

**GASTO ENERGÉTICO ESTIMADO PELA ACELEROMETRIA  
COMPARADO AO GASTO DETERMINADO PELA CALORIMETRIA INDIRETA  
DURANTE EXERCÍCIO CONTÍNUO EM ESTEIRA**

Wayne Ferreira de Faria<sup>1</sup>, Jéssica Sartini Sena<sup>1</sup>  
Renan Camargo Corrêa<sup>1</sup>, João Paulo de Farias<sup>1</sup>  
Géssika Castilho dos Santos<sup>1</sup>, Rui Gonçalves Marques Elias<sup>1</sup>  
Antonio Stabelini Neto<sup>1</sup>

**RESUMO**

**Introdução e objetivo:** Estudos utilizando acelerômetros em diferentes ambientes tem demonstrado a capacidade desta ferramenta em medir a intensidade das atividades físicas realizadas. Entretanto, ainda permanecem dúvidas quanto à confiabilidade e precisão do aparelho em algumas atividades. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi comparar o gasto energético mensurado pela calorimetria indireta e predito pela equação desenvolvida para o acelerômetro Actigraph durante exercício físico contínuo em esteira. **Métodos:** A amostra foi composta por 13 indivíduos do sexo masculino com idades entre 18 e 35 anos. O protocolo de exercício foi realizado em esteira rolante composto por quatro velocidades: 4 km/h; 6 km/h; 8 km/h e 10 km/h, com duração de 5 minutos cada estágio. As acelerações foram obtidas por meio do acelerômetro modelo Actigraph GT3X. O gasto energético predito foi calculado utilizando-se a equação estabelecida por Freedson et al. **Resultados:** A correlação entre o gasto avaliado por calorimetria indireta e o gasto predito estimado mediante a acelerometria apresentaram uma correlação positiva forte ( $r=0,908$ ;  $p<0,000$ ). Quando comparados os valores do gasto energético mensurado e predito pela equação, foi observado diferença significativa entre os métodos de avaliações na velocidade de 10 km/h ( $p=0,028$ ). **Conclusão:** O presente estudo verificou que o acelerômetro forneceu estimativas confiáveis de gasto energético até a velocidade de 8 km/h. No entanto, na velocidade de 10 km/h seus dados subestimaram o gasto energético.

**Palavras-chave:** Exercício físico. Gasto energético. Sensor de movimento.

1-Universidade Estadual do Norte do Paraná, Jacarezinho, Paraná, Brasil.

**ABSTRACT**

Energy expenditure estimated by accelerometry compared to expenditure determined by calorimetry indirect during continuous exercise at treadmill

**Introduction and objective:** Studies using accelerometers in different environments have demonstrated the ability of this instrument to measure the intensity of the physical activities. However, remain uncertainty about the reliability and accuracy of this device in some activities. Thus, the aim of this study was to compare energy expenditure measured by indirect calorimetry with the estimated by equation developed for Actigraph accelerometer during continuous exercise. **Methodology:** The sample consisted of 13 males aged between 18 to 35 years old. The exercise protocol consisted of four speeds on a treadmill: 4 km/h; 6 km/h; 8 km/h and 10 km/h, with 5 minutes each stage. The accelerations were obtained by the Actigraph accelerometer model GT3X. The predicted energy expenditure was calculated using the equation established by Freedson et al. **Results:** The correlation between the energy expenditure measured by indirect calorimetry and the estimated by accelerometry showed a strong positive correlation ( $r=0.908$ ,  $p<0.000$ ). Comparing the values of the energy expenditure measured by indirect calorimetry and estimated by the equation, was observed significant difference between the methods of assessments at 10 km/h ( $p=0.028$ ). **Conclusion:** This study found that the accelerometer provided reliable estimates of energy expenditure up to speed of 8 km/h. However, in the speed of 10 km/h the energy expenditure was underestimated.

**Key words:** Exercise. Energy expenditure. Motion sensor

**INTRODUÇÃO**

A avaliação dos níveis de atividade física (AF) de uma população no que se refere a frequência, duração e intensidade é fundamental para identificar as pessoas que atendem as recomendações para a prática de AF, tendo em vista a implicação desses resultados para promoção de políticas públicas de intervenção (Coelho e Burini, 2009; Matsudo e colaboradores, 2002).

Nessa perspectiva, métodos como questionários, observação direta, acelerômetros e água duplamente marcada foram desenvolvidos para avaliação destas variáveis (Alhassan e colaboradores, 2014; Cafruni, Valadão e Mello, 2012; Loprinzi e Cardinal, 2011; Trost, 2007).

Porém, devido aos problemas gerados por avaliações subjetivas de questionários, altos custos da utilização dos métodos da água duplamente marcada e do elevado número de avaliadores na observação direta, pesquisadores tem centrado na utilização de acelerômetros para a quantificação da AF (Alhassan e colaboradores, 2014).

Estudos utilizando acelerômetros em diferentes ambientes tem demonstrado a capacidade desta ferramenta em medir a intensidade da AF realizada (Bersch e colaboradores, 2014; Sandroff e colaboradores, 2014; Trost e colaboradores, 2000; Wientzek e colaboradores, 2014).

Entretanto, ainda permanecem dúvidas quanto à confiabilidade e precisão do aparelho em algumas intensidades (Cafruni, Valadão e Mello, 2012; Garatachea, Luque e Gallego, 2010; Ward e colaboradores, 2005), uma vez que discrepâncias nos pontos de corte do acelerômetro para as diferentes categorias de intensidade podem dificultar a interpretação do tempo despendido nas atividades leve, moderada e vigorosa (Guinhouya e colaboradores, 2006; Trost e colaboradores, 2000).

Desta forma, a literatura científica tem desenvolvido equações específicas de forma independente visando converter em gasto energético (kcal ou METs) os counts obtidos pelo acelerômetro (Alhassan e colaboradores, 2014; Nichols e colaboradores, 2000; Swartz e colaboradores, 2000).

No entanto, há necessidade da verificação da sensibilidade deste aparelho em predizer o gasto energético durante atividades

de alta intensidade (Lyden e colaboradores, 2011).

Assim, tendo em vista a falta de pesquisas nacionais avaliando a validade do acelerômetro em diferentes intensidades de exercício, o presente estudo teve como objetivo comparar o gasto energético mensurado pela calorimetria indireta e predito pela equação desenvolvida para o acelerômetro Actigraph durante exercício físico contínuo em esteira em diferentes velocidades.

**MATERIAIS E MÉTODOS**

A amostra foi composta por 13 indivíduos do sexo masculino com idades entre 18 e 35 anos, alunos do Centro de Ciências da Saúde, da Universidade Estadual do Norte do Paraná.

Os critérios de inclusão foram: ter idade superior a 18 anos, ser ativo fisicamente e não ter nenhum tipo de lesão musculoesquelética e/ou doença que pudesse ser agravada com a aplicação do estudo ou interferisse nos resultados.

Todos os participantes, após serem conscientizados sobre os procedimentos aos quais seriam submetidos assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido. O estudo foi aprovado pelo comitê de ética da Universidade Estadual do Norte do Paraná, processo nº 023/2011.

A avaliação da massa corporal (MC) foi realizada por meio de uma balança digital (Welmy), com precisão de 100 gramas e a estatura através de um estadiômetro portátil, com precisão de 0,1cm. O índice de massa corporal (IMC) foi calculado através da divisão da MC pela estatura elevada ao quadrado.

As acelerações foram obtidas por meio do acelerômetro (Actigraph GT3X), projetado para medir e registrar acelerações do corpo no plano vertical em uma magnitude de 0,05G a 2,0G e uma frequência de respostas de 0,25 a 2,50 Hz.

O equipamento foi fixado no quadril do avaliado por uma cinta elástica na altura da espinha ilíaca anterior, do lado oposto ao braço dominante. As acelerações em counts foram somadas em períodos de epoch pré-definidos em 10 segundos.

O gasto energético predito foi calculado utilizando-se os counts através da equação proposta por Freedson, Melanson e

Sirard (1998): gasto energético ( $\text{kcal}\cdot\text{min}^{-1}$ ) =  $(0,00094\cdot\text{counts}\cdot\text{s})$ .

O exercício foi realizado em esteira (Inbramed Super ATL). O teste contínuo foi composto por quatro velocidades: 4 km/h; 6 km/h; 8 km/h e 10 km/h, com duração de 5 minutos cada estágio com a esteira fixa em 1% de inclinação.

Para análise do consumo de oxigênio foi utilizado o analisador de gases metabólicos VO2000 (Medical Graphics). O equipamento foi calibrado conforme as orientações do fabricante antes de cada avaliação. A mensuração da frequência cardíaca foi feita por meio do monitor Polar modelo RS 800CX. As variáveis fisiológicas (ventilação, frequência cardíaca e consumo de oxigênio) foram registradas em períodos pré-estabelecidos de 10 segundos.

Foram desconsiderados nas análises os dados referentes aos dois primeiros minutos de cada estágio, devido às respostas fisiológicas que ocorrem em virtude das mudanças na carga de trabalho. Da mesma forma, para cálculo do gasto energético estimado, os counts mensurados no mesmo período foram desconsiderados.

A análise estatística dos dados foi processada empregando-se recursos da estatística descritiva (média e desvio padrão). A comparação entre o gasto energético

mensurado e predito foi efetuada utilizando o teste de Wilcoxon para amostras pareadas e correlação de Pearson para verificar a relação entre os métodos. Foi utilizado o software SPSS 17.0, com  $p < 0,05$  para determinar as significâncias estatísticas.

## RESULTADOS

A tabela 1 apresenta os dados referentes à idade e características antropométricas da amostra.

O comportamento da ventilação e frequência cardíaca de acordo com as diferentes cargas de trabalho são apresentados nos gráficos 1A e 1B, respectivamente. Pode-se observar que houve modificações contínuas com o aumento das velocidades no decorrer do teste.

Quando se analisa o consumo máximo de oxigênio (Gráfico 2A), pode-se observar um aumento linear com o incremento da velocidade em esteira. Já para os valores de counts (Gráfico 2B), nota-se uma estabilização a partir da velocidade de 8km/h.

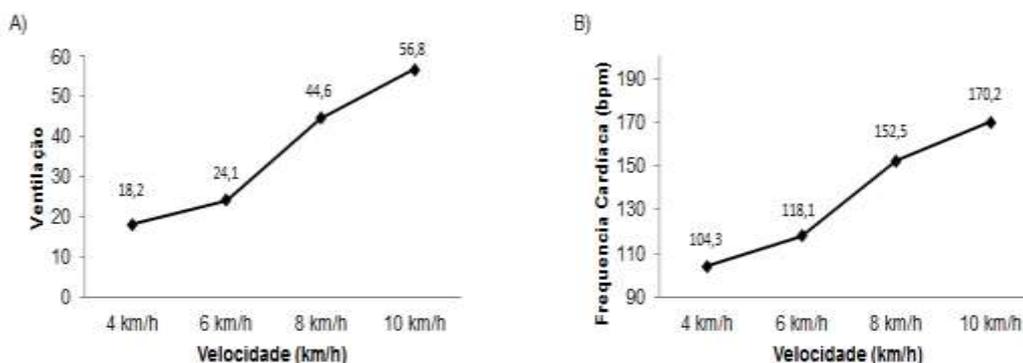
A correlação entre o gasto mensurado por calorimetria indireta e o gasto predito mediante a acelerometria estão apresentados na Figura 1. Foi observado entre as variáveis uma correlação positiva forte ( $r=0,908$ ;  $p<0,0001$ ) entre as variáveis.

**Tabela 1 - Idades e características antropométricas dos voluntários.**

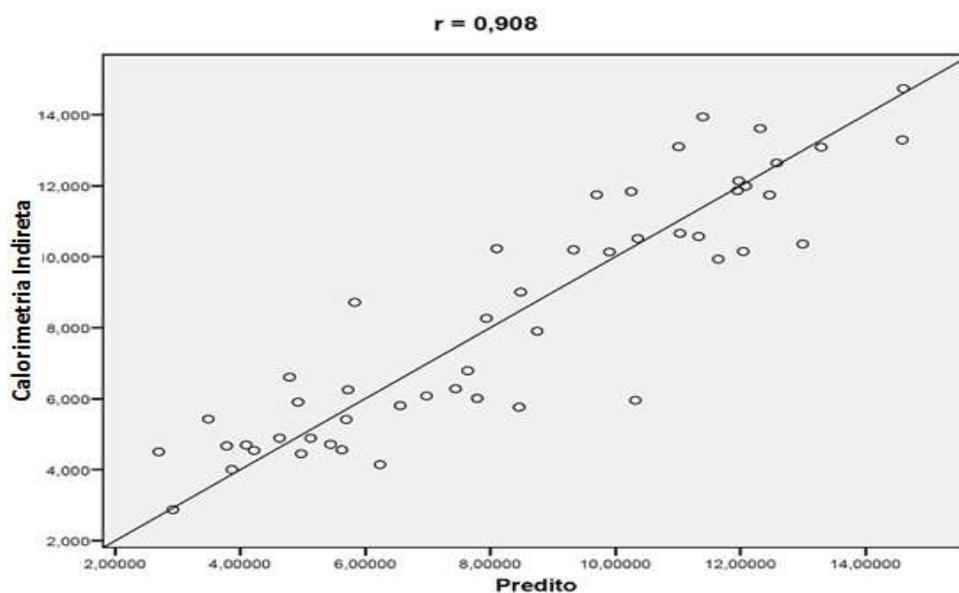
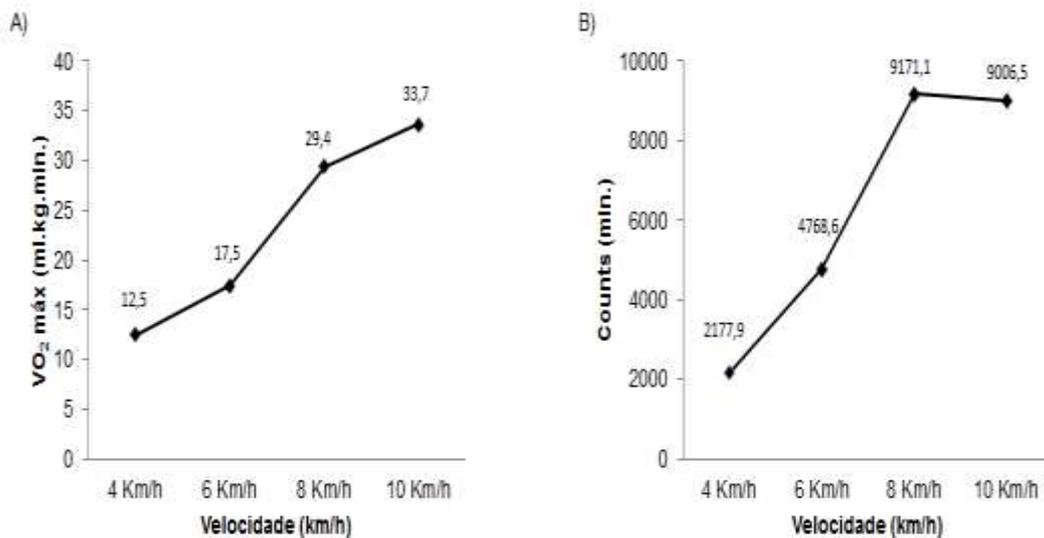
	MÉDIA
Idade (anos)	24,2
Estatura (cm)	176,5
Peso (kg)	74,1
IMC ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )	23,7

**Legenda:** DP= Desvio Padrão; IMC= Índice de Massa Corporal.

**Gráfico 1 – Comportamento da ventilação (A) e da frequência cardíaca (B) durante o teste de esteira**



**Gráfico 2** – Análise do consumo máximo de oxigênio (A) e valores de counts (B) durante o teste de esteira em diferentes velocidades.



**Figura 1** - Correlação entre o gasto por calorimetria indireta e gasto predito (acelerômetro).

**Tabela 2** - Comparação entre o gasto real e o estimado pela equação de predição.

Velocidades (km/h)	Gasto Real (kcal.kg.min)	Gasto Predito (kcal.kg.min)	p
	Média ± DP	Média ± DP	
4 km/h	4,65 ± 0,77	4,47 ± 1,12	0,972
6 km/h	6,47 ± 1,01	6,90 ± 1,71	0,345
8 km/h	10,87 ± 1,30	11,04 ± 1,72	0,463
10 km/h	12,56 ± 1,70	10,92 ± 3,01	0,028*

**Legenda:** DP=Desvio Padrão; \*p<0,05.

A Tabela 2 apresenta a comparação entre os valores do gasto energético mensurados pela calorimetria e o predito. Foram observadas diferenças significativas entre os métodos de avaliações na velocidade de 10 km/h.

## DISCUSSÃO

O presente estudo teve como objetivo comparar o gasto energético mensurado pela calorimetria indireta com o estimado pela equação proposta para acelerômetro, durante exercício físico em esteira em diferentes velocidades.

Os dados demonstraram que a modelo de acelerômetro e equação utilizada no presente estudo foi confiável para estimar o gasto energético até a velocidade de 8 km/h, sendo que acima desta intensidade o resultado do gasto energético foi subestimado.

Estes resultados corroboram com os observados no estudo de Brage e colaboradores (2003), no qual foi realizado testes de caminhada e corrida em esteira com estágios de cinco minutos em velocidades entre 3 km/h e 20 km/h, utilizando a calorimetria indireta como referência.

Os dados apontaram que em todos os estágios os counts aumentaram de forma linear com o aumento da velocidade, porém, nas velocidades acima de 9 km/h, o aparelho subestimou o gasto energético.

Não obstante, Rowlands e colaboradores (2007) estimaram o gasto energético de nove corredores utilizando um protocolo de caminhada e corrida a uma velocidade que variou de 4 km/h a 18 km/h durante 60 segundos.

Os dados do acelerômetro apontaram um pico a 10 km/h, seguido de uma estabilização após esta velocidade.

Os autores justificaram o comportamento do acelerômetro em subestimar o gasto energético em altas velocidades devido à avaliação de sua aceleração apenas no plano vertical para este tipo de exercício, no qual este tende a atingir seu máximo e estabilizar independentemente do aumento da velocidade do exercício (Brage e colaboradores, 2003; Rowlands, Pedra, Eston, 2007).

Nesta perspectiva, Patterson, Mcgrath e Caulfield (2011) integraram acelerômetros à dispositivos para capturar informações sobre a

qualidade da técnica de corrida e compararam os dados do acelerômetro às mudanças cinemáticas do corredor. Os resultados demonstraram que as mudanças cinemáticas estão diretamente relacionadas ao dispêndio energético durante as corridas, pois o consumo de energia metabólica está principalmente relacionado com a força exercida pela musculatura ativa durante esta atividade, assim o acelerômetro tende a subestimar o gasto energético durante a corrida.

Estudos avaliando a capacidade do acelerômetro em prever o gasto energético durante exercício em esteira e em atividades livres, utilizando a calorimetria indireta com medida critério, demonstraram correlação significativa forte entre os métodos, porém, foram encontradas diferenças significativas em atividades de intensidade vigorosa, nas quais o aparelho subestimou o gasto energético (Fudge e colaboradores, 2007; Hendelman e colaboradores, 2000; Nichols e colaboradores, 2000), assim como no presente estudo.

Considerando a confiabilidade das equações em prever o gasto energético, Lyden e colaboradores (2011) avaliaram a validade de nove equações de predição propostas para três marcas de acelerômetros.

Os resultados mostraram que todos os instrumentos e equações de predição não apresentaram estimativas precisas do gasto energético nas intensidades trabalhadas (leve < 3 METs, moderada 3-5,99 METs, vigorosa ≥ 6 METs), demonstrando assim que as técnicas de predição atuais têm muitas limitações ao traduzir as contagens do acelerômetro em energia despendida, principalmente quando a intensidade do exercício é de moderada a vigorosa.

Com relação à validade das equações de regressão comumente utilizadas para o acelerômetro Actigraph na predição de gasto de energético, os estudos de Alhassan e colaboradores (2014); Crouter, Churilla e Bassett (2006) verificaram que estas equações não produziram estimativas precisas de gasto energético em atividades de intensidades moderada e vigorosa em diferentes populações.

Neste sentido, como as respostas do acelerômetro variam em virtude das alterações na biomecânica na corrida, da marca do equipamento e da equação empregada, a adoção de metodologias combinadas

poderiam prever os valores de gasto energético de modo mais confiável (Fudge e colaboradores, 2007).

Em síntese, esta investigação fornece importantes informações sobre a confiabilidade do acelerômetro Actigraph em prever o gasto energético em diferentes intensidades de corrida na esteira em adultos jovens.

No entanto, o pequeno número amostral e protocolo de exercício com pequena amplitude de intensidades podem ser considerados fatores limitantes.

Em conclusão, o presente estudo verificou que o acelerômetro forneceu estimativas precisas de gasto energético até a velocidade de 8 km/h.

No entanto, na velocidade de 10 km/h seus dados subestimaram o gasto energético quando comparado ao mensurado pela calorimetria indireta.

Dessa forma, novos estudos devem ser conduzidos para verificar as causas deste fenômeno, como variações na biomecânica da corrida e possíveis diferenças no ambiente como variações no tipo de terreno e atividades.

## REFERÊNCIAS

- 1-Alhassan, S.; Lyden, K.; Howe, C.; Keadle, S. K.; Nwaokemele, O.; Freedson, P. S. Accuracy of accelerometer regression models in predicting energy expenditure and METs in children and youth. *Pediatric Exercise Science*. Vol. 24. Núm. 4. p.519-536. 2014.
- 2-Bersch, S. D.; Azzi, D.; Khusainov, R.; Achumba, I. E.; Ries, J. Sensor data acquisition and processing parameters for human activity classification. *Sensors*. Vol. 14. Núm. 3. p.4239-4270. 2014.
- 3-Brage, S.; Wedderkopp, N.; Franks, P. W.; Andersen, L. B.; Froberg, K. Reexamination of validity and reliability of the CSA monitor in walking and running. *Medicine and science in sports and exercise*. Vol. 35. Núm. 8. p.1447-1454. 2003.
- 4-Cafruni, C. B.; Valadão, R. C.; Mello, E. D. Como avaliar a atividade física? *Revista Brasileira de Ciências da Saúde*. Vol. 10. Núm. 33. p.61-71. 2012.
- 5-Coelho, C. F.; Burini, R. C. Atividade física para prevenção e tratamento das doenças crônicas não transmissíveis e da incapacidade funcional. *Revista de Nutrição*. Vol. 22. Núm. 6. p.937-946. 2009.
- 6-Crouter, S. E.; Churilla, J. R.; Bassett, D. R. Estimating energy expenditure using accelerometers. *European journal of applied physiology*. Vol. 98. Núm. 6. p.601-612. 2006.
- 7-Freedson, P. S.; Melanson, E. L.; Sirard, J. Calibration of the computer science and applications, Inc. accelerometer. *Medicine and science in sports and exercise*. Vol. 30. Núm. 5. p.777-781. 1998.
- 8-Fudge, B. W.; Wilson, J.; Easton, C.; Irwin, L.; Clark, J.; Haddow, O.; Kayser, B.; Pitsiladis, Y. P. Estimation of oxygen uptake during fast running using accelerometry and heart rate. *Medicine and science in sports and exercise*. Vol. 39. Núm. 1. p.192-198. 2007.
- 9-Garatachea, N.; Luque, G. T.; Gallego, J. G. Physical activity and energy expenditure measurements using accelerometers in older adults. *Nutrición Hospitalaria*. Vol. 25. Núm. 2. p.224-230. 2010.
- 10-Guinhouya, C. B.; Hubert, H.; Soubrier, S.; Vilhelm, C.; Lemdani, M.; Durocher, A. Moderate-to-vigorous physical activity among children: discrepancies in accelerometry-based cut-off points. *Obesity*. Vol. 14. Núm. 5. p.774-777. 2006.
- 11-Hendelman, D.; Miller, K.; Baggett, C.; Debold, E.; Freedson, P. Validity of accelerometry for the assessment of moderate-intensity physical activity field. *Medicine and science in sports and exercise*. Vol. 32. Núm. 9. p.442-449. 2000.
- 12-Loprinzi, P. D.; Cardinal, B. J. Measuring children's physical activity and sedentary behaviors. *Journal of Exercise Science & Fitness*. Vol. 9. Núm. 1. p.15-23. 2011.
- 13-Lyden, K.; Kozey, S. L.; Staudenmeyer, J. W.; Freedson, P. S. A comprehensive evaluation of commonly used accelerometer energy expenditure and MET prediction equations. *European Journal of Applied Physiology*. Vol. 111. Núm. 2. p.187-201. 2011.

# Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício

ISSN 1981-9900 *versão eletrônica*

Periódico do Instituto Brasileiro de Pesquisa e Ensino em Fisiologia do Exercício

[www.ibpex.com.br](http://www.ibpex.com.br) / [www.rbpfex.com.br](http://www.rbpfex.com.br)

14-Matsudo, S. M.; Matsudo, V. R.; Araújo, T.; Andrade, D.; Andrade, E.; Oliveira, L.; Braggion, G. Nível de atividade física da população do Estado de São Paulo: análise de acordo com o gênero, idade, nível socioeconômico, distribuição geográfica e de conhecimento. *Revista Brasileira de Ciência e Movimento*. Vol. 10. Núm. 4. p.41-50. 2002.

15-Nichols, J. F.; Morgan, C. G.; Chabot, L. E.; Sallis, J. F.; Calfas, K. J. Assessment of physical activity with the Computer Science and Applications, Inc., accelerometer: laboratory versus field validation. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. Vol. 71. Núm. 1. p.36-43. 2000.

16-Patterson, M. J.; Mcgrath, D.; Caulfield, B. Using a tri-axial accelerometer to detect technical failure due to fatigue in long distance runners: a perspective preliminary. *Medicine and Biology Society*. Vol. 4. p.6511-6517. 2011.

17-Rowlands, A. V.; Pedra, M. R.; Eston, R. G. Influence of speed and step frequency during walking and running on motion sensor output. *Medicine and science in sports and exercise*. Vol. 39. Núm. 4. p.716-727. 2007.

18-Sandroff, B. M.; Motl, R. W.; Pilutti, L. A.; Learmonth, Y. C.; Ensari, I.; Dlugonski, D.; Klaren, R. E.; Balantrapu, S.; Riskin, B. J. Accuracy of Step Watch TM and ActiGraph Accelerometers for Measuring Steps Taken among Persons with Multiple Sclerosis. *PLoS one*. Vol. 9. Núm. 4. p.e9351. 2014.

19-Swartz, A. M.; Strath, S. J.; Bassett, D. R.; O'Brien, W. L.; King, G. A.; Ainsworth, B. E. Estimation of energy expenditure using CSA accelerometers at hip and wrist sites. *Medicine and science in sports and exercise*. Vol. 32. Núm. 9. p.450-456. 2000.

20-Trost, S. G. State of the Art Reviews: Measurement of Physical Activity in Children and Adolescents. *American Journal of Lifestyle Medicine*. Vol. 1. Núm. 4. p.299-314. 2007.

21-Trost, S. G.; Pate, R. R.; Freedson, P. S.; Sallis, J. F.; Taylor, W. C. Using objective physical activity measures with youth: how many days of monitoring are needed?

*Medicine and science in sports and exercise*. Vol. 32. Núm. 2. p.426-431. 2000.

22-Ward, D. S.; Evenson, K. R.; Vaughn, A.; Rodgers, A. B.; Troiano, R. P. Accelerometer use in physical activity: best practices and research recommendations. *Medicine and science in sports and exercise*. Vol. 37. Núm. 11. p.582-588. 2005.

23-Wientzek, A.; Vigl, M.; Steindorf, K.; Brühmann, B.; Bergmann, M. M.; Harttig, U.; Katzke, V.; Kaaks, R.; Boeing, H. The improved physical activity index for measuring physical activity in EPIC Germany. *PLoS one*. Vol. 9. Núm. 3. p.e92005. 2014.

E-mails dos autores:

fariawf@outlook.com

wayne\_sap@hotmail.com

renan\_edf91@hotmail.com

efjoao@hotmail.com

gessikinha\_castilho@hotmail.com

rgmelias@uenp.edu.br

asneto@uenp.edu.br

Endereço para correspondência:

Wayne Ferreira de Faria.

Universidade Estadual do Norte do Paraná  
Campus Jacarezinho. Centro de Ciências da Saúde, Alameda Padre Magno, 841.  
Jacarezinho, Paraná, Brasil.

CEP: 86.400-000.

Recebido para publicação 20/01/2016

Aceito em 17/04/2016