando da esteira ou do computador (no caso de sistema de ergometria computado), de protocolos em rampa com indicação da velocidade inicial e final, inclinação inicial e final, tempo de exame, sexo do paciente, coeficiente de aumento de carga e consumo em METs previsto (WASSERMAN *et al.*, 1999). As esteiras ergométricas devem ser equipadas com chave de desligamento de emergência, devendo a mesma ser de fácil acesso tanto para o operador quanto para o paciente. Para maior segurança é fundamental o equipamento possuir chaves de desligamento automático. Essas chaves ficam conectadas ao paciente por um pequeno cabo, que desliga o sistema caso o mesmo se afaste demasiadamente do braço frontal da esteira, sofra uma queda ou não consiga vencer a velocidade imposta pelo protocolo escolhido, além de ser útil em caso de ocorrer algum mal súbito que determine a imediata parada da esteira.

Já os cicloergômetros, podem ser uma alternativa à esteira quando se realiza o exame

em pacientes com limitações ortopédica, neurológicas ou vasculares periféricas. Além disto, a qualidade do traçado eletrocardiográfico e a medida da pressão arterial tendem a ser melhores do que na esteira (NEDER & NERY, 2003). O cicloergômetro utilizado deverá apresentar a capacidade de incrementos no trabalho, seja de forma automática ou manual, deverá apresentar guidom e selim ajustáveis de acordo com a altura do paciente; além disso, quanto mais confortável for melhor para o indivíduo realizar o teste, já que uma das maiores queixas durante o teste é a dor provocada pelo selim.

No entanto, torna-se importante ressaltar que as respostas fisiológicas e o estresse metabólico ao exercício em cicloergômetros diferem daqueles do exercício em esteira. (NEDER & NERY, 2003; WASERMAN *et al.*, 1999). Adicionalmente, os ergômetros possuem vantagens e limitações que possam comprometer a interpretação desejada dos testes (Quadro3). Neste sentido, antes da realização do exame, há necessidade de se ter claro os objetivos para a sua execução.

**Quadro 3.** Vantagens e desvantagens da utilização da esteira ou cicloergômetro no teste cardiopulmonar.

<b>ERGÔMETROS</b>	<b>Cicloergômetro</b>	<b>Esteira</b>
VO <sub>2</sub> máx	Menor	Maior
Melhor controle da carga	Sim	Não
Coleta de gases sanguíneos	Fácil	Maior dificuldade
Ruídos e artefados	Menor	Maior
Segurança	Menor	Maior
Adequação para obesos	Maior	Menor
Grau de treinamento	Menor	Maior
Mais apropriada para:	Pacientes	Saudáveis ativos

*Adaptado Neder et al, 2003.*

### **2.2.1.2 Analisador de Gases**

O aparelho para a medida da ventilação deverá ter acurácia suficiente para medidas de diferentes volumes e velocidades de fluxos e baixa resistência e inércia. Além disso, é desejável que o aparelho permita sua conexão ao computador para maior facilidade da correlação dos dados obtidos. A medida da ventilação durante o exercício requer que o indivíduo testado tenha suas narinas fechadas por um clipe nasal e que o bocal não permita qualquer escape de ar (NEDER & NERY, 2003). Atualmente são utilizadas máscaras de um

tecido conhecido como neoprene que engloba tanto o nariz quanto a boca (material usado em nosso trabalho), sendo neste segundo caso desnecessário a utilização de clipe nasal, porém a vedação dessa interface deve ser suficientemente justa no contorno da face (Figura 3), vedando de tal forma que não haja, em hipótese alguma, escape de ar durante a realização do teste. Por este motivo que indivíduos de barba deverão ser submetidos a tricotomia, enquanto o que tiverem somente bigode poderão realizar o teste normalmente. O espaço morto do equipamento também é importante (máximo =100ml) (NEDER & NERY, 2003). Atualmente, com os dispositivos mais modernos a análise de gases é realizada *on-line*. Vários tipos de fluxômetro podem ser utilizados: transdutores de massa, pneumotacômetros de Fleish ou de Pitot (WASSERMAN *et al.*, 1999; POWERS *et al.*, 2000; MENEGHELO *et al.*, 2010) e anemômetro. Esses sistemas permitem medidas de trocas gasosas a cada ciclo respiratório<sup>4</sup> (respiração por respiração - do inglês “breath-by-breath”).



**Figura 3.** Montagem e execução do teste de exercício cardiopulmonar



**Figura 3.** Montagem e execução do teste de exercício cardiopulmonar

Como os sistemas disponíveis apresentam diferentes especificações para a realização da calibração dos gases, deve-se sempre seguir o protocolo de calibração indicado no manual do equipamento (POWERS *et al.*, 2000; WASSERMAN *et al.*, 1999; NEDER & NERY, 2003). Para garantir a exatidão dos valores medidos, o analisador deve prover meios de executar sua calibração tanto por meios automáticos, quanto por meio de misturas de gases para a calibração (NEDER & NERY, 2003). Para prevenir a contaminação entre os pacientes, as peças que entram em contato com os pacientes devem ser descartáveis ou serem adequadamente preparadas, com a utilização de soluções enzimáticas desinfetantes.

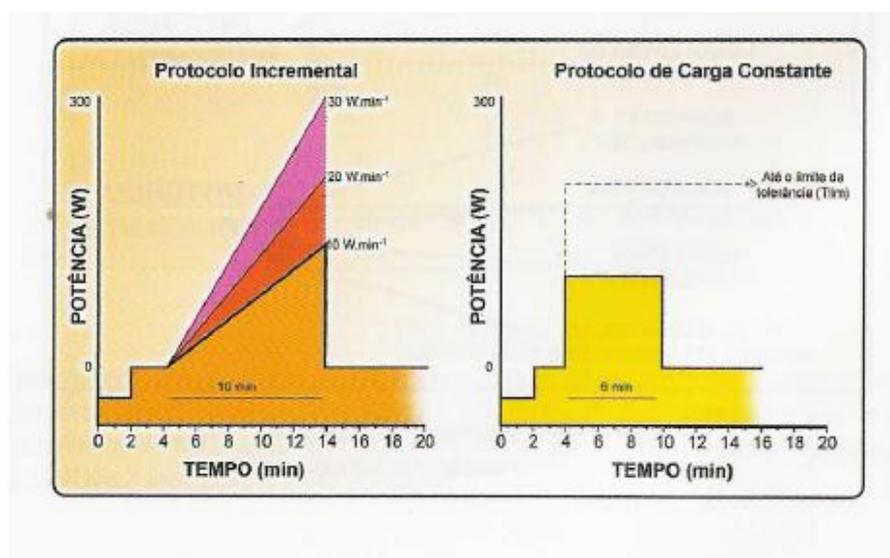
### 2.2.1.3 Tipo de protocolo para o TECP

Existem dois tipos básicos de protocolos, onde as respostas do TECP podem ser obtidas, eles são: (i) incremental, com aumento progressivo da carga em períodos predeterminados e (ii) protocolo de carga constante, em que a carga é mantida estável por um tempo fixo definido previamente, ou sustentada até o limite da tolerância (*endurance*). A escolha do protocolo depende do objetivo do teste (POWERS *et al.*, 2000; WASSERMAN *et al.*, 1999; NEDER & NERY, 2003) (Figura 4).

Os protocolos incrementais podem ser em rampa ou degraus; importante ressaltar que em protocolos do tipo rampa, o  $VO_2$  obtido está sempre atrasado em relação a carga imposta

naquele momento. Este atraso pode ser explicado pelo retardo dos gases no trajeto músculo-alveolar até serem captados em nível da boca e, adicionalmente, devido a difusibilidade do oxigênio e do dióxido de carbono. Felizmente este atraso é constante e corresponde a aproximadamente 40-60 segundos (seg); logo, a carga correspondente ao limiar de anaerobiose ocorreu há 40-60 seg. atrás. (NEDER & NERY, 2003)

Um protocolo adequado para pacientes deve corresponder: (i) uma fase inicial de repouso (2-3 minutos [min] ou mais), no qual se verifica a ausência de hiperventilação antes do iniciado teste; (ii) um período de aquecimento em carga zero (2-3 min.); (iii) um período de incrementação (8-12 min.); (iv) um período de recuperação ativa na carga próxima ao zero (3-6 min.) para que o indivíduo recupere seus níveis pressóricos diastólicos gradativamente para que não ocorra uma síncope por baixo débito; e, (v) um período de recuperação passiva em repouso final (2-3 min.). Neste sentido, embora a estimativa da carga de incremento durante o protocolo de rampa (com duração entre 8-12 min.) (MENEGHELO *et al.*, 2010; BALADY *et al.*, 2012; NEDER & NERY, 2003) possa ser realizada pela fórmula proposta pelo *American College Sport of Medice* (ACSM), em 1980, onde a carga (watts)= [(altura-idade)\*12] – [(150+6\*peso)]/100. Torna-se importante ressaltar que tal proposição se aplica de forma mais adequada a indivíduos saudáveis e ativos, sugerindo que a incrementação por meio da dedução da carga a partir da capacidade funcional relatada, somada a sensibilidade dos avaliadores, tem se mostrado mais adequada para exames em indivíduos sedentários e com disfunções.



**Figura 4.** Protocolos para TECP executado em cicloergômetros. À esquerda exemplos de protocolos incrementais do tipo rampa. À direita, exercício físico de carga constante (Neder *et al.*, 2003)

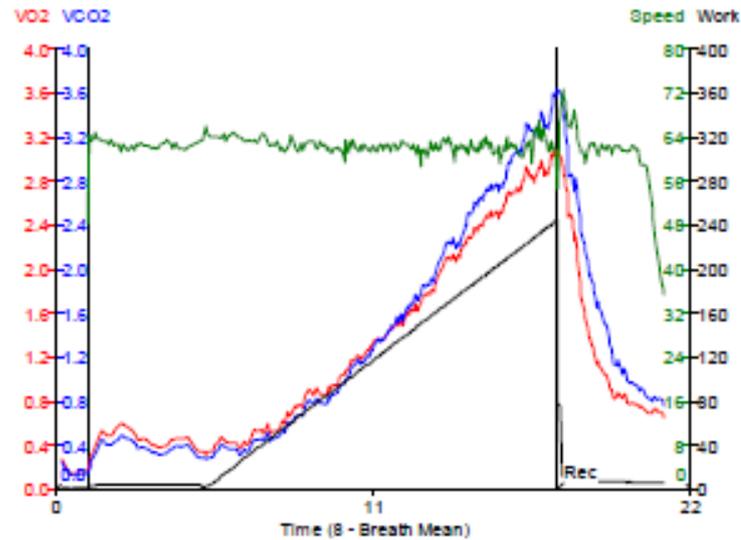
### 2.2.1.4 Variáveis do TECP

Durante o TECP serão fornecidas algumas variáveis como a carga ou potência, onde a potência do cicloergômetro representa a quantidade de trabalho (força aplicada x à distância) que é realizada num dado período de tempo. A potência geralmente é expressa em Watts ( $1W=1J/s$ ) ou ( $1W=6,12Kpm/min$  – Kilopondmetro por minuto). Vale ressaltar que valores bastante diferentes podem ser obtidos num mesmo indivíduo, caso se usem incrementos mais rápidos (geralmente valores de pico maiores) ou mais lentos (valores menores). Outra variável do TECP e uma das mais importantes é o  $VO_2$  (WASSERMAN *et al.*, 1999; POWERS *et al.*, 2000; MENEGHELO *et al.*, 2010) que constitui o volume de  $O_2$  extraído do ar inspirado pela ventilação pulmonar num dado período de tempo, calculado, portanto, como a diferença entre o volume de  $O_2$  inspirado e expirado (Figura 5). Em protocolo de carga constante, após considerarmos o tempo de atraso músculo-pulmão (carga incremental), o  $VO_2$  pode ser uma estimativa confiável da taxa periférica de troca de  $O_2$  (NEDER & NERY, 2003). Expresso em ml/min ou L/min (STPD); correções para a massa corporal total devem ser interpretadas com cautela, principalmente nos indivíduos em sobre peso<sup>79</sup>. E, como seria de se esperar, o  $VO_2$  depende da intensidade do exercício realizado (NEDER & NERY, 2003; POWERS *et al.*, 2000).

Ergoespirometria										
Gráficos	Tabela	Tempo min	FC bpm	VE l/min	VO <sub>2</sub> ml/(kg.min)	VCO <sub>2</sub> ml/(kg.min)	R	VE/VO <sub>2</sub>	VE/VCO <sub>2</sub>	pO <sub>2</sub> mbárit
		00:04	100	14,03	8,08	8,63	1,07	23,8	22,3	5,9
		00:14	91	14,81	9,32	8,49	0,91	21,8	23,9	7,5
		00:24	93	15,35	11,23	9,45	0,84	18,7	22,2	8,8
		00:35	92	18,59	14,52	11,51	0,79	17,5	22,1	11,5
		00:45	94	15,30	10,82	9,86	0,91	19,4	21,3	8,4
		00:55	96	17,81	12,74	10,82	0,85	19,2	22,5	9,7
		01:05	97	16,38	10,96	10,27	0,94	20,5	21,8	8,2
		01:15	99	16,33	10,96	10,14	0,92	20,4	22,1	8,1
		01:25	95	17,12	11,92	10,82	0,91	19,7	21,7	9,2
		01:35	97	17,02	11,37	10,82	0,95	20,5	21,5	8,6
		01:45	100	18,59	12,74	12,05	0,95	20,0	21,1	9,3
		01:55	101	17,17	11,64	11,23	0,96	20,2	20,9	8,4
		02:05	104	18,93	14,66	11,78	0,80	17,7	22,0	10,3
VE:	21,0	l/min	R:	0,90	FeCO <sub>2</sub> :	4,8	%	VExVCO <sub>2</sub> Slope = 18,27		
VO <sub>2</sub> :	15,21	ml/(kg.min)	VO <sub>2</sub> :	4,34	METs	FeO <sub>2</sub> :	15,6	%		
VCO <sub>2</sub> :	13,70	ml/(kg.min)	O <sub>2</sub> /FC:	9,5	ml/b					QUES = 2,78,83

Figura 5. Variáveis cardiorrespiratórias e metabólicas obtidas durante o teste cardiopulmonar com protocolo do tipo rampa em cicloergômetro (foto do autor).

Logo, a inclinação da relação linear entre o  $\text{VO}_2$  e a potência ( $\Delta\text{VO}_2/\Delta W$ ) oferece importantes informações relativas à capacidade em suprir, através de vias predominantemente aeróbias, as demandas metabólicas (Figura 6).



**Figura 6.** Variáveis cardiorespiratórias e metabólicas obtidas durante o teste cardiopulmonar com protocolo do tipo rampa. Potência (preto), Cadência da pedalada (verde); Consumo de  $\text{O}_2$  (vermelho) e Produção de  $\text{CO}_2$  (azul).

A produção de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) pode ser definida como o volume de  $\text{CO}_2$  adicionado ao ar inspirado pela ventilação pulmonar num dado período de tempo, calculado, portanto, como a diferença entre o volume de  $\text{CO}_2$  expirado e inspirado. No exercício de carga constante, após considerarmos o tempo de atraso músculo-pulmão (carga incremental) o  $\text{VCO}_2$  pode ser uma estimativa confiável da taxa periférica de troca de  $\text{CO}_2$  ( $\text{QCO}_2$ ); (NEDER & NERY, 2003; POWERS *et al.*, 2000) no entanto o  $\text{CO}_2$  é cerca de 20 vezes mais difusível que o  $\text{O}_2$  (ou seja, tem vastos depósitos corporais), uma dada mudança na  $\text{QCO}_2$  demora mais tempo de ser refletida na  $\text{VCO}_2$  do que variações na  $\text{QO}_2$  modificam o  $\text{VO}_2$ . O  $\text{VCO}_2$ , tanto no exercício máximo como no submáximo, apresentam escassa importância prática. Podemos ver algumas dessas variáveis diretamente na tela do programa do analisador de gases (Figura 7).



**Figura 7.** Tela do programa (*aerograph*<sup>®</sup>) utilizado em nosso trabalho com as variáveis cardiorrespiratórias e metabólicas obtidas durante o teste cardiopulmonar com protocolo do tipo rampa em cicloergômetro.

A taxa de troca gasosa (R) ou quociente respiratório reflete a razão entre a liberação de CO<sub>2</sub> e a captação de O<sub>2</sub> pulmonares medidos no ar expirado (VCO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub>). Embora o R tenha sido tradicionalmente utilizado como um indicador de exercício máximo (R<sub>máx</sub> > 1.15 ou 1.20), deve-se também analisar criticamente este conceito, considerando que quanto mais rápida for a incrementação para a aptidão de um indivíduo ou maior for a utilização de carboidrato, o R será substancialmente maior. Entretanto, os valores de R ao repouso tem significativa importância na identificação de hiperventilação voluntária (R > 0,9 no repouso, na ausência de hipoxemia): nenhum TECP deve iniciar em tais condições. (WASSERMAN *et al.*, 1999; NEDER & NERY, 2003). Nesse sentido, podemos utilizar testes de exercícios físicos denominado de exercício máximo, onde será observado pelo menos um dos critérios (HOWLEY *et al.*, 1995) a seguir: 1) platô no VO<sub>2</sub> (aumento ≤ 150ml/min<sup>-1</sup> ou 2ml/kg<sup>1</sup>min<sup>-1</sup>); 2) R (respiratory Exchange ratio) ≥ 1,15 FC<sub>Max</sub> ≥ 90% da prevista pela idade (220-idade) (KARVONEN *et al.*, 1957); 3) índice de percepção de esforço ≥ 18 (Escala de BORG) (BORG, 1998) e fadiga voluntária máxima com incapacidade de manutenção do ritmo preestabelecido. Para os exercícios considerados submáximos, o parâmetro de avaliação é o percentual de oitenta e cinco por cento da FC<sub>máx</sub>, como limite máximo em que a FC poderá chegar durante a execução do exercício (GLASS *et al.*, 2007). Como por exemplo: i) TC6M, (ENRIGHT *et al.*, 2003<sup>a</sup>; ENRIGHT *et al.*, 2003<sup>b</sup>; MARRARA *et al.*, 2012; PESSOA *et al.*, 2014); ii) Teste de degrau de seis minutos (TD6M) (PESSOA *et al.*, 2012; MACHADO *et al.*,

2007; DE FÁTIMA TRAVENSOLO *et al.*, 2013; BEYDON *et al.*, 2007); iii) SWT (DP *et al.*, 2014; PULZ *et al.*, 2008; SINGH *et al.*, 1992; WISE *et al.*, 2005; COELHO *et al.*, 2007). Por outro lado os testes de exercícios considerados máximo seriam: o teste de exercício cardiopulmonar (TECP), considerado amplamente na literatura como o padrão ouro (NEDER E NERY, 2003; STEIN, 2006; MENEGHELO *et al.*, 2010). Uma observação relevante sobre o SWT, é que dependendo da intensidade alcançada durante a realização do teste, este poderá ser considerado um teste de exercício máximo (DP MONTEIRO *et al.*, 2014).

TECP máximo ou sintoma-limitado está associado ao sistema de ergometria e será realizado com objetivo de avaliar a capacidade funcional dos indivíduos submetidos ao teste (HERDY *et al.*, 2016). Existem alguns tipos de ergômetros para a realização do TECP, como a bicicleta, esteira, escada, ergômetro de membros superiores e caiaque (NEDER & NERY, 2003).

O exercício físico desencadeia ajustes complexos e imediatos nos sistemas: cardiovascular, ventilatório, no metabólico e em sintomas (NEDER & NERY) subjetivos, afim de manter o melhor funcionamento dos órgãos e sistemas dessa maquinaria praticamente perfeita que é o corpo humano. A integração harmônica desses ajustamentos mostra que o nosso organismo está sempre tentando compensar situações adversas (J.W.WILLIAMSON *et al.*, 2010) da forma mais eficiente possível e com o menor dispêndio energético. Desta forma é possível inferir que o exercício físico não é tão simples quanto parece. Principalmente quando são analisadas as repercussões sofridas pelo corpo e suas compensações, através de um aparato tecnológico que permite observar importantes marcadores e variáveis que irão fornecer informações valiosas para o melhor entendimento dessa máquina complexa.

Durante os testes ergoespirométricos é impossível a comunicação verbal do paciente com o avaliador, (MENEGHELO *et al.*, 2010) pois isso acarretaria em alterações nos gases respirados, sendo assim e por conveniência foi criada uma escala de percepção subjetiva do esforço ou dispneia, que determina a taxa de esforço percebido. Também conhecida com escala de BORG (BORG, 1998); onde um pôster com as escrituras desta escala (0 – 20) é utilizada para a indicação manual da sensação subjetiva de cansaço. No entanto, a taxa de esforço percebido pode ainda ser avaliada através da escala de BORG modificada, *category-ratio* (CR-10), mais concisa (0 – 10) e parece ser mais pragmática e objetiva. Essa ferramenta utilizada na ergoespirometria deverá ser explicada ao paciente antes do início do teste. Poderá ser aplicada antes, durante e depois do TECP. É imprescindível que a escala de BORG esteja legível, no campo visual e ao alcance das mãos do paciente durante o teste, pois assim ele

poderá apontar o nível de cansaço com mais facilidade durante a realização do exame (Figura 8).

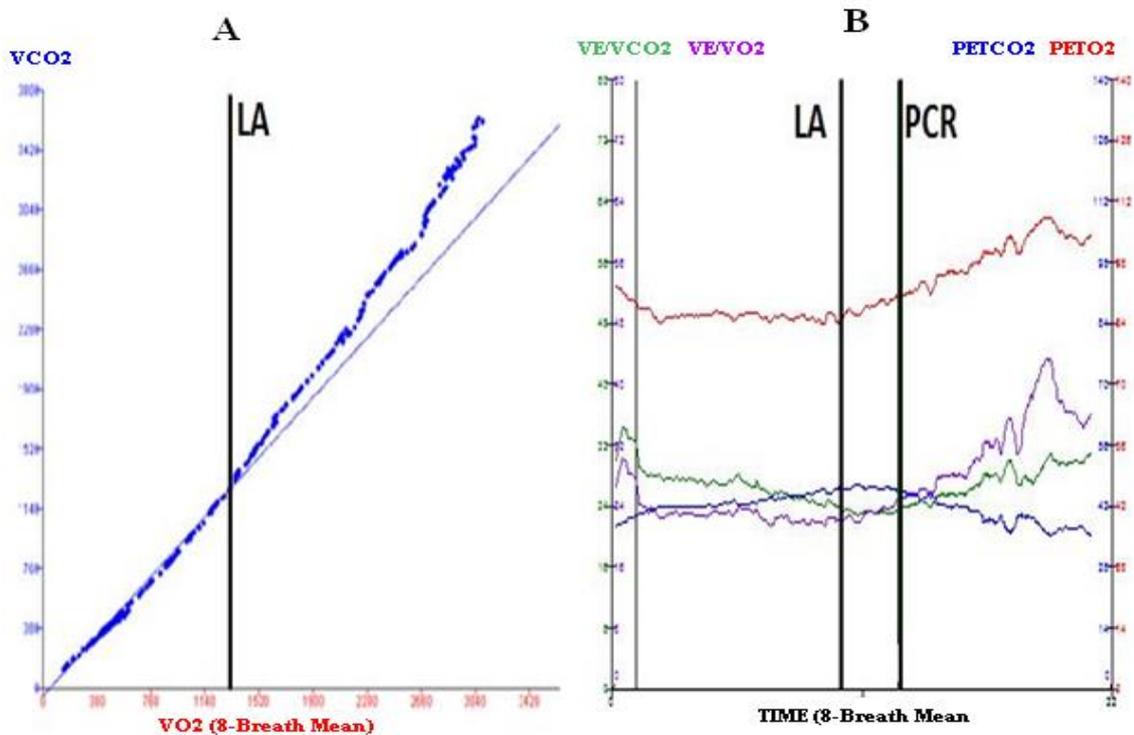
<b>0</b>	<b>NENHUMA</b>
<b>0,5</b>	<b>MUITO, MUITO LEVE</b>
<b>1</b>	<b>MUITO LEVE</b>
<b>2</b>	<b>LEVE</b>
<b>3</b>	<b>MODERADA</b>
<b>4</b>	<b>POUCO INTENSA</b>
<b>5</b>	<b>INTENSA</b>
<b>6</b>	
<b>7</b>	<b>MUITO INTENSA</b>
<b>8</b>	
<b>9</b>	<b>MUITO, MUITO INTENSA</b>
<b>10</b>	<b>MÁXIMA</b>

**Figura 8.** Escala de BORG modificada.(BORG, Gunnar. Borg's perceived exertion and pain scales. Human kinetics, 1998.modificada CR-10).

#### **2.2.1.5 Limiar anaeróbio ventilatório (LAV) ou 1º limiar ventilatório**

Caracteriza-se por marcar o início do acúmulo sustentando de lactato na corrente sanguínea, comparados aos valores de repouso. É percebido pela perda da linearidade entre a ventilação (VE) e o  $VO_2$  (primeiro ponto de inflexão - Figura 9). Isso se traduz na prática pelo equivalente de oxigênio mais baixo ( $VE/VO_2$ ) antes de seu aumento progressivo ou pelo início do aumento no  $VE/VO_2$  em desproporção ao  $VE/VCO_2$ . Além disso, observa-se o aumento na razão de trocas respiratórias ( $R = VCO_2/VO_2$ ) e um aumento progressivo da pressão expirada de oxigênio ( $PETO_2$ ) (ACSM, 2013; NEDER & NERY, 2003; WASSERMAN *et al.*, 1999). O LAV também pode ser identificado por intermédio de equações de regressão pelo método computadorizado *V-Slope* (BEAVER *et al.*, 1986;

WASSERMAN *et al.*, 1993; NEDER & NERY, 2003) (técnica que permite a identificação não invasiva do início da lactacidose durante um teste incremental), devendo este sempre ser comparado àquele observado pela análise visual.



**Figura 9.** Determinação dos limiares metabólicos pelo método visual gráfico: (A) V-slope.  $VO_2$ : consumo de oxigênio,  $VCO_2$ : produção de gás carbônico; (B) Variáveis  $V_E/VO_2$  (equivalente ventilatório de oxigênio),  $V_E/VCO_2$  (equivalente ventilatório de gás carbônico),  $PETO_2$  (pressão expirada de oxigênio) e  $PETCO_2$  (pressão expirada de gás carbônico) plotadas em função do tempo utilizadas. LAV, limiar anaeróbio; PCR, ponto de compensação respiratória. (Adaptado de Reis MS, Quitério RJ. Teste Cardiopulmonar. Sociedade de Cardiologia do Estado de São Paulo. Departamento de Fisioterapia. 2015)<sup>26</sup>.

Diversas metodologias têm sido utilizadas na determinação do LA (SAKABE *et al.*, 2004) tais como a análise da lactacidemia, na qual o LAV é determinado pelo ponto onde o acúmulo de ácido láctico no sangue é de 2mmol/L (STEGMANN *et al.*, 1981; KIDERMANN *et al.*, 1979), análise das variáveis ventilatórias, sendo que os estudos referem o LAV como ponto onde ocorre um aumento desproporcional da ventilação pulmonar (VE) e da produção de dióxido de carbono ( $VCO_2$ ) em relação ao  $VO_2$  pela perda da linearidade do comportamento dessas variáveis, apesar da manutenção da linearidade do  $VO_2$ , pela análise do comportamento da frequência cardíaca (FC) e pelo estudo da eletromiografia (SAKABE *et al.*, 2004; MARÃES V.R.F.S., 2004) (EMG).

### 2.2.1.7 Ponto de compensação respiratória (PCR) ou 2° Limiar ventilatório.

O segundo limiar ventilatório ou ponto de compensação respiratório (PCR) é caracterizado pela perda da linearidade da relação entre a VE e o  $VCO_2$  ( $VE/VCO_2$  mais baixo, antes do aumento progressivo), queda da  $PETO_2$  ( $PETO_2$  mais alta, precedendo sua queda abrupta). Além disso, é o ponto na qual a VE passa a aumentar em desproporção ao aumento no  $VCO_2$  (hiperventilação) (WASSERMAN *et al.*, 1999; NEDER & NERY, 2003). Durante o TECP, com o aumento progressivo da carga, a VE progride de maneira numérica até poder alcançar um platô máximo, o qual se caracteriza por uma grande produção de  $CO_2$ . Esse processo de incremento ventilatório serve como marcador de limitação do esforço. O VE é o resultado do produto do volume corrente (VC) pela frequência respiratória (FR). A avaliação isolada destes parâmetros, muitas vezes, pode ser útil. Cabe ressaltar que a FR durante o TECP dificilmente ultrapassa 50irpm (incursões respiratórias por minuto) (NEDER & NERY, 2003). Já o VC, que representa de modo parcial a capacidade de expansibilidade pulmonar, em repouso pode variar de 300 a 600ml por irpm, podendo aumentar em até 70% da capacidade vital quando o indivíduo é exposto ao esforço. Ainda em relação à ventilação, sabemos que alguns equipamentos fornecem dados da afinidade entre o espaço morto (VD) e o VC. O comportamento normal do chamado  $VD/VT$  diminui durante o esforço em indivíduos normais. O incremento poderá significar modificações significativas na relação VE/perfusão pulmonar, devendo o paciente ser observado com maior atenção nessas situações.

O equivalente ventilatório de oxigênio e gás carbônico são as razões  $VE/VO_2$  e  $VE/VCO_2$  respectivamente. Durante o exercício progressivo, as relações  $VE/VO_2$  e  $VE/VCO_2$  primeiro diminuem, para depois virem a aumentar até o final do exercício (POWERS *et al.*, 2000).

A pressão expirada de  $O_2$  ( $PETO_2$ ) ou fração expirada de  $O_2$  ( $FEO_2$ ) diminui transitoriamente logo após o início do exercício, desde que o aumento na VE seja mais lento do que o incremento no  $VO_2$ . Ao ser atingido o LAV, a  $PETO_2$  aumenta 10 a 30mmHg até se alcançar o esforço máximo. Esse aumento se deve à hiperventilação provocada pela diminuição do pH (acidose metabólica a ser compensada); a  $FEO_2$  tem o mesmo comportamento, diminuindo no início do esforço e atingindo um valor mínimo, aumentando de maneira progressiva com o aumento na carga até o pico do esforço (NEDER & NERY, 2003). Já a pressão expirada de  $CO_2$  ( $PETCO_2$ ) ou fração expirada de  $CO_2$  ( $FECO_2$ ), na qual o

valor ao nível do mar varia de 36 a 42mmHg e eleva-se 3 a 8mmHg durante o exercício de intensidade leve a moderada e atinge um valor máximo, quando é caracterizado o PCR e pode em seguida diminuir (WASSERMAN *et al.*, 1999; NEDER & NERY, 2003).  $\text{FECO}_2$  tem o mesmo comportamento durante exercícios com cargas crescentes. Já o pulso de oxigênio ( $\text{VO}_2/\text{FC}$ ), considerada uma das mais importantes variáveis utilizadas pela ergoespirometria, pois demonstra a quantidade de  $\text{O}_2$  que é transportada/consumida a cada sístole cardíaca pela musculatura periférica. Uma diminuição do desempenho do ventrículo esquerdo pode ser detectada pelo TECP, mediante observação de  $\text{O}_2$ .

### 2.2.2 Equações de predição

Conforme discutido anteriormente, o padrão ouro para avaliação da capacidade cardiorrespiratória é a medida do  $\text{VO}_2$  pelo TECP. Quando tais medidas não são acessíveis, alguns procedimentos indiretos como as fórmulas de predição, têm sido utilizados para calculá-los (MAGRANI *et al.*, 2010; DE LIMA *et al.*, 2006; ALMEIDA *et al.*, 2010; KOUTLIANOS *et al.*, 2013; MALEK *et al.*, 2004). Esses testes são aceitos no cotidiano e validados pelas correlações existentes entre o  $\text{VO}_2$  medido no TECP com estimado através de equações ou testes de desempenho (PETERSON *et al.*, 2003). O método padrão ouro será sempre a primeira escolha, mas a decisão entre usar teste máximo (TECP) ou a fórmula de predição (método indireto) dependerá das disponibilidades inerentes à realização deste exame, como disponibilidade de equipamento ou pessoal treinado apto para realizar o procedimento, além é claro, do indivíduo a ser avaliado. O TECP proporciona uma determinação mais fidedigna; entretanto, como é sabido, é mais dispendioso, necessita de equipe especializada e tende a ser mais demorado (NEDER & NERY, 2003). Em vista disso, a medida direta do  $\text{VO}_2$  normalmente é reservada para a pesquisa, para uso no treinamento desportivo ou é utilizada em ambiente clínico específico (POWERS *et al.*, 2010; WASSERMAN *et al.*, 1999). Outro método utilizado e considerado o mais próximo do TECP, seria a estimativa do  $\text{VO}_2$  por intensidade de esforço. Onde tem como desvantagem conduzir o indivíduo até a exaustão máxima com controle limitado das variáveis ventilatórias e metabólicas que pudessem garantir maior segurança. Entretanto, quando comparado ao teste de esforço submáximo, tem grande valor e utilidade clínica para o diagnóstico de cardiopatia isquêmica em indivíduos assintomáticos. Em alguns cenários o teste de esforço (ergometria) pode não ser usado para avaliação da capacidade cardiorrespiratória máxima (NEDER & NERY, 2003; WASSERMAN *et al.*, 1999). Nesse caso, foram desenvolvidos testes de esforço submáximo

com o objetivo básico de estimar a relação entre a resposta da frequência cardíaca de um indivíduo e seu  $\text{VO}_2$  durante o exercício progressivo e usá-lo para prever o  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ . Para determinar com exatidão esta relação, precisa medir a frequência cardíaca e o  $\text{VO}_2$ , pelo menos, duas ou mais intensidades de esforço submáximo. É um método mais prático quando comparado ao TECP, relativamente simples, menos dispendioso, mais célere e de baixo risco. (POWERS *et al.*, 2000). Embora, não tem a mesma precisão que o padrão ouro (MENEGHELO *et al.*, 2010). A escolha mais corriqueira do ergômetro para este teste submáximo tem sido o cicloergômetro, apesar disso, alguns locais realizam este tipo de teste utilizando também a esteira rolante. Provavelmente pela semelhança biomecânica entre a marcha e a atividade física realizada na esteira para este tipo de teste. Mas o cicloergômetro tem a vantagem de ser mais preciso em relação a carga oferecida ao indivíduo, ocupa menos espaço no ambiente de testes e mantém os sinais vitais coletados durante o teste com maior estabilidade. Nos testes submáximos realizados em esteira rolante, geralmente terminam com a frequência cardíaca, em regra, 85% da frequência cardíaca máxima (NEDER & NERY, 2003) prevista ( $[\text{FC máxima} - \text{FC em repouso}] \times [0,85] + \text{FC repouso}$ ), determinada previamente ao início do teste. Os protocolos de Bruce e Ellestad são os mais frequentemente utilizados com ergômetros como esteira rolante (BRUCE *et al.*, 1949). No protocolo de Bruce se preconiza incrementos da carga de forma progressiva a cada três minutos (protocolo de rampa), de modo que, a cada minuto, corresponda ao incremento de 1 MET. Se um indivíduo atingiu 10 minutos no protocolo de Bruce, podemos inferir que atingiu 10 METS ou  $35 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ . Já no protocolo de Ellestad, preconiza-se aumentos maiores de velocidade a cada 2 minutos, além disso, é utilizado a inclinação fixa até o oitavo minuto e, a partir desse ponto, passa inclinar-se 15%.

Existem diversos protocolos de campo para avaliar a CF, podemos citar ainda o Teste de Cooper (COOPER, 1968), onde o objetivo do teste é correr a maior distância possível em 12 minutos. Adicionalmente, o Teste da Milha, que é outro teste de campo bastante utilizado, onde o indivíduo deve correr 1600 metros (equivalente a uma milha) em um menor período de tempo possível (conhecidos como contrarrelógio). Tais testes são de fácil aplicabilidade, no entanto, o nível individual de motivação e o esforço máximo sem monitorização podem gerar resultados controversos ou passíveis de erros, além do risco inerente a cada teste destes. Paralelo a estes testes, o Colégio Americano de Medicina do Esporte (ACSM) desenvolveu equações que estimassem uma variável desses testes, como a do  $\text{VO}_2 \text{ máx}$  ( $\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ) =  $0,1 \times \text{velocidade (em m/minuto)} + 1,8 \times \text{velocidade} \times \text{inclinação} + 3,5$ . Essas equações de

predição têm sido frequentemente usadas para testes ergométricos. Tal equação foi desenvolvida para exercício aeróbico submáximo, onde se alcançava o estado estável de equilíbrio (*steady state*). Já a equação de Foster (FOSTER et al., 1996), na qual o  $\text{VO}_2\text{máx}$  (também em  $\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ) =  $0,694 \times \text{ACSM} + 3,33$ , foi desenvolvida também para protocolo em esteira rolante. Nesta ficou evidenciado uma melhor correlação na estimativa do  $\text{VO}_2\text{máx}$  em relação aos valores obtidos pelo padrão ouro (FOSTER et al., 1996). Por sua vez, Bruce e colaboradores descreveram equação de predição na qual o  $\text{VO}_2$  máx é uma variável dependente das características físicas anteriores ao teste, tais como: faixa etária, gênero, composição corporal e nível de atividade física. É de suma importância salientar que as equações de predição propostas por Bruce não tem relação com as variáveis obtidas no TECP. Isso é um importante diferencial em relação às equações de predição das quais o  $\text{VO}_2$  máx depende de variáveis relacionadas ao exercício físico, tais como: velocidade, inclinação, carga, duração do teste e frequência cardíaca atingida no teste.

No Brasil, as equações de predição mais encontradas em softwares de TCPE foram desenvolvidas por Jones (JONES & CAMPBELL, 1982) (especificamente para esteira) e as de Wassermann (WASSERMAN et al., 1999) (para esteira e cicloergômetro). No entanto, pouco se sabe sobre a validade da estimativa do  $\text{VO}_2$  pelas formulas de predição na população brasileira, em idosos e pacientes com IC crônica, uma vez que tais equações não foram validadas.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

- Comparar os valores do  $\text{VO}_2$  estimado através de fórmula preditiva do  $\text{VO}_2$  obtidos pelo TECP (padrão ouro) em homens jovens e idosos saudáveis e pacientes com de IC crônica na potência do LAV e no pico do exercício.

### **4 JUSTIFICATIVA**

O TECP é uma medida objetiva na avaliação da capacidade funcional e considerado o padrão ouro para analisar as variáveis metabólica e cardiorrespiratória, assim como para diagnóstico e prognóstico de doenças cardiovasculares, além de ser utilizado para a prescrição de exercícios físicos e terapêuticos. Entretanto para a realização do TECP é preciso um local

com condições ideais, aparato tecnológico muito dispendioso, equipe com pelo menos três pessoas capacitadas e que saibam analisar os resultados gerados pelo teste. Desta forma, poucos lugares têm capacidade física e financeira para esta finalidade. Podemos citar algumas universidades e alguns clubes de futebol que são capazes de dispor de tal aparato tecnológico. Pensando numa solução para os entraves econômico e tecnológico, é possível inferir que a matemática seria a saída plausível para que estes impeditivos sejam superados. Então tem sido considerada a aplicação de fórmulas preditivas simples que necessita de variáveis mais acessíveis. Praticamente sem custos, quando comparado ao padrão ouro, além de ser rápida e com capacidade de ser aplicada em um número maior de pessoas, economizando tempo e evitando possíveis limitações pertinentes à realização do TECP. Basta saber se esses valores apurados com esta fórmula preditiva serão similares, quando compararmos a utilização do padrão ouro. Esta fórmula preditiva poderá auxiliar na redução da carência de recursos e abrir um novo campo para a utilização deste recurso por parte de pesquisadores e clínicos. A literatura sugere que há necessidade de se estudar os fatores que, possivelmente, possam enviar os valores do  $VO_2$  no LAV e no pico do exercício, obtidos através da fórmula de predição. Portanto, a literatura ainda é incipiente neste assunto e por isso que este trabalho pode trazer um novo olhar para a aplicação do  $VO_2$  indireto no diagnóstico, prognóstico e prescrição de exercícios.

## **5 MATERIAL E MÉTODOS**

A pesquisa foi desenvolvida no GECARE, da UFRJ no Hospital Universitário Clementino Fraga Filho (HUCFF/UFRJ), onde o pesquisador responsável por este ambulatório é o Prof. Dr. Michel Silva Reis (coordenador do grupo de estudo e pesquisa).

Foram avaliados homens jovens e idosos saudáveis e pacientes com IC crônica. Todos concordaram em participar voluntariamente dessa pesquisa realizaram TECP com protocolo do tipo rampa em cicloergômetro.

### **5.1 Desenho do estudo**

Trata-se de um estudo observacional, experimental, prospectivo e transversal.

## 5.2 Amostra

Foram triados homens, que obedeceram aos seguintes critérios de inclusão e exclusão:

1) grupo jovens (GJ): com faixa etária entre 19 e 36 anos e saudáveis de acordo com avaliação clínica;

2) grupo idosos (GI) eram do sexo masculino, faixa-etária entre 60 e 91 anos, saudáveis segundo avaliação clínica.

Dos grupos GJ e GI foram excluídos os voluntários com história de doenças: cardiovascular, respiratória, muscular, ortopédica, neurológica, metabólica, imunológica e com evidências clínicas e/ou funcionais de doença pulmonar obstrutiva crônica ( $VEF_1/CVF < 70\%$ ) (PAUWELS *et al.*, 2001); e,

3) grupo com IC crônica (GIC): que deveriam apresentar história prévia de IC crônica estável, provocada por disfunção ventricular sistólica esquerda documentada nos últimos 6 meses (fração de ejeção do ventrículo esquerdo  $< 45\%$ ); estabilidade clínica nos últimos 3 meses e sem história de eventos anginosos ou coexistência de doença pulmonar. Foram excluídos os pacientes com evidências clínicas e/ou funcionais de doença pulmonar obstrutiva crônica ( $VEF_1/CVF < 70\%$ ) (PAUWELS *et al.*, 2001), asma induzida pelo exercício, angina ou arritmias significativas e infarto do miocárdio nos últimos 6 meses, e que participavam de programa de reabilitação cardiovascular no ano anterior ao estudo.

Todos os voluntários foram submetidos à avaliação clínica, exames bioquímicos e eletrocardiografia. A prova de função pulmonar (espirometria) foi realizada usando o espirômetro Vitalograph® (Hand-Held 2021 instrument. Ennis, Ireland) para execução da CVF que foi realizada para a determinação do  $VEF_1$  e da relação  $VEF_1/CVF$ . Os valores de referências utilizados foram os de Knudson e colaboradores (1983) e foram expressos em condições BTPS (Body Temperature Pressure Standard) e os procedimentos técnicos, critérios de aceitabilidade e reprodutibilidade foram realizados segundo as normas recomendadas pela American Thoracic Society (ATS, 1995). Adicionalmente, no GIC foi realizada a avaliação da capacidade funcional de acordo com a classificação da *New York Heart Association* (NYHA – classificados como NYHA II e III). Por fim, os pacientes com IC crônica estavam com medicação otimizada com 100% dos indivíduos em terapia betabloqueadora. Todos os participantes assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido segundo resolução 466/12 CONEP.

### **5.3 Protocolos experimentais**

Os voluntários recrutados passaram pelas seguintes etapas:

#### **5.3.1 Avaliação fisioterapêutica**

Os voluntários foram submetidos a uma avaliação detalhada (anamnese e exame físico), na qual foram coletados os dados pessoais, antropométricos, sinais vitais e estado nutricional (índice de massa corpórea – IMC).

#### **5.3.2 Teste de exercício cardiopulmonar máximo ou sintoma-limitado**

O TECP associado ao sistema de ergometria foi realizado com objetivo de avaliar a capacidade funcional dos voluntários e para identificar o resultado das variáveis respiratórias e metabólicas para posteriormente analisar comparativamente com os resultados obtidos pela fórmula preditiva. O TECP foi executado por meio do protocolo do tipo rampa em cicloergômetro (Inbramed, Porto Alegre, Brasil). Inicialmente, os pacientes permanecerão três minutos em repouso sentado no cicloergômetro; na sequência, iniciará o período de aquecimento por três minutos, pedalando na com a carga que variou de 1W (para os pacientes idosos e cardiopatas com IC crônica) a 15W (para os jovens aparentemente saudáveis). Após esta etapa, o protocolo de exercício físico será iniciado com incrementos de 10 a 25W de carga a cada min. até a exaustão física – isto é, impossibilidade de o voluntário executar a carga imposta. A distribuição da carga será controlada pelo avaliador junto ao sistema de ergometria. Por fim, o período de recuperação pós-teste, consistirá de três minutos na carga de 25W, seguidos de dois minutos de repouso, onde continuará sentado na bicicleta ergométrica enquanto a coleta dos sinais vitais, saturação periférica de O<sub>2</sub>, das variáveis ventilatórias, metabólicas e subjetivas continuarão a ser captadas, mesmo após a interrupção da carga. As variáveis ventilatórias e metabólicas e a FC serão captadas e registradas durante todo o período do teste. A saturação periférica de oxigênio - SpO<sub>2</sub> (Onyx 9500®) e o eletrocardiograma ECG (Wincardio USB) - nas derivações MC5, DII, DIII, aVR, aVL e aVF modificadas e de V1 a V6 – serão monitorizados continuamente durante todo o procedimento experimental. A pressão arterial foi verificada de três em três, com cuidados em evitar interferências na coleta das variáveis. Os testes serão conduzidos por uma equipe de

pesquisadores composta de fisioterapeutas e médicos, os quais estarão atentos aos sinais e sintomas de resposta inadequada ao exercício. As variáveis ventilatórias e metabólicas serão obtidas por meio de um sistema computadorizado de análise ergoespirométrica (VO<sub>2000</sub> – *Portable Medical Graphics Corporation*<sup>®</sup>). O volume corrente será obtido por meio de um pneumotacômetro de Pitot de alto fluxo, conectado ao sistema VO<sub>2000</sub> e acoplado a uma máscara facial, selecionada de acordo com o tamanho da face do voluntário, para ficar devidamente ajustada, evitando escapes de ar. Após o período de colocação da máscara, o voluntário foi instruído a não se comunicar mais de forma verbal e sua comunicação a partir desse momento foi através do gestual das mãos, principalmente para informar a taxa de esforço percebido através da escala de Borg modificada, CR-10 a cada 3min no decorrer do teste; ou até mesmo para sinalizar que a interrupção do protocolo. O teste foi iniciado quando o quociente respiratório (R) estiver no valor de 0,8. O equipamento fornece em tempo real os valores de VO<sub>2</sub>, da VCO<sub>2</sub>, da ventilação pulmonar (VE), da FC e da SpO<sub>2</sub>. Os valores de equivalentes ventilatórios de O<sub>2</sub> (VE/VO<sub>2</sub>), equivalentes ventilatórios de VCO<sub>2</sub> (VE/VCO<sub>2</sub>), as variáveis metabólicas, a razão das trocas respiratórias (RER), frações parciais ao final da expiração do O<sub>2</sub> (FETO<sub>2</sub>), frações parciais ao final da expiração de CO<sub>2</sub> (FETCO<sub>2</sub>), volume corrente (VC) e a frequência respiratória (FR), também foram calculados e armazenados.

### 5.3.3 Avaliação eletrocardiográfica (ECG)

Eletrocardiograma de 12 derivações foi realizado durante o TECP em todos os voluntários; em repouso, com um registro longo em D2 para avaliação de arritmias e durante todo o teste. A análise eletrocardiográfica foi realizada sendo correlacionada com os dados clínicos.

### 5.3.4 Utilização da fórmula preditiva

Após aferição e análise dos resultados obtidos no TECP, foi criada uma planilha no Microsoft Office Excel<sup>®</sup> para Windows XP<sup>®</sup> (EUA) e os dados foram agrupados de forma que foi possível a aplicação da fórmula preditiva de Astrand (COOPER & STORER, 2005) na potência do LAV e pico do exercício físico, sendo:

$$\text{VO}_2 \text{ mL/kg.min}^{-1} = (\text{POTÊNCIA watts} * 12) + 300 / \text{MASSA CORPORAL kg}$$

Na sequência, os valores do  $VO_2$  referentes ao momento do LAV e pico dos dois métodos foram comparados para verificar similaridade e concordância.

#### **5.4 Considerações éticas**

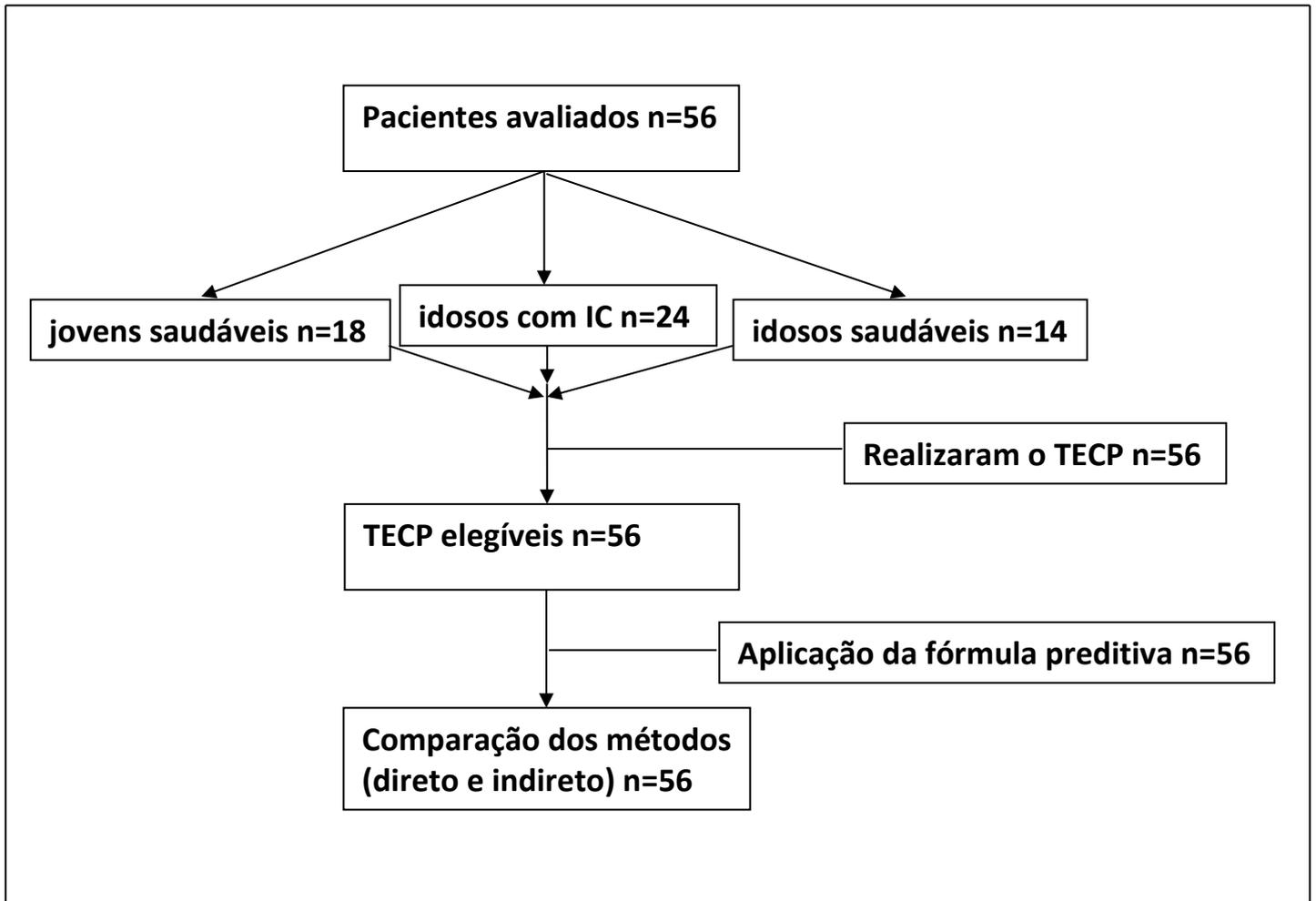
Este trabalho foi aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade Federal de São Carlos, SP, Brasil (protocolo 238/06) e da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil (protocolo 1.245.566). Todos os voluntários assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e a privacidade dos sujeitos de pesquisa e confidencialidade dos dados foram totalmente garantidas durante todas as etapas do estudo.

#### **5.5 Análise estatística**

Foi utilizado o programa estatístico Sigmaplot (*for Windows*) no tratamento dos dados. Inicialmente, aos dados foram aplicados os testes de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e homogeneidade das variâncias de Levene. Para as variáveis paramétricas da comparação do  $VO_2$  obtido e estimado, foi utilizado o teste t-student pareado. Por outro lado, nas variáveis não paramétricas, foi aplicado o teste de Wilcoxon. Os dados foram apresentados em média e desvio padrão e o nível de significância estabelecido foi  $p < 0,05$ .

### **6 RESULTADOS**

Foram estudados 56 voluntários divididos em 3 grupos: sendo um grupo com 18 jovens (idade  $27 \pm 6,01$ ) saudáveis (GJ), no segundo grupo foram 14 idosos (idade  $61 \pm 6,3$ ) saudáveis (GI) e o terceiro grupo com 24 pacientes idosos (idade  $53 \pm 13,6$ ) com IC crônica (GIC). Todos foram submetidos ao teste cardiopulmonar em cicloergômetro para determinação do  $VO_2$  no LAV e no pico do exercício. Posteriormente, foi realizada a estimativa do  $VO_2$  na potência do LAV e no pico do exercício por meio de fórmula de predição. Nenhum dos voluntários foi excluído da pesquisa após o início das coletas, conforme descrição na figura 10.



**Figura 10.** Fluxograma descrevendo a análise dos pacientes em cada etapa do estudo.

Os dados demográficos e antropométricos dos voluntários estudados foram apresentados a seguir na tabela 1.

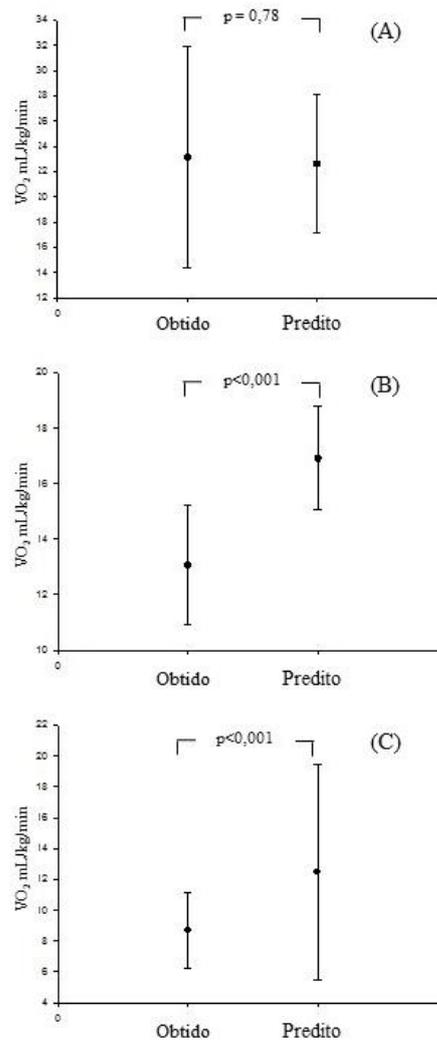
**Tabela 1.** Dados antropométricos e características clínicas da população do estudo.

<b>Variáveis</b>	Jovens (n=18)	Idosos (n=14)	IC crônica (n=24)
Idade	27.1±6.01	61.4±6.3	53.1±13.6
Estatura (cm)	170	171±0.05	169±7
Massa corporal (kg)	76	75±6.3	76.27±12.83
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	24.9	24.3±3.0	26.5±3.8
<b>Classificação Funcional</b>			
NYHA II/III	—	—	9/15
<b>TECP</b>			
<b>Limiar anaeróbio ventilatório</b>			
VO <sub>2</sub> LAV (L/min)	1.8±0.61	1.0±0.20	655.8±189.1
VO <sub>2</sub> LAV(mL/kg/min)	23.1	13.1	8.7±2.5
<b>Pico exercício físico</b>			
VO <sub>2</sub> pico (mL/min)	2.9±0.93	1624±267	1135.0±325.8
VO <sub>2</sub> pico (mL/kg/min)	37.1	21.8±3.4	15.1±4.1
VE (L/min)	32.1±9.88	30.3±6.29	51.73±12.93
<b>Espirometria</b>			
VEF <sub>1</sub> (% do predito)	98.56±8.01	99.60±9.40	80.29±8.58
VEF <sub>1</sub> /CVF	96.67±5.43	94.40±5.80	82.00±4.24
<b>Medicações</b>			
Diuréticos	—	—	14
Digitálicos	—	—	9
β-bloqueadores	—	—	24
Inibidor-ECA	—	—	15

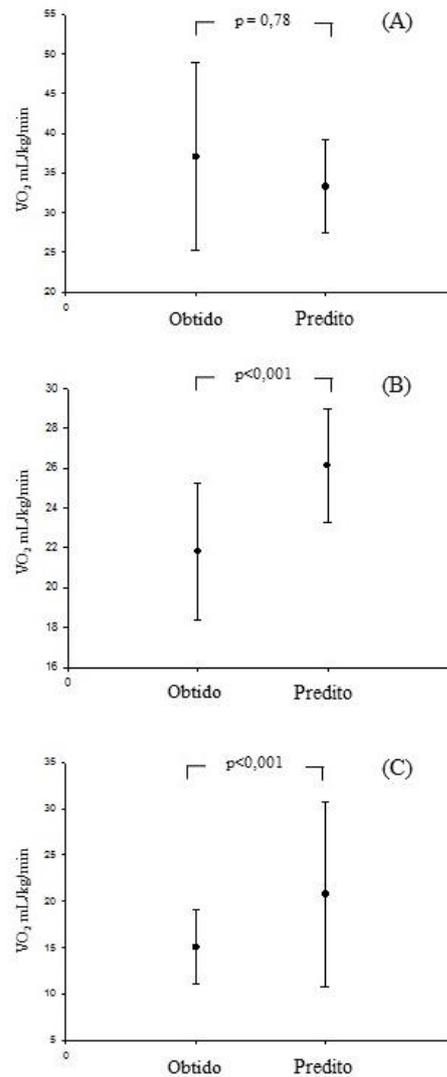
IMC: índice de massa corporal (dado em kg /cm<sup>2</sup>); VO<sub>2</sub>: consumo de oxigênio dado em mL/ kg.mim<sup>-1</sup>), LA: liminar anaeróbico. Todos em média e DP: desvio padrão.

Após o acompanhamento e avaliação dos voluntários, verificamos que não houve diferença estatística quando se comparou os dados do VO<sub>2</sub> no LAV e do VO<sub>2</sub> no pico do exercício, obtidos através da fórmula preditiva com o TECP nos grupos de jovens saudáveis.

Entretanto, nos grupos GI e GIC, a fórmula preditiva superestimou os valores de  $\text{VO}_2$  no LAV e o  $\text{VO}_2$  no pico do exercício (figura 11 e 12).



**Figura 11.** Consumo de oxigênio obtido e predito dos grupos estudados no limiar anaeróbio ventilatório. (A) homens jovens saudáveis; (B) homens idosos saudáveis; (C) homens com insuficiência cardíaca crônica. Teste t-student pareado ou wilcoxon com  $p < 0,05$ .



**Figura 12.** Consumo de oxigênio obtido e predito dos grupos estudados no pico do exercício físico. (A) homens jovens saudáveis; (B) homens idosos saudáveis; (C) homens com insuficiência cardíaca crônica. Teste t-student pareado ou wilcoxon com  $p < 0,05$

## 7 Considerações finais

A obtenção do VO<sub>2</sub> no LAV e do VO<sub>2</sub> no pico do exercício, aferidos através da fórmula preditiva, revelou-se superestimado para os homens idosos e com IC crônica quando comparado aos valores do TECP (padrão ouro). No grupo jovem, os dois métodos de mostraram similaridade na obtenção do VO<sub>2</sub>.

### 7.1 Perspectivas para dissertação final

Para a versão final desse trabalho, pretendemos desenvolver análises de correlação e concordância entre os métodos de obtenção do VO<sub>2</sub>. Dessa forma, permitir um entendimento mais sólido sobre a validade da similaridade dos métodos.

### 7.2 Limitações

Algumas limitações do nosso trabalho:

- O fato do analisador de gases fornecer os dados a cada três respirações, mesmo a coleta sendo realizada respiração a respiração;
- O uso de betabloqueadores pelos pacientes com IC crônica;
- O rigor dos critérios de exclusão restringiu uma amostra maior.

## 8 REFERÊNCIAS

1. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription, 6<sup>o</sup> edição, Williams & Wilkins: Baltimore, 2000.
2. AGOSTONI, Piergiuseppe *et al.* Prognostic value of indeterminable anaerobic threshold in heart failure. *Circulation: Heart Failure*, p. CIRCHEARTFAILURE. 113.000471, 2013.
3. AINSWORTH, BE *et al.* Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v.25, n.1, p.71 - 80, jan. 1993.
4. AINSWORTH, BE; *et al.* Compendium of Physical Activities: a second update of codes and MET values. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v.43, n.8, p.1575 – 1581, ago. 2011.
5. AINSWORTH, BE; *et al.* Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v.32, n.9, p.498 – 504, set. 2000.
6. ALBUQUERQUE, Denilson Campos de *et al.* I Brazilian registry of heart failure- clinical aspects, care quality and hospitalization outcomes. *Arquivos brasileiros de cardiologia*, v. 104, n. 6, p. 433-442, 2015.

7. ALMEIDA, Jeoser Alves de *et al.* Validade de equações de predição em estimar o VO<sub>2</sub>max de brasileiros jovens a partir do desempenho em corrida de 1.600 m. *Rev. bras. med. esporte*, p. 57-60, 2010.
8. AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE *et al.* ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. Lippincott Williams & Wilkins, 2013.
9. AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE. (2006). ACSM's guidelines for exercise testing and prescription (7th ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
10. ARENA R, *et al.* Peak VO<sub>2</sub> and VE/VCO<sub>2</sub> slope in patients with heart failure: a prognostic comparison. *Am Heart J.* v. 147, n. 2, p. 354-60, 2004.
11. ARENA, R *et al.* Prognostic value of timing and duration characteristics of exercise oscillatory ventilation in patients with heart failure. *J Heart Lung Transplant.* v. 27, n. 3, p. 341-7, 2008.
12. ARENA, Ross *et al.* Assessment of functional capacity in clinical and research settings. *Circulation*, v. 116, n. 3, p. 329-343, 2007.
13. BALADY GJ, ARENA R, SIETSEMA K, MYERS J, COKE L, FLETCHER GF *et al.* Clinician's guide to cardiopulmonary exercise testing in adults: a scientific statement from the American Heart Society. *Circulation* 2010; 122: 191-225.
14. BELLINI, Álvaro José *et al.* I Consenso Nacional de Reabilitação Cardiovascular. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, v. 69, n. 4, 1997.
15. BEYDON, Nicole *et al.* An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: pulmonary function testing in preschool children. *American journal of respiratory and critical care medicine*, v. 175, n. 12, p. 1304-1345, 2007.
16. BOCCHI, Edimar Alcides *et al.* Atualização da diretriz brasileira de insuficiência cardíaca crônica-2012. *Arquivos brasileiros de Cardiologia*, v. 98, n. 1, p. 1-33, 2012.
17. BOCCHI, Edimar Alcides *et al.* Atualização da diretriz brasileira de insuficiência cardíaca crônica-2012. *Arquivos brasileiros de Cardiologia*, v. 98, n. 1, p. 1-33, 2012.
18. BORG, Gunnar. Borg's perceived exertion and pain scales. *Humankinetics*, 1998.
19. BRAUNWALD, Eugene; ZIPES, Douglas P.; LIBBY, Peter. *Tratado de Medicina Cardiovascular Braunwald -Obra em 2 Volumes.* Editora Roca, 2003.

20. BRUCE, Robert A. et al. Normal respiratory and circulatory pathways of adaptation in exercise. *Journal of Clinical Investigation*, v. 28, n. 6 Pt 2, p. 1423, 1949.
21. CAHALIN LP, *et al.* A meta-analysis of the prognostic significance of cardiopulmonary exercise testing in patients with heart failure. *Heart Fail Rev.* v. 18, n. 1, p. 79-94, 2013.<sup>b</sup>
22. CAHALIN LP, *et al.* Inspiratory muscle training in heart disease and heart failure: a review of the literature with a focus on method of training and outcomes. *Expert Rev Cardiovasc Ther.* v. 11, n. 2, p. 161-77, 2013.<sup>a</sup>
23. CARVALHO, Tales de *et al.* Normatização dos equipamentos e técnicas da reabilitação cardiovascular supervisionada. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, v. 83, n. 5, p. 448-452, 2004.
24. COELHO, Cristiane Cenachi *et al.* Comparative analysis and reproducibility of the modified shuttle walk test in normal children and in children with cystic fibrosis. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, v. 33, n. 2, p. 168-174, 2007.
25. COOPER, Christopher B.; STORER, Thomas W. Teste ergonômico: aplicações práticas e interpretação. Revinter, 2005.
26. COOPER, K.H. A means of assessing maximal oxygen intake. Correlation between field and treadmill testing. *JAMA*;203(3):201-204; 1968.
27. CORNELIS J, *et al.* Prognostic respiratory parameters in heart failure patients with and without exercise oscillatory ventilation - a systematic review and descriptive meta-analysis. *Int J Cardiol.* 182, p. 476-86, 2015.<sup>a</sup>
28. DALL'AGO P, *et al.* Inspiratory muscle training in patients with heart failure and inspiratory muscle weakness: a randomized trial. *J Am Coll Cardiol.* v. 47, n. 4, p. 757-63, 2006.
29. DATASUS, M. S. SVS/DASIS. Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM). Recuperado em maio, 2014.
30. DE FÁTIMA TRAVENSOLO, Cristiane; GOESSLER, Karla Fabiana; POLITO, Marcos Doederlein. Correlação entre o teste de caminhada de seis minutos e o teste do degrau em idosos. *Revista Brasileira de Geriatria e Gerontologia*, v. 16, n. 2, p. 375-383, 2013.
31. DE LIMA, Dartel Ferrari; ABATTI, Paulo José. Formulação de equação preditiva do Vo<sub>2</sub>max baseada em dados que independem de exercícios físicos. *Semina: Ciências Biológicas e da Saúde*, v. 27, n. 2, p. 139-149, 2006.

32. DOS SANTOS NOGUEIRA, Fernando; POMPEU, Fernando Augusto Monteiro Sabóia. Modelos para predição da carga máxima no teste clínico de esforço cardiopulmonar. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, v. 87, n. 2, 2006.
33. DP.MONTEIRO *et al.*; Shuttle walk test como instrumento da avaliação da capacidade funcional: uma revisão da literatura *Revista Ciência & Saúde*, Porto Alegre, v. 7, n. 2, p. 92-97, mai./ago. 2014.
34. ENRIGHT, Paul L. *et al.* The 6-min walk test: a quick measure of functional status in elderly adults. *CHEST Journal*, v. 123, n. 2, p. 387-398, 2003.
35. ENRIGHT, Paul L. The six-minute walk test. *Respiratory care*, v. 48, n. 8, p. 783-785, 2003.
36. FARIAS, Norma; BUCHALLA, Cassia Maria. A classificação internacional de funcionalidade, incapacidade e saúde da organização mundial da saúde: conceitos, usos e perspectivas. *Rev.bras.epidemiol.*, p. 187-193, 2005.
37. FLEG, JL; *et al.* AHA Science Advisory: Assessment of Functional Capacity in Clinical and Research Applications. *Circulation*, v.102, n.13, p.1591 – 1597, set. 2000.
38. FLETCHER, GF; *et al.* AHA Scientific Statements: Exercise Standards for Testing and Training. *Circulation*, v.128, n.8, p.873 – 934, ago. 2013.
39. FOSTER C.; *et al.*; Predicting functional capacity during treadmill testing independent of exercise protocol. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, Indianapolis, v.28,n.6, p. 752-756, 1996.
40. GARBER, CE; *et al.* Quantity and Quality of Exercise for Developing and Maintaining Cardiorespiratory, Musculoskeletal, and Neuromotor Fitness in Apparently Healthy Adults: Guidance for Prescribing Exercise. *Medicine & Science In Sports & Exercise*, v.45, n.7, p.1334 – 1359, Jul. 2011.
41. GIBBONS RJ, *et al.* ACC/AHA Guidelines for Exercise Testing. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee on Exercise Testing). *J Am Coll Cardiol*. v. 30, n. 1, p. 260-311, 1997.
42. GIBBONS, RJ; *et al.* ACC/AHA 2002 Guideline Update for Exercise Testing. A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee on Exercise Testing). *Circulation*, v.106, n.14, p.1883 – 1892, out. 2002.

43. GLASS, Stephen *et al.* (Ed.). ACSM'S metabolic calculations handbook. Lippincott Williams & Wilkins, 2007.
44. GLASS, Stephen *et al.* (Ed.). ACSM'S metabolic calculations handbook. Lippincott Williams & Wilkins, 2007.
45. GOSKER, Harry R. *et al.* Skeletal muscle dysfunction in chronic obstructive pulmonary disease and chronic heart failure: underlying mechanisms and therapy perspectives. *The American Journal of Clinical Nutrition*, v. 71, n. 5, p. 1033-1047, 2000.
46. GUYTON, Arthur Clifton; HALL, John E.; GUYTON, Arthur C. *Tratado de fisiologia médica*. Elsevier Brasil, 2006.
47. HECK, H., Mader, A., Hess, G., Mücke, S., Müller, R., & Hollmann, W. (1985). Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *International journal of sports medicine*, 6(03), 117-130.
48. HERDY, Artur Haddad *et al.* Cardiopulmonary Exercise Test: Background, Applicability and Interpretation. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, v. 107, n. 5, p. 467-481, 2016.
49. HOWLEY ET, Basset Jr DR, Welch HG. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *MedSci Sports Exerc.* 1995; 27 (9): 1292-301
50. HÜLSMANN M, *et al.* Muscle strength as a predictor of long-term survival in severe congestive heart failure. *Eur J Heart Fail.* v. 6, n. 1, p. 101-7, 2004.
51. IZAWA KP, *et al.* Handgrip strength as a predictor of prognosis in Japanese patients with congestive heart failure. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil.* v. 16, n. 1, p. 21-7, 2009.
52. J.W.WILLIAMSON *et al* The relevance of central command for neural cardiovascular control of exercise; *Exp Physiol.*, 2010, 95, 11pp 1043-1048.
53. Jones NL, Campbell EJ. *Clinical exercise testing*. Philadelphia: Saunders; 1982. p. 202.
54. KARVONEN, J.J.; Kentala, E.; Mustala, O. The effect of training on the heart rate, a longitudinal study. *Ann Med Exp.Biol.Fenn*, v. 35, p. 307, 1957.
55. KINDERMANN, W.; SIMON, G.; KEUL, J. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, v. 42, n. 1, p. 25-34, 1979.

56. KINDERMANN, W.; SIMON, G.; KEUL, J. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, v. 42, n. 1, p. 25-34, 1979.
57. KNUDSON, Ronald J. *et al.* Changes in the normal maximal expiratory flow-volume curve with growth and aging 1–3. *American Review of Respiratory Disease*, v. 127, n. 6, p. 725-734, 1983.
58. KOUTLIANOS, N. *et al.* Indirect estimation of VO<sub>2</sub>max in athletes by ACSM's equation: valid or not?. *Hippokratia*, v. 17, n. 2, p. 136, 2013.
59. MAGRANI, Paula; POMPEU, Fernando Augusto Monteiro Saboia. Equações para a previsão da potência aeróbia (VO<sub>2</sub>) de jovens adultos brasileiros. *Arq Bras Cardiol*, p. 763-770, 2010.
60. MALEK, Moh H. *et al.* Validity of VO<sub>2</sub>max equations for aerobically trained males and females. *Medicine and science in sports and exercise*, v. 36, n. 8, p. 1427-1432, 2004.
61. MANGINI S, ISSA VS. *Manual de Cardiologia: Fisiopatologia da Insuficiência cardíaca – Ativação Neuro-humoral*. São Paulo: Atheneu, p. 45-48, 2012. 44. M
62. MARÃES, V.R.F.S. Determinação do limiar de anaerobiose a partir da análise da frequência cardíaca, da eletromiografia de superfície e das variáveis ventilatórias e metabólicas durante exercício físico dinâmico. 2004. Tese Doutorado em Fisioterapia) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
63. MARRARA, KamillaTays *et al.* Responsiveness of the six-minute step test to a physical training program in patients with COPD. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, v. 38, n. 5, p. 579-587, 2012.
64. MEDICAL SECTION OF THE AMERICAN LUNG ASSOCIATION *et al.* American Thoracic Society Standardization of Spirometry, 1994 Update. 2012.
65. MENEGHELO, Romeu S. *et al.* III Diretrizes da Sociedade Brasileira de Cardiologia sobre teste ergométrico. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, v. 95, n. 5, p. 1-26, 2010.
66. NEDER, JA; NERY, LE. O teste de exercício cardiopulmonar. *Jornal de Pneumologia*, v.28, n.3, p.166-206, out. 2002.
67. NEDER, José A.; NERY, Luiz E. *Fisiologia clínica do exercício: teoria e prática*. São Paulo: Artmed, v.1, 2003.

68. OLSON, LJ; *et al.* Exercise oscillatory ventilation: Instability of breathing control associated with advanced heart failure. *Chest*. 133, p. 464-481, 2008.
69. PAUWELS RA; *et al.* Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease. NHLBI/WHO Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD) Workshop summary. *Am J Respir Crit Care Med*. v. 163, p. 1256-76, 2001.
70. PESSOA, Bruna V. *et al.* Validity of the six-minute step test of free cadence in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Brazilian journal of physical therapy*, v. 18, n. 3, p. 228-236, 2014.
71. PETERSON, MATTHEW J.; PIEPER, CARL F.; MOREY, Miriam C. Accuracy of VO<sub>2</sub> (max) prediction equations in older adults. *Medicine and science in sports and exercise*, v. 35, n. 1, p. 145-149, 2003.
72. POWERS, Scott K. *et al.* Fisiologia do exercício: teoria e aplicação ao condicionamento e ao desempenho. 2000.
73. PULZ, Cristiane *et al.* Incremental shuttle and six-minute walking tests in the assessment of functional capacity in chronic heart failure. *Canadian Journal of Cardiology*, v. 24, n. 2, p. 131-135, 2008.
74. SAKABE, D.I.; Novaes, L.D.; Sirol, F.N.; Marães, V.R.F.S.; Oliveira, L.;Darezzo, F.; CATAI, AM.; SILVA, E. Comparison of diferent methods for detecting exercise anaerobic threshold in em .In: *AmerPhysiolSoc*, p.352, 2004.
75. SINGH, Sally J. *et al.* Development of a shuttle walking test of disability in patients with chronic airways obstruction. *Thorax*, v. 47, n. 12, p. 1019-1024, 1992.
76. STEGMANN, H.; KINDERMANN, W.; SCHNABEL, A. Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *Internationaljournalofsports medicine*, v. 2, n. 03, p. 160-165, 1981.
77. STEIN, R. Teste cardiopulmonar de exercício: noções básicas sobre o tema. *Rev.Soc.Cardiol. Rio Grand Sul*, v. 9, p. 1-4, 2006.
78. TASK FORCE OF THE EUROPEAN SOCIETY OF CARDIOLOGY *et al.* Heart rate variability standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Eur heart J*, v. 17, p. 354-381, 1996.
79. THOMPSON, Paul D. *et al.* ACSM's new preparticipation health screening recommendations from ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. *Current sports medicine reports*, v. 12, n. 4, p. 215-217, 2013.

80. WASSERMAN, K.; Hansen, J.E.; SUE, D.; Whipp, B.J.; Casaburi, R. Principles of exercise testing and interpretation. 3<sup>a</sup> ed. Philadelphia: Williams & Wilkins, 1999.
81. WASSERMAN, Karlman; HANSEN, James E.; SUE, Darryl Y. Principles of exercise testing and interpretation: including pathophysiology and clinical applications. 3<sup>a</sup> ed. Philadelphia: Williams & Wilkins, 1999.

## **APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CARDIOLOGIA**  
**NÍVEL MESTRADO**  
**INSTITUTO DO CORAÇÃO EDSON SAAD**  
**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

VALIDADE DA FÓRMULA PREDITIVA DO CONSUMO DE OXIGÊNIO EM JOVENS E  
IDOSOS SAUDÁVEIS E PACIENTES COM INSUFICIÊNCIA CARDÍACA CRÔNICA.

### **TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

Projeto de Pesquisa: Validade da fórmula preditiva do consumo de oxigênio em jovens e  
idosos saudáveis e pacientes com insuficiência cardíaca crônica.

Prezado Senhor (a),

Você está sendo convidado a participar de uma pesquisa sobre a contribuição de um método de obtenção da variável correspondente ao consumo de oxigênio através de uma fórmula de predição. O pesquisador Rafael Santiago Floriano e Michel Silva Reis desenvolverão a pesquisa com as seguintes características:

Objetivo do estudo: Comparar os valores do  $VO_2$  obtidos através de fórmula preditiva do  $VO_2$  obtidos pelo TECP (padrão ouro) em homens jovens e idosos saudáveis e pacientes com de IC crônica na potência do LA e no pico do exercício.

Descrição dos procedimentos do estudo: Inicialmente você passará pela avaliação do médico e pelos seguintes exames: avaliação física (medida da altura, peso, pressão arterial); avaliação do pulmão (ausculta pulmonar e espirometria) e do coração (eletrocardiograma e avaliação do batimento do coração). Posteriormente, executará um teste de exercício físico até o cansaço máximo na bicicleta ergométrica. Todos eles serão feitos de maneira não invasiva (sem a utilização de medicamentos, a não ser os medicamentos que o senhor faz uso regularmente prescrito pelo médico, ou de procedimentos cortantes e sem agulhas), porém o senhor será monitorado, antes, durante toda a execução do teste e alguns minutos depois. Na sequência, iremos utilizar os dados que coletaremos do senhor para aplicá-lo numa fórmula matemática de predição..

Benefícios: Se confirmada a similaridade na obtenção dessa variável metabólica descrita acima e correspondente ao consumo de oxigênio pelo organismo durante o exercício

físico, muitas pessoas se beneficiarão deste método de predição através da fórmula, pois o outro método é muito caro e pouco acessível.

**Riscos:** Durante os exercícios você poderá apresentar algum tipo de desconforto como dor, aumento do suor, tontura, câimbras, falta de ar e palidez. No entanto, os pesquisadores envolvidos estão treinados para identificar esses desconfortos e julgar a necessidade de interromper o teste naquele dia. Além disso, durante toda a avaliação será realizado o acompanhamento do sinal do coração (eletrocardiograma) e da pressão arterial. As sessões de treinamento serão acompanhadas por um médico e fisioterapeutas. Caso haja alguma intercorrência que demande maiores cuidados, os pesquisadores arcarão com todas as despesas.

**Garantia de acesso ao pesquisador responsável:** Em qualquer fase do estudo você terá pleno acesso ao pesquisador responsável pelo projeto na Coordenação do Curso de Fisioterapia, situado no Hospital Universitário Clementino Fraga Filho, Rua Prof. Rodolpho Paulo Rocco, s/n, 8o andar ala E, sala 3 (8E-03), Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, ou pelos telefones 2562-2223 ou 979248081. Havendo necessidade, será possível, ainda, entrar em contato com o Comitê de Ética do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho da UFRJ, Rua Prof. Rodolpho Paulo Rocco, 255, 1º. Andar, Sala 01D-46, Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ, ou pelo telefone 2562-2480, de segunda a sexta-feira, das 8 às 15 horas, ou através do e-mail: [cep@hucff.ufrj.br](mailto:cep@hucff.ufrj.br)

**Garantia de liberdade:** A participação é voluntária e caso você queira desistir de participar da pesquisa, poderá fazê-lo em qualquer tempo e no momento em que desejar sem nenhum prejuízo. Lembramos, assim, que sua recusa não trará nenhum prejuízo à relação com o pesquisador ou com a instituição e sua participação não é obrigatória.

**Direito de confidencialidade e acessibilidade:** Os resultados de suas avaliações, bem como seu prontuário, serão de responsabilidade dos pesquisadores responsáveis pelo projeto e você terá direito de conhecer os resultados. As informações obtidas durante as avaliações e a fisioterapia serão mantidas em sigilo pela equipe e não poderão ser consultadas por outras pessoas sem sua expressa autorização por escrito. Estas informações, no entanto, poderão ser utilizadas para divulgação dos resultados deste estudo em reuniões, eventos e congressos científicos nacionais e internacionais, como também para publicação dos dados em revistas e jornais científicos. Garantimos sua privacidade, não divulgando nenhum dado pessoal que possibilite sua identificação.

**Despesas e compensações:** Você não terá, em momento algum, despesas financeiras pessoais. As despesas, assim, se porventura ocorrer, serão de responsabilidade dos próprios pesquisadores. Também, não haverá compensação financeira relacionada à sua participação e os pesquisadores não receberam qualquer remuneração.

Em caso de dúvidas ou questionamentos, você pode se manifestar agora ou em qualquer momento do estudo para explicações adicionais.

## **Consentimento**

Eu, \_\_\_\_\_, acredito ter sido suficientemente informado a respeito das informações sobre o estudo acima citado.

Declaro, assim, que discuti com os pesquisadores Rafael Santiago Floriano e Michel Silva Reis sobre minha decisão em participar desse estudo. Ficaram claros para mim quais são os objetivos do estudo, os procedimentos a serem realizados, seus desconfortos e riscos, as garantias de confidencialidade e de esclarecimentos permanentes. Ficou claro também que minha participação é isenta de despesa. Concordo, voluntariamente, em participar desse estudo e poderei retirar o meu consentimento a qualquer momento, antes ou durante o mesmo, sem penalidade ou prejuízo ou perda de qualquer benefício que eu possa ter adquirido em seu atendimento nesta instituição. Eu receberei uma cópia desse Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e a outra ficará com o pesquisador responsável por essa pesquisa. Além disso, estou ciente de que eu (ou meu representante legal) e o pesquisador responsável deveremos rubricar todas as folhas desse TCLE e assinar na última folha.

Rio de Janeiro,

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

\_\_\_\_\_

Assinatura do informante

Data: \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_\_\_

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

\_\_\_\_\_

Assinatura do pesquisador

Data: \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_\_\_



## APÊNDICE C – Ficha de Avaliação do TECP



### TESTE CARDIOPULMONAR DE POTÊNCIA INCREMENTAL

Nome: \_\_\_\_\_ Tel: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_  
 Idade: \_\_\_\_\_ Endereço: \_\_\_\_\_  
 Massa Corporal (Kg): \_\_\_\_\_ Estatura(cm): \_\_\_\_\_  
 FC Máx: \_\_\_\_\_ FC sub-máx: \_\_\_\_\_ FC Repouso: \_\_\_\_\_ PA Repouso: \_\_\_\_\_ Velocidade Inicial: \_\_\_\_\_ Incremento: \_\_\_\_\_

TEMPO	PA	FC	SpO <sub>2</sub>	CARGA	BORG RESPIRAÇÃO	BORG MMII
REPOUSO 3'						
AQUECIMENTO 3'						
TEMPO 3'						
TEMPO 6'						
TEMPO 9'						
TEMPO 12'						
TEMPO 15'						
RECUPERAÇÃO 3'						
REPOUSO 3'						
FINAL						

Tempo em que o teste foi interrompido: \_\_\_\_\_  
 Potência em que o teste foi interrompido: \_\_\_\_\_  
 OBSERVAÇÕES: \_\_\_\_\_

**ANEXO A – Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa HUCFF/UFRJ**