

VALIDAÇÃO DO ANALISADOR VENTILOMÉTRICO PORTÁTIL *FITCHECK*

DANIEL TAVARES DE ANDRADE

Programa de Pós Graduação em Educação Física Universidade Católica de Brasília - DF
Centro universitário Aparecido dos Santos- UNICEPLAC - DF
E-Mail: professordanieltavares@gmail.com
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1898929411937337>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4822-7012>

CARLOS ERNESTO SANTOS FERREIRA

Programa de Pós Graduação em Educação Física Universidade Católica de Brasília - DF
E-Mail: ernestobsb@gmail.com
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1472094463975012>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2397-5866>

EDUARDO CÉSAR DE MIRANDA BORGES

INBD – Engenharia Eletrônica
E-Mail: Eduardo.borges@inbd.com.br
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9513270323754900>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8048-0283>

GUSTAVO VINICIUS MARTINS ARVELOS

INBD – Engenharia Eletrônica
E-Mail: gvmarvelos@gmail.com
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1858232015559761>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7517-6884>

GISLANE FERREIRA MELO

Programa de Pós Graduação em Educação Física Universidade Católica de Brasília - DF
E-Mail: gmelo@ucb.br
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5065099645935473>
ORCID: <https://orcid.org/000-0003-3551-5963>

RESUMO

Introdução: O limiar ventilatório (LV) definido como o limite para exercício aeróbico, pode ser utilizado como um padrão, preciso e fiel para prescrição de exercício. A falta de equipamentos portáteis desenvolvidos no Brasil e o elevado custo dos equipamentos importados têm limitado a realização de medidas para consumo de oxigênio (VO_{2max}), identificação do LV e demais respostas metabólicas, especialmente em ambiente *outdoor*.
Objetivo: validar o analisador ventilatório portátil *FITCHECK* com seringa automática. **Metodologia:** A seringa de calibração da marca *Sensor Medics* de 3 litros foi automatizada, ajustada para o volume de 2,06 litros a cada ciclo e suas medidas foram realizadas pelo sistema *Fitcheck*. Seis velocidades de injeção foram executadas e seus valores foram medidos via *smartphone* pelo aplicativo *Fitcheck*. Após verificar normalidade foi realizado o *Teste-t* pareado de *Student* para comparar os valores médios de volume entre as mensurações nos dois equipamentos. Também foi realizado a concordância de Bland-Altman. **Resultados:** Foi obtido forte concordância, $R^2= 0,9992$, entre os dados para cada velocidade de ejeção. A concordância de *Bland-Altman* mostrou que os valores obtidos estão no intervalo de confiança estipulado de 95%, porém 99,5% dos dados apresentaram significância na medida entre o previsto e o obtido. **Conclusão:** Os resultados do sistema *FITCHECK*® estão em conformidade com o volume esperado e com limites de variações aceitáveis na literatura ($\leq 3\%$) sendo obtidos variações expressivas abaixo de 0,1%. Encontrando-se devidamente calibrado e validado conforme normas e parâmetros obtidos. Desta forma novos estudos poderão ser realizados utilizando o *Fitcheck* no exercício ou esporte, além de avaliar diretamente a especificidade destas modalidades.

Palavras chave: Telefone Celular Portátil, aparelho respiratório, Estudo de Validação

INTRODUÇÃO

O sistema cardiorrespiratório é um dos mais importantes sistemas responsáveis pela homeostase corporal, participando, efetivamente, na captação de oxigênio (O_2), termorregulação, e também no controle do pH [1]. Ademais, seu perfeito funcionamento proporciona maior desempenho durante o exercício [2,3]. Sendo assim, avaliar de forma

precisa os componentes relativos as suas capacidades favorecem expressivamente a prescrição de programas de treinamento físico.

Dentre os componentes deste sistema, o comportamento da ventilação (VE) pulmonar, tem-se mostrado nos últimos anos, como um excelente marcador de intensidade, sendo que este apresenta reflexos notáveis do metabolismo celular. A exemplo disso, Oren *et al.* [4] observaram a existência de um ponto o qual o organismo humano aumenta a ventilação para compensar a acidose metabólica ocasionada pela velocidade que a via glicolítica é exigida. Griffiths *et al.* [5] demonstraram que o aumento na acidose metabólica, diminuiu a constante de tempo da resposta ventilatória durante o exercício, ou seja, enquanto a alcalose metabólica pareceu diminuir a resposta ventilatória para a mesma condição, causando assim a redução da frequência ventilatória.

O aumento da resposta ventilatória observada pelos autores acima, é estimulada pela pressão parcial de gás carbônico (PCO₂) derivado do tamponamento sanguíneo via Bicarbonato de Sódio (NaHCO₃) [6,7]. A acidose metabólica promovida tanto pelo CO₂ quanto pelos íons de hidrogênio (H⁺), decorrente da glicólise anaeróbia, estimula quimiorreceptores, presente nos corpos carotídeos, responsáveis pelo controle ventilatório durante o exercício.

O comportamento da ventilação está diretamente relacionado com a via energética utilizada em exercício, em que seus subprodutos metabólicos (CO₂ e H⁺) são marcadores importantes de intensidade e que o comportamento da ventilação, podendo ser utilizado como parâmetro real e indireto da produção energética durante o exercício [6,8].

Tendo a utilização de marcadores indiretos como a ventilação, o Limiar Ventilatório (L.V) é considerado na literatura como um dos melhores índices de controle da intensidade do exercício, visto que está diretamente relacionado ao limiar anaeróbio, medido tanto pela concentração de lactato sanguíneo quanto pelos volumes expirados e consumido de CO₂ e O₂ respectivamente [6,9].

Diante disto, equipamentos com objetivo de monitorar apenas a ventilação – ventilômetros – surgiram no mercado, com preço mais acessível, em relação a ergoespirômetros e menor complexidade para execução de teste e interpretação, porém com tamanhos ainda grandes, conexões por cabos e dependentes do uso de computadores de mesa ou *notebooks*, além de complexas calibrações.

A calibração de analisadores ventilatórios utiliza seringas específicas e em média com capacidade de 3 litros de ar, rotineiramente utilizada em ambiente laboratoriais. Essa prática de calibração prévia, tanto por ventilômetros quanto em ergoespirômetros, é ainda questionada [10], visto que a calibração quando realizada de forma manual pode apresentar vieses na leitura a ser obtida, pois o profissional não consegue manter a frequência e velocidade de injeção/ejeção de ar de forma constante por longos períodos e que seja reprodutível com fluxos de ar elevados. Ainda segundo o mesmo autor, seringas de calibração de automáticas permitem o controle da injeção de ar afim de obter constantes e conhecidos volumes de ar por ventilação minuto (VE). Assim, as seringas automáticas tornam as investigações e calibrações de ergoespirômetros e ventilômetros mais criteriosas, uma vez que estão em consonância com a realidade a ser mensurada gerando altos volumes de ar e serem capazes criar reprodutibilidade independente dos fatores de interferências fisiológicas [10], como efeito do treinamento entre teste e reteste quando realizados testes em humanos [11,12].

Diante do exposto surge a necessidade de equipamentos que sejam autocalibráveis e que se adequem as tecnologias atuais com conectividade com *smartphones* e todas as suas facilidades, para que as avaliações sejam realizadas nos

locais da própria modalidade esportiva, assim o objetivo deste artigo é validar o analisador FITCHECK com seringa automática.

METODOLOGIA

Para validação do FITCHECK o estudo foi dividido em duas etapas, sendo elas, a automatização de uma seringa de calibração e a realização dos testes com o equipamento a ser estudado. Os testes foram realizados nos laboratórios de Educação Física e Saúde (LEEFS) e de Avaliação Física e Treinamento (LAFIT) da Universidade Católica de Brasília (UCB) e em parceria com a empresa de tecnologia Ímpeto Esportes, Brasil, que desenvolveu o equipamento FITCHECK e automatizou a seringa para o presente estudo.

Para validação do analisador ventilatório FITCHECK foram adotados os seguintes procedimentos:

1. Automatização da seringa de calibração.

Ao iniciar a pesquisa pensou-se em realizar os testes de calibração de forma manual, porém dois pesquisadores fizeram testes de calibração manualmente em diferentes momentos e foi observado valores diferentes entre os dois testes, pois cada avaliador imprimiu força e velocidades desiguais mesmo com o uso de metrônomo para ditar o ritmo e velocidade, para retirar esse viés dos estudos optou-se pela automatização da seringa de calibração. Assim a seringa (*Sensor Medics*[®]) [13] de 3 litros foi ajustada para o volume de 2,06 L, este volume foi calculado através da área interna do cilindro conforme equação 1:

$$\text{Equação 1: } V = h \cdot \pi \cdot r^2$$

Em que:

V= volume; h= distância de deslocamento do êmbolo; $\pi = 3,14$ e r = raio.

O deslocamento do êmbolo da seringa foi medido ajustando o seu limitador proporcionalmente ao deslocamento total do mesmo, em função do volume total da seringa. Para maior precisão as medidas foram tomadas com o uso de paquímetro e usado 2 casas decimais.

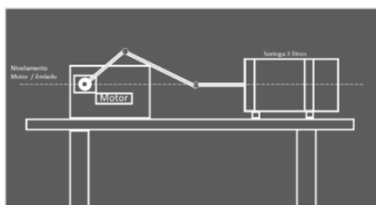


Figura 1. Automação da seringa automática de 3l, *Sensor medics*

Posteriormente, foi acoplado um motor cujo a velocidade é determinada por potenciômetro com seis estágios fixos, o qual controla tensão da fonte de alimentação gerando seis velocidades de rotação, uma a cada estágio, conforme demonstrado na tabela 1.

Tabela 1: velocidades e frequência de injeção

CHAVE VELOCIDADE	FI	VR (L/min)
1	5,8	11,9
2	17,5	36,0
3	29,2	60,2
4	40,9	84,2
5	52,6	108,4
6	62,4	128,5

FI: Frequência de Injeção por minuto; Volume Referência (L/min) VR= FE x 2,06

2.Desenvolvimento do Hardware Fitcheck®.

A coleta de dados foi realizada pelo sistema de aquisição ventilatória portátil FITCHECK ® Ímpeto Esportes, Brasil. Para tanto, foi utilizado como *interface* um aplicativo (Fitcheck versão 1.0) para *smartphone Android*®, o qual apresenta conexão entre *hardware* e *smartphone* por *bluetooth* 4.0, caracterizada pelo baixo consumo de energia (*BLE*).

O equipamento interpreta a variação da ventilação que passa pelo pneumotacógrafo do tipo *Pitot* [14]. Seu sensor de fluxo ajusta a ventilação à temperatura, umidade e pressão ambiente de forma automática previamente aos testes. A taxa de amostragem da ventilação para o teste foi de 60 amostras por segundo (60hz). Os dados coletados são enviados pelo *smartphone* para um sistema em nuvem dedicado. Desta forma podem ser arquivados e analisados posteriormente. O pneumotacógrafo foi acoplado hermeticamente à seringa automática conforme é exemplificado no fluxograma, figura 2.

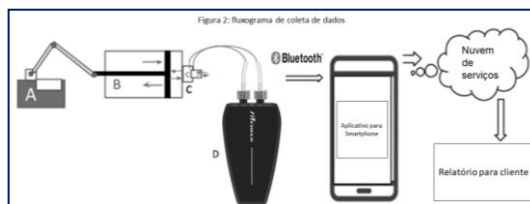


Figura 2: A = motor; B=seringa 3L; C= pneumotacógrafo; D = unidade FITCHECK® conversor Analógico/Digital

Foram sorteadas as velocidades de testes previamente por um terceiro avaliador. A seringa permaneceu ligada em cada velocidade pelo tempo de 1 minuto, desta forma foram excluídos os valores iniciais de 10s em cada velocidade, para que o tempo de ajuste da velocidade do motor fosse estabilizado. Foram realizados 3 testes com todas as velocidades. Todos os dados foram coletados pela unidade Fitcheck® e transmitido em tempo real para o smartphone com sistema *Android*®. Após a coleta, para fins didáticos os dados foram ordenados em ordem crescente.

Para organização dos dados foi utilizado o software *Microsoft Excel* ®. Os dados estão descritos em média e desvio padrão. Inicialmente foi realizado teste de normalidade de *Kolmogorov-Smirnov* e homogeneidade de variância pelo teste de *Levene*. O coeficiente de correlação de *Pearson* foi empregado para verificar a relação entre os valores de VE obtidos e esperado, sendo a concordância testada por meio da plotagem de *Bland-Altman* [15]. Para análise estatística utilizou-se o *software SPSS*®

versão 20.0 para Windows® e o software MedCalc® para realizar a plotagem de BlandAltman O nível de significância utilizado foi $p < 0.05$.

RESULTADOS

O principal achado do presente estudo foi a reprodutibilidade dos volumes ventilatórios medidos em 3 momentos distintos ($r = 1,0$), por meio do sistema de automatização de uma seringa de fluxo.

O gráfico 1 demonstra concordâncias das medidas de volume medido pelo equipamento FITCHECK, quando comparado ao volume esperado, $p < 0,001$.

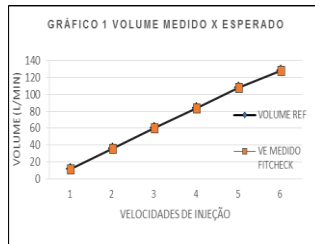


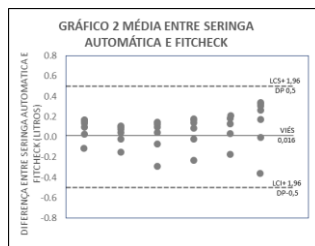
Gráfico 1: L/min – Litros por minuto; VE = ventilação; REF = Referência

A tabela 2 mostra a relação entre os valores medidos e esperados para cada frequência ventilatória, sendo o valor de 1 ejeção de ar da seringa equivalente a 2,06 litros. Desta forma a leitura obtida pelo equipamento estudado reflete o valor esperado ($p < 0,05$).

Tabela 2: teste de aferição dos valores medidos

FR (/min)	Volume esperado (L/min)	Volume medido (L/min)	Δ (L/min)	%
5,8	11,9	11,9±0,03	0	100,0%
17,5	36,1	36,1±0,09	0	100,0%
29,2	60,2	60,2±0,08	0	100,0%
40,9	84,4	84,2±0,15	-0,2	99,9%
52,6	108,5	108,3±0,14	-0,2	99,9%
62,4	128,5	128,4±0,25	-0,1	99,9%

Tabela 2. FR – Frequência Respiratória; L/min = litros por minuto; $p < 0,05$.



Plotagem Bland & Altman: LSC: limite superior de concordância; LIC: limite inferior de concordância, $R^2 = 0,99$; LCS=limite de confiança superior; LCI=limite de confiança inferior

DISCUSSÃO

O desenvolvimento da seringa automática para a validação do ventilômetro evita o erro intra-avaliador nos testes e gera fluxos constantes, o que é recomendado por

Bisselli *et al.* [13]. Ademais, caso os testes fossem realizados em humanos, o efeito da melhora do condicionamento físico, gerado pela sessão de exercícios (agudo), poderia resultar em viés, visto que o avaliado poderia ter melhora da performance e gerar confusão entre a leitura exata do equipamento e a melhora no condicionamento, desta forma optou-se pela seringa automática conforme recomendado por Huszczuk *et al.* [10] e Gore *et al.* [17].

A utilização de seringa automática, possibilita a simulação de diversos volumes de ejeção com frequências variáveis, visto que um procedimento de calibração de equipamentos ventilatórios requer uma geração de parâmetros precisos para que o qual o sensor será comparado [13]. A seringa utilizada no presente estudo produz padrões de fluxos de forma a aproximar o máximo do exercício humano, diferindo do repouso, sendo possível simular volume de 11,9 até 128,5 litros por minuto, o que se aproxima da realidade esportiva desde o repouso até o esforço conforme proposto na literatura [16,18]. O uso da seringa de calibração é uma técnica já utilizada na literatura [21], no entanto, com a injeção de ar feita de forma manual.

Fato importante foi a forte concordância, $R^2= 0,9992$, conforme apresentado no gráfico 2, entre os dados para cada velocidade de ejeção, sendo de 2,06 litros para 1 ciclo da seringa. O gráfico 2, apresenta a concordância de *Bland-Altman* [15] e nos descreve que as amostras se encontram dentro do intervalo de confiança estipulado de 95%, porém 99,5% dos dados apresentaram significância na medida entre o previsto e o obtido, esse resultado foi similar ao reportado por Biselli [13].

O trabalho realizado por Gore *et al.* [17], encontrou pequenas diferenças em VO_2 , VCO_2 e VE, quando comparado com a Bolsa de Douglas, o autor ressalta que, embora algumas diferenças encontradas tenham sido estatisticamente significantes, elas foram tão pequenas que não trouxeram diferenças fisiológicas significativas. Apesar do aparelho de do presente estudo não realizar medidas de VO_2 e VCO_2 , os dados ventilação se mostraram, conforme a tabela 2, dentro dos valores esperados e com forte correlação. Salles *et al.* [20] reporta diversas técnicas de identificar do limiar ventilatório, dentre elas o comportamento da ventilação (VE), que se eleva de forma desproporcional em relação as cargas de trabalho, determinando o limiar ventilatório, o que sustenta o uso de equipamentos como o Fitchek para determinação deste parâmetro.

Por outro prisma, com a portabilidade do aparelho em questão, torna-se possível melhores leituras dos efeitos de variáveis presentes no dia a dia do atleta e que possam interferir no desempenho, como por exemplo o meio ambiente (terreno, temperatura, inclinação, velocidade do vento e humidade) no local de treinos e competições. A realização testes de performance diretamente na modalidade esportiva, permitirá que estudos como de Souza *et al.* [19] sejam complementados com as variáveis citadas. O autor justifica que as particularidades do esporte como, como dimensões do passo, duração e sistema tático, juntamente com a morfologia e sexo dos atletas, influenciam diretamente os valores máximos de VO_2 , Limiar anaeróbico e VE em atletas que praticam diferentes modalidades. Diante do exposto, o presente estudo poderá contribuir para que informações sobre essas particularidades sejam além de conhecidas, minimizadas.

CONCLUSÃO

O sistema FITCHECK® apresentou boa precisão e acurácia no presente estudo, mostrando que seus resultados estão em conformidade com o volume esperado e com

limites de variações aceitáveis na literatura ($\leq 3\%$) sendo obtidos variações expressivas abaixo de 0,1%. Encontrando-se devidamente validado conforme normas e parâmetros obtidos. Automatizar a seringa de calibração para validação do equipamento portátil se mostrou uma técnica eficaz pois, gerou fluxos ventilatórios robustos capazes de validar o sistema desta pesquisa. Desta forma novos estudos poderão ser realizados utilizando o Fitchek no exercício ou esporte, além de avaliar diretamente a especificidade destas modalidades.

REFERÊNCIAS

1. Guyenet, P. G., & Bayliss, D. A. Neural Control of Breathing and CO₂ Homeostasis. *Neuron*, 2015; 87(5), 946–961. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.08.001>
2. Nixon, P. A., Orenstein, D. M., Kelsey, S. F., & Doershuk, C. F. The prognostic value of exercise testing in patients with cystic fibrosis. *The New England journal of medicine* 1992; 327(25), 1785–1788. <https://doi.org/10.1056/NEJM199212173272504>
3. Giardini, A., Hager, A., Lammers, A. E., Derrick, G., Müller, J., Diller, G. P., Dimopoulos, K., Odendaal, D., Gargiulo, G., Picchio, F. M., & Gatzoulis, M. A.. Ventilatory efficiency and aerobic capacity predict event-free survival in adults with atrial repair for complete transposition of the great arteries. *Journal of the American College of Cardiology* 2009;53(17), 1548–1555. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2009.02.005>
4. Oren, A., Whipp, B. J., & Wasserman, K. Effect of acid-base status on the kinetics of the ventilatory response to moderate exercise. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology* 1982; 52(4), 1013–1017. <https://doi.org/10.1152/jappl.1982.52.4.1013>
5. Griffiths, T. L., Henson, L. C., & Whipp, B. J. Influence of inspired oxygen concentration on the dynamics of the exercise hyperpnoea in man. *The Journal of physiology* 1986; 380, 387–403. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1986.sp016292>
6. Gaskill, S. E., Ruby, B. C., Walker, A. J., Sanchez, O. A., Serfass, R. C., & Leon, A. S. Validity and reliability of combining three methods to determine ventilatory threshold. *Medicine and science in sports and exercise* 2001; 33(11), 1841–1848. <https://doi.org/10.1097/00005768-200111000-00007>
7. Binder, R. K., Wonisch, M., Corra, U., Cohen-Solal, A., Vanhees, L., Saner, H., & Schmid, J. P. Methodological approach to the first and second lactate threshold in incremental cardiopulmonary exercise testing. *European journal of cardiovascular prevention and rehabilitation : official journal of the European Society of Cardiology, Working Groups on Epidemiology & Prevention and Cardiac Rehabilitation and Exercise Physiology* 2008; 15(6), 726–734. <https://doi.org/10.1097/HJR.0b013e328304fed4>
8. Wasserman, K.; Hansen, E. J.; SUE, D. Y.; Whipp, B. J.; CASABURI, R. Prova de Esforço, Princípios e interpretação. Rio de Janeiro: Revinter, 2005.
9. Moreira, S. R., Simões, G. C., Hiyane, W. C, Campbell, C. S. G., & Simões, H. G.. Identificação do limiar anaeróbio em indivíduos com diabetes tipo-2 sedentários e fisicamente ativos. *Revista Brasileira de Fisioterapia*. 2007; 11:289-96. <https://doi.org/10.1590/S1413-35552007000400008>
10. Huszczuk, A., Whipp, B. J., & Wasserman, K.. A respiratory gas exchange simulator for routine calibration in metabolic studies. *The European respiratory journal* 1990; 3(4), 465–468.
11. Ra, A. P., Ferreira, C. B., Campos, B. R. M., Samy, G. C. P., de Moraes, P. P. Efeito de diferentes intensidades de exercício aeróbio na resposta pressórica de 24 horas em mulheres normotensas. *Journal of the Health Sciences Institute* 2011; 29(1), 62-66. <https://doi.org/10.4025/jphyseduc.v31i1.3108>
12. Santiago, Ladyodeyse da Cunha Silva et al. Effect of a session of strength training on the quality adolescents sleeping. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte* 2015;21, (2):148-52.
13. Biselli, P., Nóbrega, R., & Soriano, F. Nonlinear Flow Sensor Calibration with an Accurate Syringe. *Sensors* 2018; 18(7), 2163. <https://doi:10.3390/s18072163>
14. Brown, G. O. Henry Darcy's perfection of the Pitot tube. In: SYMPOSIUM TO HONOR HENRY PHILIBERT CASPARD DARCY, 2003, Philadelphia. Proceedings. New York: American Society of Civil Engineers 2003. [https://doi.org/10.1061/40683\(2003\)3](https://doi.org/10.1061/40683(2003)3)
15. Bland, J. M., & Altman, D. G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet (London, England)* 1986; 1(8476), 307–310.
16. Bassett, D. R., Jr, Howley, E. T., Thompson, D. L., King, G. A., Strath, S. J., McLaughlin, J. E., & Parr, B. B. Validity of inspiratory and expiratory methods of measuring gas exchange with a computerized system. *Journal of applied physiology* 2001;(Bethesda, Md. : 1985), 91(1), 218–224. <https://doi.org/10.1152/jappl.2001.91.1.218>
17. Gore, C. J., Catcheside, P. G., French, S. N., Bennett, J. M., & Laforgia, J. Automated VO₂ max calibrator for open-circuit indirect calorimetry systems. *Medicine and science in sports and exercise* 1997; 29(8), 1095–1103. <https://doi.org/10.1097/00005768-199708000-00016>
18. Souza FB, Ferreira RCA, Fernandes WS, Ribeiro W, Lazo-Osorio RA. Comparação da potência e capacidade aeróbica entre atletas de alto rendimento de diferentes modalidades esportivas. *Rev Bras Med Esporte* 2018; 24(6):432-435. <https://doi.org/10.1590/1517-869220182406101651>
19. Wilmore, J.H.; COSTIL, D.L. Fisiologia do esporte e do exercício. 2ed. São Paulo: Manole, 2001.

IX Scientific Meeting of the Laboratory of Biosciences of Human Motricity / 1st
International Congress of Internal Medicine and Physical Exercise

20.Sales MM, Sousa CV, da Silva Aguiar S, Knechtle B, Nikolaidis PT, Alves PM, Simões HG. An integrative perspective of the anaerobic threshold. *Physiol Behav* 2019; Jun 1;205:29-32. Epub 2017 Dec 14. PMID: 29248631. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.12.015>

21.Tang, Y., Turner, M. J., Yem, J. S., & Baker, A. B. Calibration of pneumotachographs using a calibrated syringe. *Journal of applied physiology* 2003; (Bethesda, Md.: 1985), 95(2), 571–576. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00196.2003>