

Limiares de acelerômetros para a estimativa da intensidade da atividade física em crianças e adolescentes: uma revisão sistemática

Accelerometers thresholds to estimate physical activity intensity in children and adolescents: a systematic review

Marcelo Romanzini¹

Edio Luiz Petroski²

Felipe Fossati Reichert³

Resumo – O objetivo deste estudo foi verificar a validade (critério) e a generalidade (validade cruzada) dos limiares de acelerômetros para distinguir diferentes intensidades de atividade física em crianças e adolescentes. Uma busca sistemática da literatura foi conduzida nas bases de dados Pubmed, Scopus, Sports Discus e Web of Science. Os critérios de inclusão foram: a) derivação e/ou validação de limiares de acelerômetros relacionados à intensidade da atividade física em jovens (2 a 18 anos); b) uso da calorimetria indireta ou a observação direta como método de referência e; c) estudos em língua inglesa, espanhola ou portuguesa. Dezenove estudos foram selecionados. Os acelerômetros mais investigados foram o ActiGraph, o RT3 e o Actical. Os limiares apresentaram boa a moderada validade na fase de calibração (sensibilidade = 68-100%; especificidade = 61-100%). A generalidade dos limiares foi maior quando estes foram testados em amostras independentes (Kappa = 0,72-0,91; sensibilidade = 79-94%; especificidade = 72-98%) do que em atividades independentes (Kappa = 0,46-0,71; sensibilidade = 27-97%; especificidade = 52-95%). Um único estudo de calibração testou a validade dos limiares em amostras e atividades independentes e apenas um estudo de validação de limiares foi localizado. Em conclusão, limitada informação foi constatada quanto à generalidade dos limiares de acelerômetros para o monitoramento da atividade física habitual de crianças e adolescentes. Estudos de validação são necessários para identificar limiares apropriados para cada modelo de acelerômetro.

Palavras-chave: Atividade motora; Calibragem; Movimento; Validade dos testes.

Abstract – The aim of this study was to verify the criterion and cross-validity of accelerometer thresholds for distinguishing different physical activity intensities and identifying sedentary behavior in children and adolescents. A systematic literature review was conducted using the PubMed, Scopus, Sports Discus and Web of Science databases. Inclusion criteria were: a) derivation and/or validation of accelerometer thresholds related to intensity of physical activity in youth (age 2 to 18 years); b) use of indirect calorimetry or direct observation as the reference method; c) original research articles published in English, Portuguese or Spanish. Nineteen studies were selected. The accelerometers most often investigated were ActiGraph, RT3 and Actical. Thresholds showed good to moderate validity in the calibration phase (sensitivity = 68 to 100%; specificity = 61 to 100%). Generalizability of the thresholds was higher when they were tested on independent samples (Kappa = 0.72 to 0.91; sensitivity = 79 to 94%; specificity = 72 to 98%) than during independent activities (Kappa = 0.46 to 0.71; sensitivity = 27 to 97%; specificity = 52 to 95%). One calibration study tested the validity of thresholds in independent samples and activities, and only one threshold validation study was found. In conclusion, limited information is available on the generality of accelerometer thresholds for physical activity monitoring in children and adolescents. Validation studies are needed to identify appropriate thresholds for each type of accelerometer.

Key words: Calibration; Motion; Motor activity; Validity of tests.

1 Universidade Estadual de Londrina. Centro de Educação Física e Esporte. Departamento de Educação Física. Londrina, PR. Brasil.

2 Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Desportos. Departamento de Educação Física. Florianópolis, SC. Brasil.

3 Universidade Federal de Pelotas. Escola Superior de Educação Física. Pelotas, RS. Brasil.

Recebido em 27/05/11
Revisado em 25/07/11
Aprovado em 21/09/11



Licença
Creative Commons

INTRODUÇÃO

O uso da acelerometria tem sido cada vez mais comum em estudos sobre atividade física envolvendo crianças e adolescentes¹. Acelerômetros são dispositivos eletrônicos que medem a aceleração do movimento corporal² e permitem quantificar de forma objetiva a frequência, duração e intensidade da atividade física. Apesar de não fornecer informações contextuais das atividades realizadas³ e não medir corretamente determinadas atividades^{3,4}, o uso de acelerômetros em estudos com crianças e adolescentes evita o viés de informação, permite melhorar o entendimento da relação entre atividade física e saúde, além de identificar achados que não são perceptíveis pelo uso de medidas subjetivas⁵.

Em termos operacionais, a medida do acelerômetro (*counts*) deve ser traduzida em uma variável com significado biológico ou comportamental⁶. Este processo é denominado de calibração e envolve a identificação de limiares relacionados à intensidade da atividade física, ou, a transformação dos valores de *counts* em unidades de gasto energético, tendo como métodos de referência a calorimetria ou a observação direta. Visto que a relação entre *counts* e medidas biológicas ou comportamentais é influenciada por parâmetros físicos e fisiológicos⁶ e que a coleta e o armazenamento de dados diferem entre os modelos de acelerômetros², recomenda-se que limiares e/ou modelos de predição do gasto energético sejam específicos à população e ao modelo de acelerômetro.

Nos últimos anos, diferentes tipos de acelerômetros foram calibrados em amostras de crianças e adolescentes e vários limiares e modelos de predição foram disponibilizados. No entanto, tem sido observado que o tempo gasto por jovens em atividades físicas de intensidade moderada a vigorosa varia significativamente conforme o limiar adotado⁷⁻⁹. Isto pode dificultar a comparação entre estudos de prevalência de atividade física, bem como afetar a precisão das medidas de efeito em estudos de associação da atividade física com desfechos em saúde.

Recentemente, de Graauw et al.¹⁰ revisaram a validade de modelos de predição derivados de *counts* de acelerômetros e constataram que os mesmos fornecem medidas precisas do gasto energético relacionado à atividade física de crianças e adolescentes apenas em nível de grupo. Por outro lado, nenhum estudo revisou, sistematicamente, os limiares disponíveis para cada modelo de acelerômetro e seus respectivos indicadores de validade neste grupo populacional. Nesse sentido, o objetivo deste estudo é revisar, de forma sistemática, a validade e a generalidade dos limiares para *counts* de acelerômetros destinados à classificação da intensidade da atividade física em crianças e adolescentes.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Realizou-se uma busca nas bases de dados *PubMed*, *Scopus*, *Sports Discus* e *Web of Science* para a localização de manuscritos que derivaram e/ou validaram limiares para *counts* de acelerômetros destinados à determinação da intensidade da atividade física em crianças e adolescentes. A busca compreendeu todo período de existência das bases, até janeiro de 2011. O Quadro 1 apresenta a estratégia de busca utilizada em cada base.

Quadro 1. Descritores de Busca na literatura

Bases	Combinação de descritores
Pubmed Web of Science Scopus Sports Discus	(<i>accelerometer* or accelerometry or motion sensor* or activity monitor* or ActiGraph or Actical or Actiwatch or RT3 or Tritac or R3D or Mini-mitter</i>) and (<i>validity or validities or validity of results or validity and reliability or validation or valid or calibration or cut-points or cut-off or threshold*</i>) and (<i>physical activity or physical activities or locomotor activity or motor activities or sedentary or moderate or vigorous or energy expenditure or free-living activities</i>) and (<i>adolescent* or teen* or teenager* or youth* or adolescence or child or children or early childhood or young child or students or young or preschool*</i>)

Foram incluídos na revisão os estudos que atenderam os seguintes critérios: a) elaboração e/ou validação de limiares para a identificação da intensidade da atividade física a partir de *counts* registrados por acelerômetros; b) amostra composta por crianças e/ou adolescentes (2-18 anos); c) utilização da calorimetria indireta ou a observação direta como método de referência; d) artigo original de pesquisa publicado nas línguas inglesa, portuguesa ou espanhola. Artigos cuja calibração de acelerômetros foi apresentada secundariamente como parte do estudo na seção de métodos, resumos, artigos de revisão, dissertações, teses, monografias, capítulos de livros e estudos duplicados foram excluídos. As referências bibliográficas dos estudos selecionados foram revisadas na tentativa de se encontrar algum estudo não identificado na busca eletrônica. Nenhum estudo foi adicionalmente localizado.

Com o intuito de permitir comparabilidade entre limiares e indicadores de validade derivados para cada modelo de acelerômetro, foram extraídas de cada estudo informações relacionadas às características da amostra, protocolo de atividades físicas, medida de referência e método utilizado para derivar os limiares. Adicionalmente, dois revisores (MR e FFR) avaliaram independentemente os estudos selecionados quanto à sua qualidade metodológica por meio de um *checklist* modificado empregado anteriormente em outros estudos^{10,11} (Quadro 2). As divergências na extração das informações foram solucionadas por um terceiro revisor (ELP).

A validade (critério) e a generalidade (validade cruzada) dos limiares foram analisadas por meio do procedimento estatístico adotado e da magnitude das medidas. A validade foi considerada a partir da comparação da classificação da intensidade da atividade física de cada limiar contra uma medida critério. A generalidade foi considerada a partir da comparação da classificação da intensidade da atividade pelos limiares de acelerômetros em relação aos métodos de referência a partir de amostras e/ou atividades independentes. Medidas adequadas de validade incluíram a sensibilidade/especificidade e limites de concordância de 95% de Bland e Altman. Outras medidas de validade foram o percentual de concordância, coeficiente de concordância de Kappa (k), coeficientes de correlação intraclass, produto-momento de Pearson (r) e ordem de rank de Spearman¹². Arbitrariamente, valores de sensibilidade e especificidade $\geq 80\%$ indicaram boa validade (+), $\geq 60\%$ moderada validade ($\pm$) e $< 60\%$ pobre validade (-). Alternativamente, boa validade (+) foi atribuída para $k > 0,60$, percentual de concordância $\geq 90\%$ ou $r > 0,75$, moderada validade ($\pm$) para $k > 0,40$, percentual de concordância $\geq 70\%$ ou $r > 0,50$, e, pobre validade (-) para $k \leq 0,40$, percentual de concordância $< 70\%$ ou $r \leq 0,50$ ¹³.

Quadro 2. Checklist com base no desenho do estudo (D), itens de validade (V) e viabilidade (VI)

D1	Escore	Características da amostra (n, sexo, idade, peso, estatura, IMC, %gordura, estado de saúde)
	1,0	≥6 características da amostra são descritas
	0,5	4-5 características da amostra são descritas
	0,0	≤3 características da amostra são descritas
D2		Protocolo
	1,0	Informação sobre atividades, duração e período de uso do acelerômetro
	0,5	Informação sobre o período de uso do acelerômetro não é apresentado
	0,0	Não claro para todos
D3		Medidas
	1,0	Completa informação sobre o acelerômetro (tipo, <i>output</i> , epoch, colocação) e método(s) de referência (tipo, <i>output</i>)
	0,5	Alguma informação sobre o acelerômetro (tipo, <i>output</i> , epoch, colocação) e método(s) de referência (tipo, <i>output</i>) não é apresentada
	0,0	Muito limitada informação sobre o acelerômetro (tipo, <i>output</i> , epoch, colocação) e método(s) de referência (tipo, <i>output</i>)
D4		Análises estatísticas
	1,0	Completa informação sobre as análises estatísticas (testes, análises de sub-grupos), software do pacote estatístico e valor de P
	0,5	Alguma informação sobre as análises estatísticas (testes, análises de sub-grupos), software do pacote estatístico e valor de P
	0,0	Muito limitada informação sobre as análises estatísticas (testes, análises de sub-grupos), software do pacote estatístico e valor de P
V1		Validade de critério é relatada para os limiares?
	1,0	Sim
	0,0	Não
V2		Adequada medida de validade critério?
	1,0	Sensibilidade/especificidade
	1,0	Limites de concordância de 95% (Bland e Altman)
	0,5	<i>Cohen's Kappa</i>
	0,5	Percentual de concordância
	0,5	Coeficiente de correlação intraclass, produto-momento de Pearson ou ordem de <i>rank</i> de Spearman
	0,0	Outras medidas
V3		Aceitável nível de validade critério?
	+	Sensibilidade e especificidade ≥80%, $\kappa > 0,60$, percentual de concordância ≥90%, $r > 0,75$
	±	Sensibilidade e especificidade ≥60%, $\kappa > 0,40$, percentual de concordância ≥70%, $r > 0,50$
	-	Sensibilidade e especificidade <60%, $\kappa \leq 0,40$, percentual de concordância <90%, $r \leq 0,50$
V4		Validação cruzada é relatada para os limiares?
	1,0	Sim
	0,0	Não
V5		Adequada medida de validade cruzada?
	1,0	Sensibilidade/especificidade
	1,0	Limites de concordância de 95% (Bland e Altman)
	0,5	<i>Cohen's Kappa</i>
	0,5	Percentual de concordância
	0,5	Coeficiente de correlação intraclass, produto-momento de Pearson ou ordem de <i>rank</i> de Spearman
	0,0	Outras medidas
V6		Aceitável nível de validade cruzada?
	+	Sensibilidade e especificidade ≥80%, $\kappa > 0,60$, percentual de concordância ≥90%, $r > 0,75$
	±	Sensibilidade e especificidade ≥60%, $\kappa > 0,40$, percentual de concordância ≥70%, $r > 0,50$
	-	Sensibilidade e especificidade <60%, $\kappa \leq 0,40$, percentual de concordância <90%, $r \leq 0,50$
VI1		A quantia de perdas de dados devido ao (mal funcionamento do) acelerômetro é relatada?
	1,0	Sim
	0,0	Não
VI2		Aceitável quantia de perdas de dados?
	+	≤5%
	-	>5%

RESULTADOS

Foram identificados 1558 estudos, dos quais 19 foram selecionados (Figura 1). Estes estudos forneceram limiares para sete diferentes modelos de acelerômetros. Os acelerômetros mais investigados foram o ActiGraph, o RT3 e o Actical. No total, foram identificados 16 limiares para a caracterização das atividades sedentárias (SED), 23 limiares relacionados às atividades de intensidade moderada (MOD) e 20 limiares relacionados às atividades vigorosas (VIG). Cinco estudos utilizaram a observação direta como método de referência¹⁴⁻¹⁸, enquanto os demais utilizaram a calorimetria indireta para a calibração dos acelerômetros. Um estudo avaliou a generalidade de limiares previamente publicados para o ActiGraph¹⁹. Oito apresentaram análises de validação cruzada, mas apenas um utilizou amostra e atividades independentes¹⁷.

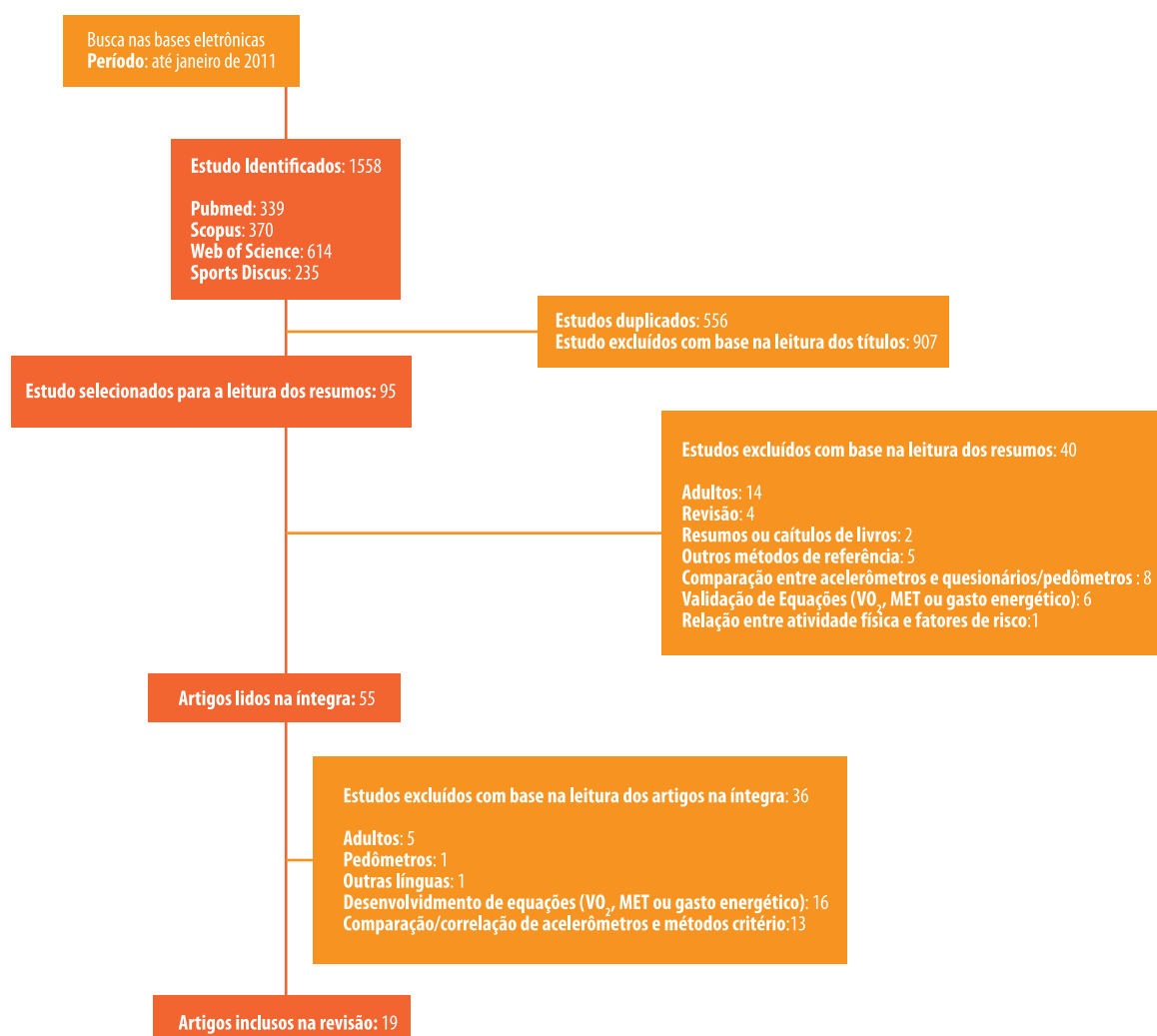


Figura 1. Processo de seleção dos estudos

Escore derivado do *checklist* indicaram moderada qualidade metodológica dos estudos (média $5,6 \pm 1,4$ pontos; variação 3,5 a 8,0 pontos).

Cinco estudos apresentaram elevada qualidade metodológica (>6 pontos)^{14,16,17,20,21}, enquanto que os demais apresentaram moderada qualidade (3,5 a 6,0 pontos). Informações sobre a viabilidade de acelerômetros foram relatadas em um único estudo e indicou aceitável quantia de perdas para o ActiGraph (<5%)²⁰.

LIMIARES E VALIDADE

Em geral, os limiares apresentaram boa a moderada validade na fase de calibração (sensibilidade = 68-100%; especificidade = 61-100%) (Quadro 3). Para o ActiGraph, boa validade foi identificada para os limiares relacionados às SED (sensibilidade = 86-100%, especificidade = 91-100%), enquanto que moderada a boa validade foi verificada para os limiares destinados às MOD (sensibilidade = 77-96%, especificidade = 61-100%) e VIG (sensibilidade = 68-100%, especificidade = 80-95%). Especificamente para crianças e adolescentes (6 a 18 anos), os limiares para o ActiGraph variaram entre 100 e 800 *counts.min⁻¹* para SED, 1900 e 3600 *counts.min⁻¹* para MOD e 3900 e 8200 *counts.min⁻¹* para VIG. Para pré-escolares (2 a 5 anos), os limiares variaram entre 1100 e 1600 *counts.min⁻¹*, 1680 e 3560 *counts.min⁻¹* e, 3370 e 5020 *counts.min⁻¹* para SED, MOD e VIG, respectivamente.

Os limiares para *counts* do RT3 foram derivados apenas em amostras de crianças e adolescentes. Limiares foram de 40 e 420 *counts.min⁻¹* para SED e variaram entre 950 e 1860 *counts.min⁻¹* para MOD e 2330 e 4110 *counts.min⁻¹* para VIG. Parâmetros de validação foram apresentados apenas em um estudo²¹ e indicaram boa validade dos limiares nas diferentes intensidades da atividade física. Para o Actical, boa a moderada validade foi identificada para os limiares relacionados às SED (sensibilidade = 86-97%, especificidade = 72-98%), MOD (sensibilidade = 78-97%, especificidade = 73-92%) e VIG (sensibilidade = 77-98%, especificidade = 61-79%). Para crianças e adolescentes, os limiares foram de 44 e 100 *counts.min⁻¹*, 1500 e 2030 *counts.min⁻¹* e 2880 e 6500 *counts.min⁻¹* para SED, MOD e VIG, respectivamente. Para pré-escolares, foi identificado apenas um limiar para MOD (715 *counts.15s⁻¹*) e um para VIG (1411 *counts.15s⁻¹*).

Quadro 3. Limiares para *counts* de acelerômetros relacionados à intensidade da atividade física (n=18).

Características	Limiares	Validade	Generalidade
ActiGraph (crianças e adolescentes)			
Vanhelst et al. ²² Amostra: n=40 (10-16 anos); Atividades: repouso, ler, jogar videogame, jogos de salão, chutar bola, caminhar (1,5 e 3 km/h), correr (4 e 6 km/h). Critério: calorimetria indireta. Método: curvas ROC	SED=0-400 c.min LEV=401-1900 c.min MOD=1901-3918 c.min VIG>3918 c.min	----- ----- ----- -----	κ =0,85 κ =0,72 κ =0,88 κ =0,91
Evenson et al. ²³ Amostra: n=33 (5-8 anos); Atividades: sentado, ver DVD, colorir, caminhar (3,2 e 4,8 km/h), subir degraus, dribles de basquete, pedalar, polichinelos, correr (6,4 km/h). Critério: calorimetria indireta. Método: curvas ROC	SED=0-25 c.15s LEV=26-573 c.15s MOD=574-1002 c.15s VIG≥1003 c.15s	S=95%; E=93% ----- S=77%; E=81% S=68%; E=89%	S=100%; E=79%* S=49%; E=91%* S=88%; E=92%* S=74%; E=94%*

Características	Limiares	Validade	Generalidade
Mattocks et al. ²⁰ Amostra: n=163 (12 anos); Atividades: repouso, jogar videogame, caminhar (lento e rápido) e correr em ritmo próprio, amarelinha. Critério: calorimetria indireta. Método: modelo de regressão	MOD=3581-6129 c.min VIG≥6130 c.min	S=96%; E=61% S=74%; E=95%	S=57%; E=99%* S=31%; E=99%*
Truth et al. ²⁴ Amostra: n=74 (13-14anos); Atividades: repouso, ver TV, jogar no computador, varrer, caminhar (4 e 5,6 km/h), passos aeróbicos, andar de bicicleta (19 km/h), arremessos de basquetebol, subir degraus, correr (8km/h). Critério: calorimetria indireta. Método: análise de falsos positivos e negativos	SED=0-50 c.30s LEV=51-1499 c.30s MOD=1500-2600 c.30s VIG>2600 c.30s	----- ----- ----- -----	S=100%; E=79%* S=55%; E=81%* S=74%; E=96%* S=48%; E=99%*
Puyau et al. ²⁵ Amostra: n=26 (6-16 anos); Atividades: jogar videogame, colorir, brincar com objetos, exercícios de aquecimento, caminhar (4 e 5,6 ou 6,4 km/h), artes marciais, jogos diversos, correr (6,4 ou 8 ou 9,6 km/h). Critério: calorimetria de sala. Método: modelo de regressão	SED=0-800 c.min LEV=800-3199 c.min MOD=3200-8199 c.min VIG≥8200 c.min	----- ----- ----- -----	S=100%; E=61%* S=12%; E=81%* S=54%; E=99%* S=7%; E=100%*
ActiGraph (pré-escolares)			
Cauwenberghe et al. ¹⁵ Amostra: n=18 (4-6 anos); Atividades: sentado, em pé, desenhar, caminhar e correr na esteira em 7 velocidades, caminhar (fora do laboratório) e jogos livres. Critério: observação direta. Curvas ROC	SED=0-372 c.15s LEV=373-584 c.15s MOD=585-880 c.15s VIG≥881 c.15s	S=86%; E=91% ----- S=87%; E=82% S=88%; E=91%	----- ----- ----- -----
Pate et al. ²⁶ Amostra: n=30 (3-5 anos); Atividades: caminhar (3,2 e 4,8 km/h) e correr (6,4 km/h). Critério: calorimetria indireta. Método: inspeção visual de dados VO ₂	MOD=420-841 c.15s VIG≥842 c.15s	----- -----	S=97%; E=86% S=66%; E=95%
Sirard et al. ¹⁷ Amostra: n=16 (3-5 anos); Atividades: sentado, jogar sentado, caminhada lenta e rápida, correr. Critério: observação direta. Método: curvas ROC	SED<301 ^a , 363 ^b , 398 ^c c.min MOD≥615 ^a , 812 ^b , 891 ^c c.min VIG≥1231 ^a , 1235 ^b , 1255 ^c c.min	S=94-100%; E=92-100% S=87-93%; E=67-100% S=96-100%; E=80-83%	r=0,70 r=0,46 r=0,61
Reilly et al. ¹⁸ Amostra: n=30 (3-4 anos); Atividades: não especificado. Critério: observação direta. Método: curvas ROC	SED<1100 c.min	-----	S=83%; E=82%
RT3			
Vanhelst et al. ²⁷ Amostra: n=40 (10-16 anos); Atividades: repouso, ler, jogar videogame, jogos de salão, chutar bola, caminhar (1,5 e 3km/h), correr (4 e 6 km/h). Critério: calorimetria indireta. Método: curvas ROC	SED=0-40 c.min LEV=41-950 c.min MOD=951-3410 c.min VIG>3410 c.min	----- ----- ----- -----	κ=0,87 κ=0,75 κ=0,91 κ=0,89
Kavouras et al. ²⁸ Amostra: n=42 (10-14 anos); Atividades: caminhar (4 e 6 km/h), correr (8 km/h), caminhada em inclinação (4 e 6 km/h a 6% de graduação). Critério: calorimetria indireta. Método: modelo de regressão	MOD=1323-2609 c.min VIG≥2610 c.min	----- -----	----- -----
Chu et al. ²¹ Amostra: n=35 (8-12 anos); Atividades: ler, colorir ou jogar jogos de tabuleiro, caminhar (2, 4 e 6 km/h), correr (8 km/h). Critério: calorimetria indireta. Método: curvas ROC	SED< 7 c.s LEV=7-30,9 c.s MOD=31-68,4 c.s VIG≥68,5 c.s	S=100%; E=100% ----- S=87%; E=100% S=88%; E=97%	S=94%; E=98% ----- S=84%; E=72% S=79%; E=84%
Rowlands et al. ²⁹ Amostra: n=19 (9±1 anos); Atividades: jogar no computador, caminhar (4 e 6 km/h), correr (8 e 10 km/h), pular amarelinha, chutar bola. Critério: calorimetria indireta. Método: modelo de regressão	MOD=970-2332 c.min VIG≥2333 c.min	----- -----	----- -----

Características	Limiares	Validade	Generalidade
Actical			
Evenson et al. ²³ Amostra: n=33 (5-8 anos); Atividades: sentado, ver DVD, colorir, caminhar (3,2 e 4,8 km/h), subir degraus (88 bpm), dribles de basquetebol, polichinelos, pedalar, correr (6,4 km/h). Critério: calorimetria indireta; Método: curvas ROC	SED=0-11 c.15s LEV=12-507 c.15s MOD=508-718 c.15s VIG≥719 c.15s	S=97%; E=98% ----- S=78%; E=79% S=77%; E=79%	----- ----- ----- -----
Pfeiffer et al. ³⁰ Amostra: n=18 (3-5 anos); Atividades: caminhar (3,2 e 4,8 km/h) e correr (6,4 km/h). Critério: calorimetria indireta; Método: modelo de regressão.	MOD=715-1410 c.15s VIG≥1411 c.15s	S=97%; E=92% S=98%; E=61%	κ=0,46 κ=0,71
Puyau et al. ³¹ Amostra: n=32 (7-18 anos); Atividades: repouso, jogar videogame, usar o computador, espanar pó, exercícios aeróbios, lançar bolas, caminhar (3,2 e 6,4 km/h), correr (7,2 a 11,2 km/h). Critério: calorimetria de sala. Método: modelo de regressão	SED=0-100 c.min LEV=100-1499 c.min MOD=1500-6499 c.min VIG≥6500 c.min	S=86%; E=72% ----- S=92%; E=73% S=95%; E=70%	----- ----- ----- -----
Actiwatch			
Puyau et al. ³¹ Amostra: n=32 (7-18 anos); Atividades: repouso, jogar videogame, usar o computador, espanar pó, exercícios aeróbios, lançar bolas, caminhar (3,2 e 6,4 km/h), correr (7,2 a 11,2 km/h). Critério: calorimetria de sala; Método: modelo de regressão.	SED=0-49 c.min LEV=50-699 c.min MOD=700-2499 c.min VIG≥2500 c.min	S=86%; E=71% ----- S=92%; E=68% S=97%; E=66%	----- ----- ----- -----
Puyau et al. ²⁵ Amostra: n=26 (6-16 anos); Atividades: jogar videogame, colorir, brincar com objetos, exercícios de aquecimento, caminhar (4 e 5,6 ou 6,4 km/h), artes marciais, jogos diversos, correr (6,4 ou 8 ou 9,6 km/h). Critério: calorimetria de sala. Método: modelo de regressão	SED=0-99 c.min LEV=100-899 c.min MOD=900-2199 c.min VIG≥2200 c.min	----- ----- ----- -----	----- ----- ----- -----
Actiheart			
De Bock et al. ¹⁴ Amostra: n=33 (3-6 anos); Atividades realizadas na pré-escola. Critério: observação direta. Método: curvas ROC	SED=0-45 c.15s ♂ SED=0-25 c.15s ♀ MOD=FC>134 bpm e >118 c.15s ♂ MOD=FC>138 bpm e >105 c.15s ♀		S=78%; E=52% S=75%; E=61% S=27%; E=91% S=38%; E=93%
Biotrainer			
Welk et al. ¹⁶ Amostra: n=30 (8-12 anos); Atividades: sentado, dribles com bola (parado, caminhando e correndo), caminhar, caminhar/ correr, correr. Critério: observação direta. Métodos: curvas ROC e modelo de regressão	MOD≥4000 c.min	-----	S=61%; E=93%
Activtracer			
Tanaka et al. ³² Amostra: n=27 (5-6 anos); Atividades: repouso, assistir vídeo, colorir, brincar com blocos, caminhar, subir degraus e correr em ritmo próprio, lançar bolas. Critério: calorimetria indireta. Método: modelos de regressão	MOD=395-1037 VIG≥1038	S=77%; E=94% -----	----- -----

* indicadores de generalidade derivados do estudo de validação de Trost et al. (2011); S=sensibilidade; E=especificidade; k = *Kappa*; c.s=*counts* por segundo; c.15s=*counts* por 15 segundos; c.30s=*counts* por 30 segundos; c.min=*counts* por minuto; ^alimiar para 3 anos de idade; ^blimiar para 4 anos de idade; ^climiar para 5 anos de idade; FC=frequência cardíaca; bpm=batimentos por minuto.

GENERALIDADE DOS LIMIARES

Quatro estudos de calibração do ActiGraph testaram a generalidade dos limiares desenvolvidos em amostras e/ou protocolos de atividades independentes^{17,18,22,26}. Em amostras independentes, boa generalidade foi

observada para os limiares de Vanhelst et al.²² ($k=0,72-0,85$) e Reilly et al.¹⁸ (sensibilidade = 83%, especificidade = 82%). Em atividades independentes, boa a moderada generalidade foi constatada para os limiares relacionados às MOD e VIG de Pate et al.²⁶ (sensibilidade = 97 e 66%, especificidade = 86 e 95%, respectivamente). Em amostras e atividades independentes, pobre a moderada generalidade foi observada para os limiares de Sirard et al.¹⁷ ($r=0,46-0,71$). Um estudo independente testou a generalidade de limiares do ActiGraph¹⁹ e verificou que limiares de Evenson et al.²³ desempenharam melhor nas diferentes intensidades da atividade física ($k=0,68$) quando comparados aos demais limiares ($k=0,62-0,36$)^{20,24,25}. Em geral, limiares de Evenson et al.²³ apresentaram boa a moderada generalidade para identificação das SED, MOD e VIG (Quadro 2).

Dois estudos de calibração do RT3 testaram a generalidade dos limiares desenvolvidos em amostras independentes^{21,27}. Vanhelst et al.²⁷ relataram boa generalidade dos limiares em todas as intensidades da atividade física ($k=0,75-0,91$), enquanto que Chu et al.²¹ observaram boa generalidade do limiar relacionado às SED (sensibilidade = 94%, especificidade = 98%) e moderada generalidade dos limiares relacionados às MOD e VIG (sensibilidade = 84 e 79%, especificidade = 72 e 84%, respectivamente). Para o Actical, apenas Pfeiffer et al.³⁰ testaram a generalidade de seus limiares em atividades independentes e constataram moderada generalidade do limiar relacionado às MOD ($k=0,46$) e boa generalidade do limiar direcionado às VIG ($k=0,71$). Em geral, a generalidade dos limiares foi maior quando estes foram testados em amostras independentes ($k=0,72-0,91$; sensibilidade = 79-94%; especificidade = 72-98%)^{18,21,22,27} do que em atividades independentes ($k=0,46-0,71$; sensibilidade = 27-97%; especificidade = 52-95%)^{14,16,26,30} (Quadro 2).

DISCUSSÃO

Este estudo revisou a validade e a generalidade dos limiares para *counts* de acelerômetros destinados à classificação da intensidade da atividade física em crianças e adolescentes. O ActiGraph, o Actical e o RT3 foram os modelos mais calibrados e limiares destes acelerômetros foram discrepantes em cada intensidade da atividade física. Em geral, limiares apresentaram boa a moderada validade para a discriminação das SED, MOD e VIG. No entanto, foi constatada limitada informação sobre a generalidade destes limiares em amostras e atividades independentes.

Diferenças nos critérios utilizados para definição da intensidade da atividade física, tamanho e características da amostra, protocolo estudado e procedimento estatístico podem contribuir para as discordâncias entre os limiares de um mesmo modelo de acelerômetro. É importante destacar que não há um claro entendimento quanto aos procedimentos mais adequados para derivação de limiares de acelerômetros, o que justifica a falta de padronização quanto aos procedimentos metodológicos aplicados em estudos de calibração. Para ilustrar, diferentes critérios têm sido utilizados

para a categorização da intensidade da atividade física e há um debate na literatura quanto ao uso de 3 ou 4 METs para a definição das MOD em crianças e adolescentes^{33,34}.

Outro importante aspecto metodológico diz respeito ao método utilizado para a derivação dos limiares. Tradicionalmente, modelos de regressão ou curvas ROC são utilizados. As vantagens e desvantagens destes procedimentos têm sido previamente discutidas^{35,36}. Basicamente, embora os modelos de regressão permitam derivar limiares ajustados às características dos sujeitos, o elevado erro padrão de estimativa se constitui como a principal limitação deste procedimento¹⁰. O uso de curvas ROC, por sua vez, possibilita testar empiricamente todos os possíveis limiares no gráfico correspondente à curva ROC, permitindo ao pesquisador escolher um apropriado limiar baseado em um equilíbrio entre a sensibilidade e especificidade.

Independente do modelo de acelerômetro, limiares apresentaram boa a moderada validade para a determinação da intensidade da atividade física quando comparados às medidas critérios adotadas nos estudos de calibração. No entanto, destaca-se que limiares para MOD e VIG derivados de protocolos de atividades físicas ambulatoriais (caminhada e corrida) apresentaram, em sua maioria, melhores indicadores de validade^{15,17,21,30} em relação àqueles derivados a partir da combinação de atividades ambulatoriais e não-ambulatoriais^{23,31,32}. De fato, determinadas atividades não-ambulatoriais (dribles de basquete, subir degraus, polichinelos, passos aeróbicos, artes marciais, lançar bolas) tendem a apresentar menores valores de *counts* em relação às ambulatoriais com menor gasto energético.

Nesse sentido, a maioria dos acelerômetros identificados nesta revisão são mais sensíveis às atividades com grande componente de aceleração no plano vertical, tais como caminhadas e corridas. Além disso, acelerômetros tendem a apresentar registros menos precisos dos movimentos relacionados aos segmentos corporais aos quais não estão posicionados³⁷. Em conjunto, estes fatores podem explicar a maior validade observada entre os limiares derivados a partir de atividades ambulatoriais. No entanto, considerando que as atividades diárias de crianças e adolescentes não se resumem às atividades ambulatoriais, a inclusão de atividades representativas do cotidiano desta população é recomendada para estudos de calibração³⁶.

Limitada informação foi observada quanto à generalidade dos limiares identificados nesta revisão. De um modo geral, indicadores de generalidade dos limiares foram maiores quando os mesmos foram testados em amostras independentes do que em atividades independentes. De forma semelhante, Corder et al.³⁸ constataram que a acurácia dos modelos de predição do gasto energético a partir de *counts* da acelerometria foram mais dependentes das atividades testadas do que das características dos participantes.

Idealmente, a generalidade dos limiares deve ser testada em amostras e atividades independentes. Sirard et al.¹⁷ monitoraram 269 pré-escolares em dias distintos em ambiente escolar e observaram pobre a moderada correlações ($r=0,46-0,70$) entre a soma de períodos de 15 segundos categorizados nas diferentes intensidades da atividade física pela técnica de observação

direta e pelos limiares derivados previamente na fase de calibração. Trost et al.¹⁹ testaram a generalidade de diferentes conjuntos de limiares derivados do acelerômetro ActiGraph em 206 jovens (5-15 anos) a partir de um protocolo contendo 12 atividades de intensidades sedentárias a vigorosas e observaram que os limiares de Evenson et al.²³ desempenharam melhor nas diferentes intensidades da atividade física quando comparados aos limiares de Treuth et al.²⁴, Mattocks et al.²⁰ e Puyau et al.²⁵.

O ActiGraph é o acelerômetro mais utilizado em estudos com crianças e adolescentes¹¹ e teve o maior número de limiares publicados. Entretanto, os limiares existentes para o ActiGraph foram desenvolvidos mediante a utilização dos modelos uniaxiais 7164 e GT1M. Embora o eixo ântero-posterior do GT1M tenha sido desbloqueado na segunda geração deste modelo, limiares elaborados a partir do GT1M utilizaram informações obtidas apenas junto ao eixo vertical. A versão comercialmente disponível do ActiGraph é o modelo GT3X. Este modelo possui um acelerômetro triaxial que coleta informações nos três eixos (vertical, médio-lateral e ântero-posterior), podendo combinar esta informação em um vetor magnitude. Assim, embora as informações de aceleração registradas pelo eixo vertical do GT1M e do GT3X sejam comparáveis³⁹ para explorar a medida triaxial do GT3X, limiares para o vetor magnitude deste modelo são necessários.

Em conclusão, o presente estudo verificou que limiares de acelerômetros apresentam boa a moderada validade para a estimativa da intensidade da atividade física em crianças e adolescentes. No entanto, há limitada informação quanto à generalidade destes limiares em amostras e atividades independentes. Até o presente momento, há um indicativo para o uso dos limiares de Sirard et al.¹⁷ em pré-escolares (pobre a moderada generalidade) e de Evenson et al.²³ em crianças e adolescentes (boa a moderada generalidade). Futuros estudos de validação devem ser conduzidos para identificar quais os limiares mais apropriados para cada modelo de acelerômetro. Limiares para *counts* do vetor magnitude do GT3X são necessários para explorar a medida triaxial da nova versão do acelerômetro ActiGraph.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Rowlands AV. Accelerometer assessment of physical activity in children: an update. *Pediatr Exerc Sci* 2007;19(3):252-66.
2. Chen KY, Bassett DR Jr. The technology of accelerometry-based activity monitors: current and future. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37(Suppl 11):S490-500.
3. Matthew CE. Calibration of accelerometer output for adults. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37(Suppl 11):S512-22.
4. Oliver M, Schofield GM, Kolt GS. Physical activity in preschoolers: understanding prevalence and measurement issues. *Sports Med* 2007;37(12):1045-70.
5. Reilly JJ, Penpraze V, Hislop J, Davies G, Grant S, Paton JY. Objective measurement of physical activity and sedentary behaviour: Review with new data. *Arch Dis Child* 2008;93(7):614-9.
6. Freedson P, Pober D, Janz KF. Calibration of accelerometer output for children. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37(Suppl 11):S523-30.
7. Cliff DP, Okely AD. Comparison of two sets of accelerometer cut-off points for calculating moderate-to-vigorous physical activity in young children. *J Phys Act Health* 2007;4(4):509-13.

8. Guinhouya CB, 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 (Silver Spring)* 2006;14(5):774-7.
9. Mota J, Valente M, Aires L, Silva P, Santos MP, Ribeiro JC. Accelerometer cut-points and youth physical activity prevalence. *Eur Phy Educ Rev* 2007;13(3):287-99.
10. de Graauw SM, de Groot JF, van Brussel M, Streur MF, Takken T. Review of prediction models to estimate activity-related energy expenditure in children and adolescents. *Int J Pediatr* 2010;489304. doi:10.1155/2010/489304
11. De Vries SI, Van Hirtum HW, Bakker I, Hopman-Rock M, Hirasig RA, Van Mechelen W. Validity and reproducibility of motion sensors in youth: a systematic update. *Med Sci Sports Exerc* 2009;41(4):818-27.
12. Szklo M, Javier Nieto F. *Epidemiology: beyond the basics*. Sudbury: Jones and Bartlett Publishers; 2007.
13. Innes E, Straker L. Validity of work-related assessments. *Work*. 1999;13(2):125-52.
14. De Bock F, Menze J, Becker S, Litaker D, Fischer J, Seidel I. Combining accelerometry and HR for assessing preschoolers' physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 2010;42(12):2237-43.
15. van Cauwenberghe E, Labarque V, Trost SG, de Bourdeaudhuij I, Cardon G. Calibration and comparison of accelerometer cut points in preschool children. *Int J Pediatr Obes* 2011;6(2-2):e582-9.
16. Welk GJ, Eisenmann JC, Schaben J, Trost SG, Dale D. Calibration of the Biotrainer Pro Activity Monitor in Children. *Pediatr Exerc Sci* 2007;19(2):145-58.
17. Sirard JR, Trost SG, Pfeiffer KA, Dowda M, Pate RR. Calibration and Evaluation of an Objective Measure of Physical Activity in Preschool Children. *J Phys Act Health* 2005;2:345-57.
18. Reilly JJ, Coyle J, Kelly L, Burke G, Grant S, Paton JY. An objective method for measurement of sedentary behavior in 3- to 4-year olds. *Obes Res*. 2003;11(10):1155-8.
19. Trost SG, Loprinzi PD, Moore R, Pfeiffer KA. Comparison of accelerometer cut points for predicting activity intensity in youth. *Med Sci Sports Exerc*. 2011;43(7):1360-8.
20. Mattocks C, Leary S, Ness A, Deere K, Saunders J, Tilling K, et al. Calibration of an accelerometer during free-living activities in children. *Int J Pediatr Obes*. 2007;2(4):218-26.
21. Chu EYW, McManus AM, Yu CCW. Calibration of the RT3 Accelerometer for Ambulation and Nonambulation in Children. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39(11):2085-91.
22. Vanhelst J, Beghin L, Turck D, Gottrand F. New validated thresholds for various intensities of physical activity in adolescents using the Actigraph accelerometer. *Int J Rehabil Res* 2011;34(2):175-7.
23. Evenson KR, Catellier DJ, Gill K, Ondrak KS, McMurray RG. Calibration of two objective measures of physical activity for children. *J Sports Sci* 2008;26(14):1557-65.
24. Treuth MS, Schmitz K, Catellier DJ, McMurray RG, Murray DM, Almeida MJ, et al. Defining accelerometer thresholds for activity intensities in adolescent girls. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36(7):1259-66.
25. Puyau MR, Adolph AL, Vohra FA, Butte NF. Validation and calibration of physical activity monitors in children. *Obes Res* 2002;10(3):150-7.
26. Pate RR, Almeida MJ, McIver KL, Pfeiffer KA, Dowda M. Validation and calibration of an accelerometer in preschool children. *Obesity (Silver Spring)* 2006;14(11):2000-6.
27. Vanhelst J, Béghin L, Rasoamanana P, Theunynck D, Meskini T, Iliescu C, et al. Calibration of the RT3 accelerometer for various patterns of physical activity in children and adolescents. *J Sports Sci* 2010;28(4):381-7.
28. Kavouras SA, Sarras SE, Tsekouras YE, Sidossis LS. Assessment of energy expenditure in children using the RT3 accelerometer. *J Sports Sci* 2008;26(9):959-66.
29. Rowlands AV, Thomas PWM, Eston RG, Topping R. Validation of the RT3 Triaxial Accelerometer for the Assessment of Physical Activity. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36(3):518-24.

30. Pfeiffer KA, McIver KL, Dowda M, Almeida MJCA, Pate RR. Validation and Calibration of the Actical Accelerometer in Preschool Children. *Med Sci Sports Exerc* 2006;38(1):152-7.
31. Puyau MR, Adolph AL, Vohra FA, Zakeri I, Butte NF. Prediction of Activity Energy Expenditure Using Accelerometers in Children. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36(9):1625-31.
32. Tanaka C, Tanaka S, Kawahara J, Midorikawa T. Triaxial Accelerometry for Assessment of Physical Activity in Young Children. *Obesity (Silver Spring)*. 2007;15(5):1233-41.
33. Harrell JS, McMurray RG, Baggett CD, Pennell ML, Pearce PF, Bangdiwala SI. Energy costs of physical activities in children and adolescents. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37(2):329-36.
34. Ridley K, Olds TS. Assigning energy costs to activities in children: a review and synthesis. *Med Sci Sports Exerc* 2008;40(8):1439-46.
35. Jago R, Zakeri I, Baranowski T, Watson K. Decision boundaries and receiver operating characteristic curves: new methods for determining accelerometer cutpoints. *J Sports Sci* 2007;25(8):937-44.
36. Welk GJ. Principles of design and analyses for the calibration of accelerometry-based activity monitors. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37(Suppl 11):S501-11.
37. Cliff DP, Reilly JJ, Okely AD. Methodological considerations in using accelerometers to assess habitual physical activity in children aged 0-5 years. *J Sci Med Sport* 2009;12(5):557-67.
38. Corder K, Brage S, Mattocks C, Ness A, Riddoch C, Wareham NJ, et al. Comparison of two methods to assess PAEE during six activities in children. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39(12):2180-8.
39. Sasaki JE, John D, Freedson PS. Validation and comparison of ActiGraph activity monitors. *J Sci Med Sport* 2011;14(5):411-6.

Endereço para correspondência

Marcelo Romanzini
Departamento de Educação Física,
Universidade Estadual de Londrina.
Rod. Celso Garcia Cid, km 380, Campus
Universitário.
CEP 86051-990, Londrina,
Paraná, Brasil.
E-mail: mromanizini@uel.br