

## Método não ionizante de rastreamento da escoliose idiopática do adolescente em escolares

Non-ionizing method of screening adolescent idiopathic scoliosis in schoolchildren

Rozilene Maria Cota Aroeira<sup>1</sup>

Jefferson Soares Leal<sup>2</sup>

Antônio Eustáquio de Melo Pertence<sup>3</sup>

Estevam Barbosa de Las Casas<sup>1</sup>

Marcelo Greco<sup>1</sup>

**Abstract** Adolescent idiopathic scoliosis (AIS) affects 2% to 4% of young people in Brazil. Repeated exposures to radiation used in the monitoring of the deformity can be harmful to the health. This study aimed to present a photogrammetry protocol as a non-ionizing method to quantify scoliosis and relate it to the Cobb radiological method. Sixteen individuals with idiopathic scoliosis (age:  $21.4 \pm 6.1$  years, body mass index:  $19.8 \pm 0.2$  kg/m<sup>2</sup>) underwent standing posteroanterior X-ray examination of the trunk. Additionally, markers were placed on the spinal processes of the C7 to L5 vertebrae, and posterior trunk photographs were taken. All images were sent for independent analysis by two examiners who were trained in the quantification of scoliosis. The average of the thoracic curvature evaluated through the photogrammetry and Cobb methods were  $36.43^\circ$  and  $36.14^\circ$ , respectively. With an average difference of  $4.1^\circ$ , the methods were not statistically different ( $p < 0.05$ ). As a non-ionizing method that is low cost and portable, photogrammetry may represent a suitable alternative to the radiological method. Further studies are needed for the improvement of non-ionizing techniques in AIS screening.

**Key words** Adolescent idiopathic scoliosis, Diagnosis, Non-invasive method, Adolescent health

**Resumo** Escoliose idiopática do adolescente (EIA) atinge de 2% a 4% de jovens no Brasil. Repetidas exposições aos exames radiológicos, no acompanhamento desta deformidade, podem ser danosos à saúde. O objetivo deste estudo é apresentar um protocolo de fotogrametria, como método não ionizante para quantificação da escoliose, e relacioná-lo ao método radiológico de Cobb. Dezesesseis indivíduos portadores de escoliose idiopática ( $21,4 \pm 6,1$  anos de idade e  $19,8 \pm 0,2$  de índice de massa corporal) foram submetidos à radiografia posteroanterior do tronco, de pé e, posteriormente, fotografia do tronco posterior, após receberem marcadores anatômicos nos processos espinhosos das vértebras C7 até L5. As imagens foram encaminhadas para análise independente de dois examinadores treinados na quantificação da escoliose para o tipo de imagem recebida. A média angular torácica de Cobb e de fotogrametria foram  $36,14^\circ$  e  $36,43^\circ$ , respectivamente. A diferença média entre os métodos foi de  $4,1^\circ$ . Não houve diferença estatisticamente significativa ( $p$ -valor  $< 5\%$ ) entre eles. A fotogrametria, por ser não ionizante, ter baixo custo e ser portátil, poderá representar uma alternativa ao método radiológico. Novos estudos são necessários no aprimoramento das técnicas não ionizantes no rastreamento da EIA.

**Palavras-chave** Escoliose idiopática do adolescente, Diagnóstico, Método não invasivo, Saúde do adolescente

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Av. Antônio Carlos 6627, Pampulha. 31270-901 Belo Horizonte MG Brasil. rozecota@hotmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Ortopedia e Traumatologia, Escola de Medicina, UFMG. Belo Horizonte MG Brasil.

<sup>3</sup> Professor, Departamento de Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia, UFMG. Belo Horizonte MG Brasil.

## Introdução

Alterações vertebrais em jovens têm alta prevalência e são objeto de estudo em um número extraordinário de trabalhos *in vivo* e *in vitro*. Cifose de Scheuermann, espondilolistese e escoliose idiopática do adolescente (EIA) são deformidades relacionadas ao crescimento vertebral e acometem crianças saudáveis no início do estirão do crescimento<sup>1</sup>. Entre todas, a EIA é a deformidade vertebral mais encontrada em todo o mundo e compreende 80% de todos os tipos de escoliose.

A Scoliosis Research Society define escoliose como uma deformidade espinhal desconhecida, caracterizada por alterações nos três planos do espaço: curvatura lateral com ângulo de Cobb  $\geq 10^\circ$ , lordose torácica e rotação axial. A EIA acomete crianças de 10 anos e mais, cujo esqueleto ainda está em desenvolvimento<sup>2</sup>. Embora a escoliose apresente um índice de risco de vida muito baixo, os fatores sociais, familiares e cirúrgicos podem levar os pacientes a desenvolver distúrbios mentais e, até mesmo, o risco de suicídio<sup>3,4</sup>. Estudo realizado por Payne et al.<sup>3</sup> indicaram que a presença de deformidade espinhal em adolescentes constitui fator de risco para depressão psicológica independente do tratamento recebido pelo paciente. Segundo Han et al.<sup>2</sup>, a adolescência é um período sensível de maturação pessoal e psicológica, e tanto a deformidade vertebral, como o desconforto físico gerado por ela, podem afetar a qualidade de vida dos pacientes.

Dados do estudo de Konieczny et al.<sup>5</sup> mostraram uma prevalência global da EIA entre 0,47 - 5,2%. A prevalência e severidade são mais elevadas em meninas do que em meninos a uma taxa de 3:1 para idade entre 11 e 12 anos, elevando com a idade. No Brasil, segundo Souza et al.<sup>6</sup>, a prevalência da EIA varia de 2% a 4%, entre as idades de 10 e 16 anos. Segundo Konieczny et al.<sup>5</sup> não há muitos estudos que forneçam dados de alta relevância em relação à prevalência da EIA. Para os autores, os estudos apresentam variadas definições para escoliose, além de variados protocolos de estudo e grupos etários com inclusão de curvas escolióticas  $< 10^\circ$ , embora seja consenso internacional que, por definição, a escoliose é uma deformidade com ângulo  $\geq 10^\circ$ . Além disso, segundo os autores, a eficácia do teste de Adams<sup>7</sup>, amplamente utilizado, foi considerada baixa e seria mais eficaz se associado a avaliações da rotação do tronco ou topografia de Moiré. Para Fong et al.<sup>8</sup> nenhum exame, não ionizante, de avaliação da escoliose produziu, até o momento, benefícios substanciais e suficientes níveis de evidência.

O método de Cobb, desenvolvido em 1948 por um pesquisador de mesmo nome, é considerado até os dias atuais como o “padrão ouro” para mensuração da curva escoliótica<sup>9</sup>. Este método é utilizado para diagnóstico, acompanhamento e definição do tratamento a ser instituído. Entretanto, vários estudos têm apresentado os efeitos deletérios das inúmeras sessões de radiação ionizante em jovens, sem maturação óssea, durante o período de acompanhamento da escoliose idiopática<sup>10-15</sup>. Durante este acompanhamento, o adolescente poderá ser submetido a mais de 25 radiografias de tronco. Um estudo revelou que aproximadamente 15% dos pacientes foram submetidos a 50 ou mais exames radiográficos com acúmulo de doses de radiação ionizante estimada em 20cGy ou mais<sup>12</sup>. Exames não radiográficos direcionados à avaliação postural, que permitem a investigação topográfica das assimetrias relacionadas às deformidades vertebrais, não constituem prática comum na clínica diária. Segundo Brink et al.<sup>16</sup>, a avaliação postural deveria ser um exame de rotina para indivíduos com distúrbios neuromusculoesqueléticos. No estudo de Kowalski et al.<sup>17</sup>, testes de monitoramento postural, realizados em escolares, revelaram que 50-60% dos adolescentes apresentaram anormalidades posturais, sendo 10% deste grupo com risco de deformidade progressiva da coluna. Para Cheung<sup>18</sup>, a triagem postural precoce e observação da escoliose podem, aparentemente, mitigar o risco cirúrgico. Além disso, o diagnóstico precoce da EIA pode prevenir a progressão excessiva e as adaptações posturais patológicas. No estudo de Aroeira et al.<sup>19</sup>, indivíduos com valores similares de ângulo Cobb podem apresentar diferentes assimetrias ao longo do corpo; por outro lado, significativas assimetrias podem estar presentes em baixos valores de Cobb. Em consequência, observa-se uma lacuna na proposição de tratamento para os casos de escolioses classificadas como “leves”, ou seja, entre 10 e 25° de Cobb. Estas, por não serem elegíveis para tratamento segundo os critérios radiológicos, ficam privadas de uma abordagem terapêutica precoce e de tratamento funcional adequado. Han et al.<sup>2</sup>, em um estudo de qualidade de vida de pacientes pós-operados de escoliose, afirmaram que o exame radiológico não deveria ser o único indicador terapêutico em EIA, e que novos sistemas de avaliação devem ser desenvolvidos com foco na qualidade de vida dos pacientes.

Nos últimos vinte anos, um grande esforço científico tem sido dedicado ao desenvolvimento de métodos computacionais não ionizantes

para a avaliação das deformidades vertebrais em jovens. Várias técnicas têm sido propostas visando superar as limitações dos tradicionais métodos de avaliação visual e dos efeitos deletérios do método ionizante. A reconstrução da topografia de superfície da anatomia do corpo, com base em visão computacional, é o método mais amplamente utilizado pelas tecnologias propostas<sup>20</sup>. Cinco tecnologias têm se destacado nos estudos: sistema de ultrassom 3D, fotogrametria computadorizada 2D, tecnologias baseada em projeção de laser ou luz estruturada e projeção de Moiré<sup>19</sup>. A grande motivação dos novos estudos encontra-se na busca pela redução do número de exames radiográficos no monitoramento destas deformidades que atingem jovens sem maturação óssea completa. Além disso, a busca por exames que avaliem assimetrias corporais em sua totalidade, e não somente no tronco, se revela igualmente relevante.

Assim, o objetivo deste estudo foi apresentar um método não ionizante, embasado em visão computacional por fotogrametria 2D, para medição angular dos desvios vertebrais, visando o diagnóstico e acompanhamento da EIA.

## **Materiais e métodos**

O método de medição proposto neste estudo para o cálculo dos desvios vertebrais na escoliose, utilizando fotogrametria computadorizada, foi patenteado no INPI sob o n. 14110002335<sup>21</sup>. Um estudo observacional e transversal foi realizado visando comparar este novo método não radiográfico com o método tradicional de Cobb, em uma correlação numérica direta entre ambos os métodos. Além disso, um teste não paramétrico foi realizado para descrever a intensidade de concordância entre os métodos de Cobb e de fotogrametria computadorizada na localização da vértebra apical da curva escoliótica.

### **Estudo de campo**

Após aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa (COEP), os pacientes que estavam em tratamento conservador para EIA, no período da pesquisa, e que tinham requisição médica para monitoramento radiológico da escoliose foram convidados para participar da pesquisa. Todos deram seu consentimento livre e informado. Após a adoção dos critérios de exclusão para indivíduos submetidos a cirurgia de ressecção dos processos espinhos das vértebras e aqueles que

possuíam dificuldade de manutenção do ortostatismo, dezesseis pacientes foram incluídos no estudo.

### **Exame radiológico**

Uma única radiografia anteroposterior do tronco foi obtida, na postura de pé, usando gerador radiográfico Toshiba KXO15R (Toshiba, Tokyo, Japan) e radiografia digital Agfa Health System (AGEA, Mortsel, Belgium). As imagens digitalizadas foram impressas em filme de 35,6 x 43,2 cm, e encaminhadas para a medição do ângulo de curvatura Cobb. Este ângulo é obtido pela interseção de duas retas perpendiculares às tangentes do platô superior da vértebra terminal superior e o platô inferior da vértebra terminal inferior da curva apresentada pela coluna vertebral. Com o objetivo de não deixar marcar sobre a radiografia impressa, que poderia interferir nas demais medições, as retas traçadas com caneta esferográfica e auxílio de régua de 30 cm foram feitas sobre folhas transparentes posicionadas sobre as radiografias. Um transferidor foi usado para obter o ângulo de curvatura. Cinco medições foram realizadas para cada paciente, em diferentes momentos, e a média dos cinco valores foram utilizadas na análise estatística. Além da medição do ângulo de Cobb, foi realizada a identificação da vértebra apical da curva, ou seja, a vértebra que apresentou o maior afastamento do eixo vertical da coluna. Todas as medidas foram realizadas por um único examinador.

### **Exame de fotogrametria computadorizada**

Imediatamente após o exame radiológico, um examinador experiente em anatomia palpatória realizou a marcação dos processos espinhosos das vértebras de C7 a L5, utilizando lápis dermatográfico. A seguir, com o objetivo de promover a identificação externa de cada vértebra e seu deslocamento nos três planos do espaço, marcadores anatômicos de superfície tipo vetor (MASV) com 45 mm de comprimento e 5 mm de diâmetro, desenvolvidos especialmente para este estudo, foram posicionados nos respectivos processos espinhosos das referidas vértebras. Após este procedimento, cada paciente foi fotografado de pé, em posição frontal posterior, com os braços pendentes ao longo do corpo e com padronização da posição dos pés em 36° (posição de Piok). Foi utilizado um simetrógrafo de acrílico transparente, como fundo, medindo 2,05 m de altura e 0,72 m de largura, quadriculado nas dimensões

10 x 10 cm, marca CARCI®, para calibração; uma máquina fotográfica marca Olympus, 7.1 megapixels, definição 3072 x 2304, posicionada em tripé, sem uso de zoom, posicionada perpendicular ao simetrógrafo e tripé, marca GREIKA WT3750, com regulador de prumo em dois planos, posicionado a 1,30 m de distância focal. As imagens foram encaminhadas para análise independente do examinador treinado no protocolo de quantificação da escoliose por fotogrametria, proposto neste estudo. Um software de desenho vetorial bidimensional, CorelDRAW®, foi usado para identificação do arco, ou arcos escolióticos e posterior medição angular. O primeiro passo consistiu em destacar, com precisão, o centro dos marcadores de superfície utilizando o recurso de *ellipse* na barra de ferramentas do CorelDraw13®. A seguir, procedeu-se à 1ª fase da fotointerpretação que consiste na identificação da vértebra apical e da vértebra limite superior da curva escoliótica. Esse procedimento foi realizado traçando duas linhas verticais (ferramenta a mão livre, da barra de ferramentas), uma tangenciando a face convexa da curva e outra passando pelo eixo vertical da vértebra C7, como mostra a Figura 1. A vértebra apical da curva, que dá origem ao fenô-



**Figura 1.** 1ª fase da fotointerpretação: a linha vertical branca, à esquerda da coluna, identifica a vértebra apical através da vertical tangenciando a convexidade da curva (vértebra T10). A linha vertical cinza, à direita da coluna, identifica a vértebra limite superior pela vertical passando pela vértebra C7 e pela primeira vértebra rompendo com esse alinhamento vertical (vértebra T4).

meno da escoliose, é aquela mais afastada do eixo vertical de C7 e, geralmente, aquela que apresenta maior rotação de seu corpo, o que é visualizado pela mudança de direção do corpo do vetor. A vértebra limite superior é a primeira vértebra a sair do alinhamento vertical de C7 e a sofrer rotação, identificada pelo posicionamento do MASV.

A seguir, foram realizadas as medições angulares dos desvios vertebrais com o eixo vertical Y, de cada segmento de duas vértebras adjacentes a partir da vértebra limite superior até a vértebra apical, denominados aqui ângulos  $R_1, R_2, R_3$ , etc. A soma dos ângulos coletados determina o ângulo da escoliose, aqui denominado MR. Este ângulo é correspondente ao ângulo de Cobb medido em radiografia (Figura 2).

A fotogrametria computadorizada, através dos vetores de identificação de cada vértebra, permitiu, ainda, gerar imagens virtuais tridimensionais do comportamento espacial da coluna vertebral<sup>22</sup>.

Foi possível relacionar matematicamente as medidas angulares da curva escoliótica obtidas pelo método de Cobb (MC) e pelo método do presente estudo (MR). Definindo-se a curva escoliótica como sendo constituída por segmentos de arcos de círculo, como indica a Figura 3, é possível considerar que a medida MC equivale o somatório dos ângulos C1, C2, C3 e C4 obtidos entre os processos espinhosos consecutivos encontrados no mesmo intervalo dessa medida. Assim, se os ângulos C1, C2, C3 e C4 são iguais entre si e iguais a C, teremos, então, que o somatório desses ângulos obtido no intervalo do método de Cobb será igual a 4C (Figura 3a e b).

Considerando que a curva escoliótica é constituída por segmentos de arcos de círculo, os triângulos ABD, ADE, FGH e FHJ serão triângulos isósceles (Figura 3b). Portanto o ângulo X será indicado pela EQ (1):

$$X = (180 - C) / 2 \quad (1)$$

Além disso, tem-se as relações entre os ângulos de desvio do eixo y ( $R_1, R_2, R_3$  e  $R_4$ ), obtidos pelo método proposto nesse estudo, com os ângulos (C) de cada segmento vertebral obtidos pelo método Cobb, como indicam as EQs. (2), (3), (4) e (5).

$$R_1 = 90 - X = 90 - (180 - C)/2 = C/2 \quad (2)$$

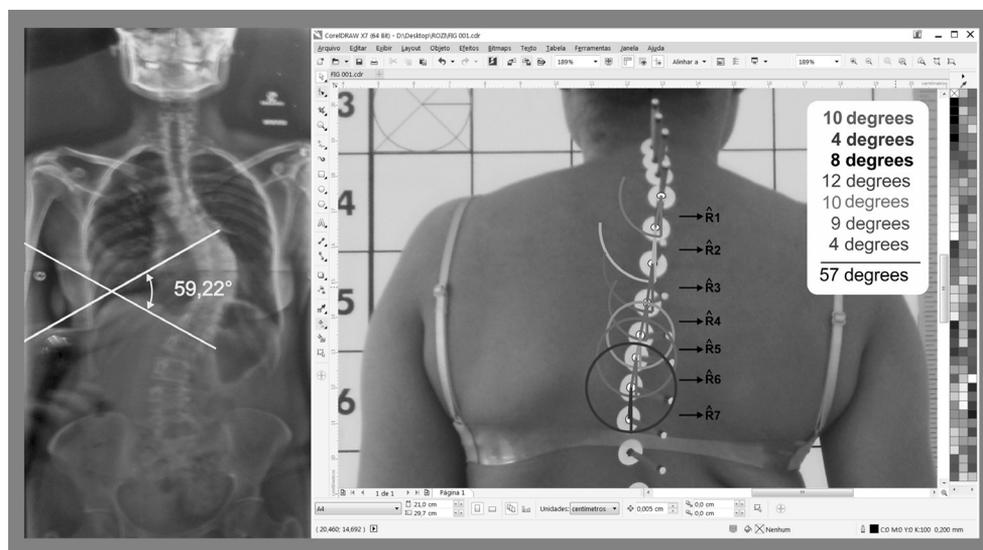
$$R_2 = R_1 + C = C/2 + C = 3C/2 \quad (3)$$

$$R_3 = R_4 + C = C/2 + C = 3C/2 \quad (4)$$

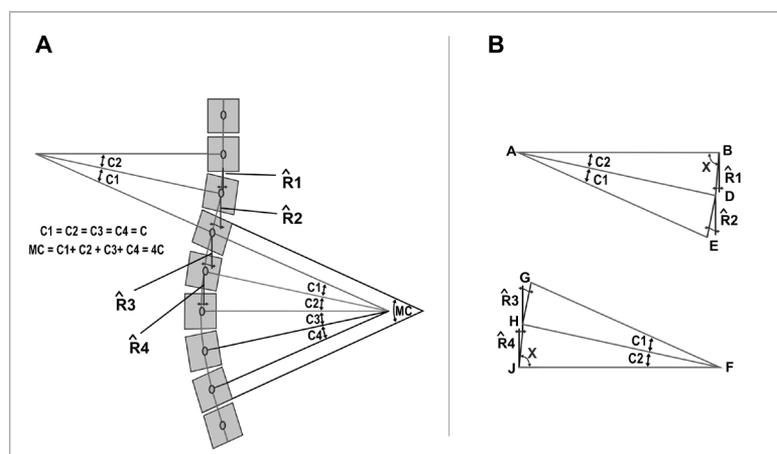
$$R_4 = 90 - X = 90 - (180 - C)/2 = C/2 \quad (5)$$

Assim, a medida MR será indicada pela EQ (6):

$$MR = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = C/2 + 3C/2 + 3C/2 + C/2 = 4C \quad (6)$$



**Figura 2.** 2ª fase da fotointerpretação, medição angular, no software CorelDraw 13®, de uma voluntária portadora de EIA, com curva principal torácica convexa à esquerda. Medida dos ângulos de desvio do equilíbrio raquidiano no eixo Y entre as vértebras limite superior (T4) e a vértebra apical (T10): R<sub>1</sub> (10°), R<sub>2</sub> (4°), R<sub>3</sub> (8°), R<sub>4</sub> (12°), R<sub>5</sub> (10°), R<sub>6</sub> (9°) e R<sub>7</sub> (4°). À esquerda, medida do ângulo de Cobb ao raio-X da mesma paciente.



**Figura 3.** (a) demonstração esquemática do arco da escoliose e sua equivalência em ângulo de Cobb (MC) e os respectivos ângulos R1, R2, R3 e R4 que, somados, formam o ângulo MR do presente método; (b) demonstração geométrica da equivalência dos ângulos C e R.

Portanto, nesse caso, o valor da medida obtida pelo presente estudo, será igual àquela obtida pelo método de Cobb.

É importante salientar que a demonstração anterior não representa uma solução geral, entretanto, propicia o entendimento do fenômeno, observado em estudo experimental e comprovado estatisticamente, ressaltando a equivalência entre a medida obtida pelo método do presente estudo e aquela obtida pelo método de Cobb.

### Teste de concordância para a localização da vértebra apical da escoliose

A medida Kappa foi utilizada para descrever a intensidade de concordância entre os dois métodos, Cobb e fotogrametria computadorizada, para localização da vértebra apical da curva. Esta medida consiste no grau de concordância interobservador além do que seria esperado tão somente pelo acaso. Seu valor máximo é 1, que repre-

senta total concordância, os valores próximos e até abaixo de zero indicam nenhuma concordância, ou a concordância foi exatamente a esperada pelo acaso. O coeficiente Kappa foi indicado pela EQ (7).

$$\kappa = \frac{C_o - C_e}{1 - C_e} \quad (7)$$

Onde:

$C_o$  = Concordância Observada

$C_e$  = Concordância Esperada

O nível de significância adotado para todos os testes foi de 5%.

## Resultados

Numa população composta por 16 indivíduos portadores de EIA, com  $21,4 \pm 6,1$  anos de idade,  $52,9 \pm 5,8$  de peso corporal,  $1,63 \pm 0,05$  de altura e  $19,8 \pm 0,2$  de índice de massa corporal (IMC), 12 indivíduos apresentaram curva dupla (dorsal e lombar), três indivíduos com curva única lombar e um indivíduo com curva única dorsal, com média angular de Cobb dorsal de  $36,14^\circ \pm 16,38^\circ$  e média angular de Cobb lombar de  $27,20^\circ \pm 10,05^\circ$ . As características gerais e as medições utilizando o método de Cobb e o método de fotogrametria computadorizada, para curvas lombares e torácicas, são apresentadas na Tabela 1.

De acordo com as estatísticas descritivas e os gráficos apresentados na Figura 4 (A e B), pode-se dizer que não houve diferença estatisticamente significativa entre as medições nos dois métodos. Assim, pode-se afirmar que independentemente do método adotado, a medição da curvatura tanto dorsal quanto lombar será semelhante.

O estudo estatístico Cohen's Kappa revelou um índice geral de 0,92 para localização da vértebra apical torácica e 0,825 para localização da vértebra lombar. Com um nível de significância de 5% a hipótese nula é rejeitada, o que evidencia que a concordância entre os dois exames é diferente de zero, ou seja, eles são concordantes. Os valores obtidos para o índice Kappa torácico e lombar foram muito elevados e foram considerados excelentes.

## Discussão

Um protocolo de fotogrametria computadorizada 2D foi proposto como método não ionizante para diagnóstico e acompanhamento da EIA em escolares. Outras tecnologias, não ionizantes,

têm sido propostas como alternativa aos exames radiológicos, para esta finalidade<sup>19</sup>. Entretanto, nenhum método, até o momento, alcançou a rotina clínica. A falta de objetividade e de correlação numérica com o método "padrão ouro" de Cobb pode estar contribuindo para a baixa adesão dos métodos propostos<sup>23</sup>.

Os valores das curvas obtidos pelo método de fotogrametria computadorizada foram similares aos valores obtidos pelo método de Cobb. A diferença entre os dois métodos foi menor para curvas torácicas do que para curvas lombares, com valores de  $2,9^\circ$  e  $5,1^\circ$ , respectivamente. A diferença média de  $4,1^\circ$  para ambos os métodos, a qual inclui todas as curvas torácicas e lombares, foi compatível com o erro intrínseco do método de Cobb em análise inter e intraobservadores<sup>24</sup>, cuja variabilidade das medições do ângulo de Cobb inter e intraobservadores apresentou-se entre  $4^\circ$  e  $8^\circ$ <sup>25,26</sup>. A localização de estruturas anatômicas por anatomia palpatória está prejudicada em indivíduos com IMC muito elevado, devido à dificuldade na identificação das proeminências ósseas localizadas sob as camadas abaixo da pele. A localização da proeminência óssea dos processos espinhosos das vértebras é indispensável na aplicação do método proposto neste estudo. Durante a captação dos voluntários, dois sujeitos com EIA apresentaram IMC acima de  $24 \text{ kg/m}^2$  (acima do peso ideal), mas foram incluídos no estudo. Sujeitos que apresentavam cirurgia prévia de ressecção desses processos foram excluídos do estudo pela impossibilidade de aplicação dos marcadores MASV. Seria plausível, então, supor que os resultados mais discordantes nas medições dos ângulos lombares estivessem relacionados aos indivíduos com IMC mais elevado, como o caso dos sujeitos de n.1 e n.4, da tabela de resultados. Apesar da grande diferença apresentada nos ângulos lombares desses dois sujeitos ( $8^\circ$ ), a maior discordância entre os resultados lombares se encontrou no sujeito de n. 5 ( $23,8^\circ$ ), cujo índice de massa corporal encontra-se dentro da normalidade. Embora a amostra deste estudo seja considerada representativa da população de escolióticos, encaminhada para os serviços médicos públicos da região sudeste do país, ela pode diferir de outras regiões ou de outros países, onde a obesidade infanto-juvenil é mais prevalente. Um estudo com um grande número de sujeitos seria necessário para uma avaliação conclusiva das possíveis causas da diferença entre as médias dos ângulos torácicos e lombares, apresentados neste trabalho. Um novo estudo utilizando a mesma metodologia apresentada neste artigo foi

**Tabela 1.** Característica geral de cada indivíduo incluído no estudo e suas medidas angulares obtidas pelo método de Cobb e pelo método de fotogrametria computadorizada nas regiões torácica e lombar.

Sujeitos	Idade	Sexo	IMC	Nível escoliose	Cobb				Fotogrametria computadorizada			
					Torácica	Lombar	VAT	VAL	Torácica	Lombar	VAT	VAL
1	39	F	28,8	T e L	59,8°	26,0°	T10	L4	57,4°	17,6°	T10	L3
2	15	M	17,1	T e L	32,0°	15,0°	T9-T10	L2-L3	34,4°	17,2°	T9	L3
3	22	F	18,3	T	27,0°	—	T9-T10	—	25,8°	—	T9	—
4	13	F	25,5	T e L	30,4°	32,0°	T7-T8	L3	22,6°	24,0°	T8	L2
5	12	F	21,7	T e L	39,6°	33,8°	T8	L2	40,8°	10,0°	T7	L2
6	19	F	22,9	T e L	28,2°	38,4°	T8	L1	22,4°	35,4°	T8	L2
7	16	F	22,2	T e L	42,2°	22,8°	T9	—	47,0°	22,8°	T7	L2
8	14	F	17,4	T e L	22,4°	27,0°	T9	L2-L3	23,0°	30,0°	T9	L3
9	11	F	19,0	T e L	50,4°	48,6°	T7	L2	51,0°	55,0°	T7	L2
10	25	F	19,8	T e L	21,4°	18,8°	T8	L2	26,4°	16,8°	T9	L3
11	45	F	23,4	T e L	25,6°	26,4°	T7	L2	29,0°	27,8°	T7	L3
12	46	F	18,9	T e L	73,0°	41,8°	T6-T7	L2	74,2°	39,4°	T7	L2
13	14	F	17,8	L	—	19,8°	—	L2-L3	—	22,0°	—	L3
14	13	F	15,9	L	—	14,0°	—	L1	—	26,0°	T12	—
15	15	M	16,9	L	—	18,4°	—	L1	—	17,8°	—	L1
16	25	F	23,1	T e L	17,8°	25,5°	T5	L2	19,6°	23,8°	T5	L1

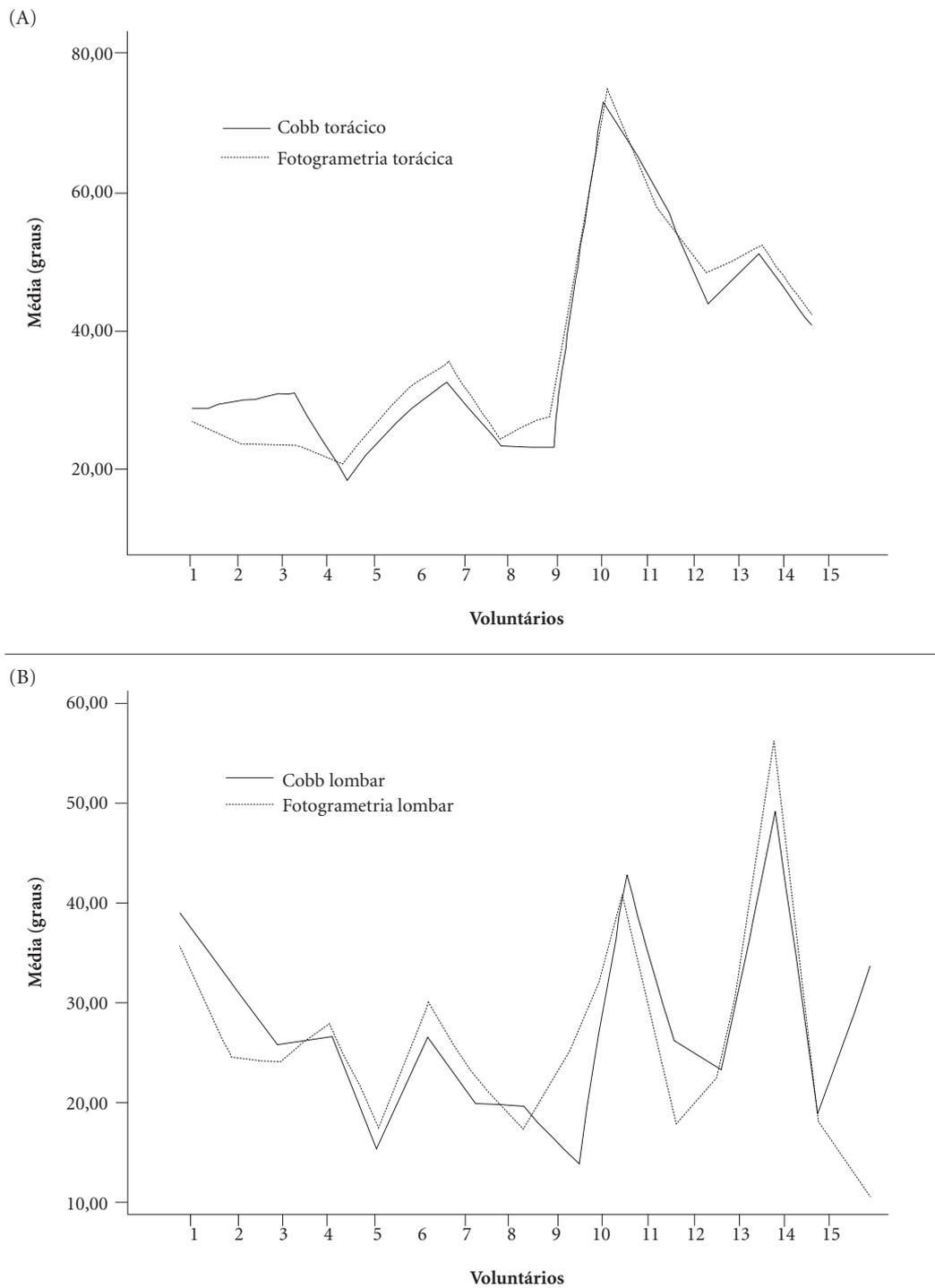
Legenda: IMC: índice de massa corporal; F: feminino; L: lombar; VAL: vértebra apical lombar; M: masculino; T: torácica; VAT: vértebra apical torácica

realizado por Leal<sup>27</sup>, com 161 adolescentes entre 10 e 18 anos, portadores de EIA. No referido estudo, foram avaliadas a acurácia, sensibilidade, especificidade e valores preditivos da fotogrametria na progressão da EIA. Foram comparados os métodos de fotogrametria computadorizada e o método radiológico de Cobb em dois ciclos de medições, com intervalo médio de 8,6 meses. O teste de Wilcoxon foi utilizado para comparar as médias dos ângulos da escoliose obtidos nos dois métodos. Não houve diferença entre as médias obtidas por ambos os métodos. As médias das curvas pelo método de fotogrametria e radiográfico foram 36,9° e 36,6°, respectivamente. As diferenças entre as médias das duas medições foi de 0,34 [95% = -0,153 a 1,807], valor próximo a zero. O coeficiente de Pearson para os 161 voluntários foi de  $r = 0,82$  [IC 95% = 0,77 - 0,86]. Estes resultados corroboram com os resultados apresentados no presente estudo. A fotogrametria apresentou acurácia de 86,7%, sensibilidade de 94,4%, especificidade de 86,7% e valor preditivo de 75,5% no referido estudo. As diferenças entre as médias angulares das curvas torácicas e lombares não foram relatadas.

A identificação da vértebra apical da curva escoliótica constituiu um importante passo no método proposto, e o uso do marcador MASV, para identificação de alterações vertebrais nos vários planos do espaço, teve um importante papel

nesta análise. O estudo estatístico para avaliar a concordância de ambos os métodos na identificação da vértebra apical da curva escoliótica apresentou excelente concordância entre eles. Entretanto, o índice Kappa foi maior nos casos de escoliose torácica, quando comparado à escoliose lombar, 0,92 e 0,825, respectivamente. Considerando o índice Kappa para a localização geral de todas as vértebras envolvidas no estudo, as vértebras torácicas T5 e T8, e a vértebra lombar L3, tiveram valor de 1, ou seja, máxima concordância. Além disso, a possibilidade de encontrar coordenadas tridimensionais da base à ponta do marcador MASV possibilitou a visualização da variação angular desse vetor em qualquer um dos três planos espaciais, possibilitando a reconstrução 3D da deformidade. Assim, um grande passo foi dado no sentido de reproduzir a deformidade através da superfície, em geral, visualizada somente por métodos invasivos.

Embora a comparação do custo entre os dois métodos não se apresenta como objetivo neste estudo, algumas considerações são pertinentes. O custo total dos equipamentos fotogramétricos (computador, licença do software, câmera fotográfica, tripé e marcadores) foi avaliado em USD 1,826. Estritamente para uso comparativo, o custo da instalação dos equipamentos radiológicos, utilizados neste estudo, foi estimado em USD 216,238. As habilidades básicas para a aplicação



**Figura 4.** Comparação entre as medições das curvas escolióticas obtidas por meio do método de Cobb e do método de fotogrametria computadorizada para (A) curvas torácicas e (B) curvas lombares.

do método proposto são: conhecimento básico de anatomia palpatória da coluna vertebral, fotografia e software de imagem. O tempo gasto com

o método radiográfico em um paciente típico foi de 13 min (posicionamento, exposição aos raios e medição de Cobb), enquanto o tempo gasto no

método fotogramétrico foi de 28 min (posicionamento dos marcadores, exposição fotográfica e medição da curva).

Mrozkowiak et al.<sup>28</sup> fizeram as seguintes considerações sobre os métodos de medição de deformidades vertebrais: 1- o exame de medição deve funcionar de acordo com o qual o resultado da medição é utilizado (p. ex., como base de tomada de decisão para cirurgia) e deve ser portátil para a realização de exames preventivos (detecção de escoliose em crianças pré-escolares ou escolares); 2- a aquisição de imagens e o processamento de dados devem ser suficientemente rápidos para fornecerem resultados durante a visita do profissional de saúde, responsável pelo caso; 3- os resultados da medição devem ser apresentados de forma legível, não só para o profissional de saúde, mas também para o doente, devendo ser comparados com padrões de conhecimentos médicos específicos, de preferência em termos de gráficos e imagens; 4- a medição deve ser suficientemente simples, particularmente em termos de automação, para que possa ser operada por um profissional de saúde; 5- o sistema deve ser confiável, resistente a erros em sua operação, e não deve exigir a intervenção constante de um especialista.

Em estudo de revisão, Aroeira et al.<sup>19</sup> apresentaram as cinco principais tecnologias não ionizantes, para avaliação da escoliose, em estudos obtidos na literatura nos anos de 2011 até 2015. O estudo mostrou que uma mesma tecnologia foi utilizada com diferentes protocolos de medição como, por exemplo, o uso do scanner 3D a laser sem uso de marcador de referência, aplicado nos estudos de Komeili et al.<sup>20,29</sup>, e com uso de 11 marcadores de referência nos estudos de Parent et al.<sup>30</sup>. Os resultados mostraram parâmetros de análise com diferentes mapas de topografia de superfície. Do mesmo modo, a fotogrametria computadorizada 2D foi utilizada em quatro estudos com distintos protocolos. Nesta categoria, Fortin et al.<sup>31</sup> utilizaram rastreamento topográfico de corpo inteiro, com medições de desvios angulares em tronco e membros. De modo diferente, Saad et al.<sup>32</sup> utilizaram fotogrametria computadorizada 2D, somente, em tronco posterior, com a utilização de diferente protocolo de medição. Estes diferentes protocolos aplicados às distintas tecnologias tornam difícil uma análise comparativa entre elas. Estudos que utilizaram tecnologias baseadas em ultrassom, luz estruturada, laser e projeção de franjas têm se mostrado de moderada a alta qualidade. Estas técnicas permitem a avaliação de um grande número de

indivíduos em um tempo reduzido, tornando-os atraentes para rastreamento da escoliose em escolares. Entretanto, o alto custo e a pouca objetividade dos resultados, com base em mapas de cores, podem ser fatores de restrição ao uso em larga escala.

O protocolo de fotogrametria computadorizada 2D, apresentado neste artigo, apresenta as seguintes vantagens: o baixo custo de implementação do sistema; a transportabilidade dos instrumentos que o compõem; a possibilidade de visualização da postura de corpo inteiro, permitindo correlacionar disfunções associadas aos segmentos corporais adjacentes à deformidade da coluna, ampliando a possibilidade de êxito no diagnóstico e na terapêutica empregada; e, finalmente, a redução das exposições de jovens, sem maturação óssea completa, aos raios ionizantes das radiografias no rastreamento e acompanhamento da EIA. Entretanto, o método pode ser aprimorado com sua automação e, conseqüente, redução do tempo do exame.

Recentes avanços tecnológicos apontam para câmeras de profundidade, que permitem a aquisição de densos escaneamentos em 3D de uma área em tempo real, sem a necessidade de várias câmeras, a um custo baixo e portabilidade<sup>33-37</sup>. O uso de scanners 3D oferece novas oportunidades para a coleta de dados antropométricos em uma ampla gama de aplicações. No entanto, os estudos existentes com o uso de sensores de profundidade, na análise da atividade humana, têm se concentrado apenas na estimativa qualitativa de posicionamento de parte do corpo, e no conhecimento da ação humana. Um estudo utilizando essa tecnologia, para avaliação quantitativa da topografia de superfície da EIA, deverá ser estimulado.

A busca por métodos não ionizantes de avaliação das deformidades vertebrais não intenciona a substituição do exame radiológico, que são importantes na identificação de malformações ósseas congênitas e avaliação da maturidade esquelética. Entretanto, as novas tecnologias introduzem uma nova abordagem, não somente para o diagnóstico, mas, principalmente, para o monitoramento periódico das deformidades evolutivas da coluna do adolescente com possibilidade, também, de identificação de assimetrias compensatórias aos desvios vertebrais em outras áreas do corpo. Neste contexto, a busca por tecnologias e métodos diagnósticos confiáveis, de baixo custo e não invasivos pode ser considerada de relevância em políticas públicas considerando, principalmente, as inúmeras carências que permeiam a

realidade da saúde pública do Brasil. Considerando a alta prevalência da EIA e por se tratar de exames notadamente de valor preventivo, que buscam evitar procedimentos invasivos e de alto custo, como as cirurgias, sua relevância se dá na aplicação em larga escala para rastreamento de alterações vertebrais em escolares como medida de saúde pública. O direito à saúde da criança e do adolescente é política de Estado. A normativa constitucional ratifica o princípio da prioridade absoluta da proteção das crianças e adolescentes. O capítulo do direito à vida e à saúde, em seu Art. 11, §2º diz:

*Incumbe ao poder público fornecer gratuitamente, àqueles que necessitarem, medicamentos, órteses e outras tecnologias assistivas relativas ao*

*tratamento, habilitação ou reabilitação para crianças e adolescentes, de acordo com as linhas de cuidados voltados às suas necessidades específicas.*

### **Limitações**

O protocolo de fotogrametria computadorizada para medição do ângulo da escoliose pode apresentar-se limitado para indivíduos com IMC muito elevado, devido à dificuldade na localização dos processos espinhosos por anatomia palpatória. Além disso, o método não pode ser aplicado em indivíduos submetidos à cirurgia de ressecção dos processos espinhosos das vértebras envolvidas na análise, por ausência da estrutura anatômica objeto de análise do método.

### **Colaboradores**

RMC Aroeira colaborou na concepção, delineamento do estudo, coleta de dados e redação final; JS Leal na interpretação dos resultados dos exames médicos de imagem; AEM Pertence no delineamento do estudo matemático, criação de figuras e auxílio na análise estatística dos dados; EB Las Casas na revisão crítica do estudo; e M Greco na revisão crítica do estudo e aprovação final da versão a ser publicada.

## Referências

- Castelein RM, van Dieen JH, Smit TH. The role of dorsal shear forces in the pathogenesis of adolescent idiopathic scoliosis - A hypothesis. *Med Hypotheses* 2005; 65(3):501-508.
- Han J, Xu Q, Yang Y, Yao Z, Zhang C. Evaluation of quality of life and risk factors affecting quality of life in adolescent idiopathic scoliosis. *Intractable & Rare Diseases Research* 2015; 4(1):12-16.
- Payne WK 3rd, Ogilvie JW, Resnick MD, Kane RL, Transfeldt EE, Blum RW. Does scoliosis have a psychological impact and does gender make a difference? *Spine* 1997; 22(12):1380-1384.
- Tones M, Moss N, Polly Junior DW. A review of quality of life and psychosocial issues in scoliosis. *Spine* 2006; 31(26):3027-3038.
- Konieczny MR, Senyut H, Krauspe R. Epidemiology of adolescent idiopathic scoliosis. *J Child Orthop* 2013; 7(1):3-9.
- Souza FI, Ferreira RB, Labres D, Elias R, Souza APM, Pereira RE. Epidemiologia da escoliose idiopática do adolescente em alunos da rede pública de Goiânia-GO. *Acta Ortop Bras* 2011; 21(4):223-225.
- Adams W. *Lectures on the pathology and treatment of lateral and other forms of curvature of the spine*. 2<sup>nd</sup> ed. London: J. & A. Churchill; 1882.
- Fong DY, Lee CF, Cheung KM, Cheng JC, Ng BK, Lam TP, Mak KH, Yip PS, Luk KD. A meta-analysis of the clinical effectiveness of school scoliosis screening. *Spine* 2010; 35(10):1061-1071.
- Cobb JR. Outline for the study of scoliosis. *American Academy of Orthopaedic Surgeons Instr Course Lect* 1948; 5:261-275.
- Levy AR, Goldberg MS, Hanley JA, Mayo NE, Poitras B. Projecting the lifetime risk of cancer from exposure to diagnostic ionizing radiation for adolescent idiopathic scoliosis. *Health Phys* 1994; 66(6):621-633.
- Goldberg MS, Maio NE, Levy AR, Scott SC, Poitras B. Adverse reproductive outcomes among women exposed to low levels of ionizing radiation from diagnostic radiography for adolescent idiopathic scoliosis. *Epidemiology* 1998; 9(3):271-278.
- Doody M, Lonstein JE, Stovall M, Hacker DG, Luckyanov N, Land CE. Breast cancer mortality after diagnostic radiography: finding from the U.S. Scoliosis Cohort study. *Spine* 2000; 25(16):2052-2063.
- Ron E. Cancer risks from medical radiation. *Health Phys* 2003; 85(1):47-59.
- Berrington de Gonzales A, Darby S. Risk of cancer from diagnostic X-rays: estimates for the UK and 14 other countries. *Lancet* 2004; 363(9406):345-351.
- Enriquez G, Piqueras J, Catalá A, Oliva G, Ruiz A, Ribas M, Duran C, Rodrigo C, Rodríguez E, Garriga V, Maristany T, García-Fontecha C, Baños J, Muchart J, Alava F. Optimization of radiological scoliosis assessment. *Med Clin* 2014; 143(Supl. 1):62-67.
- Brink Y, Louw Q, Somers KG. The quality of evidence of psychometric properties of three-dimensional spinal posture-measuring instruments. *BMC Musculoskeletal Disord* 2011; 12:93.
- Kowalski IM, Faldowska HP, Swornik M, Pierozynski B, Raistenski J, Kiezbak W. Objective parallel-forms reliability assessment of 3-dimension real time body posture screening tests. *BMC Pediatric* 2014; 14:221.
- Cheung CWJ. Ultrasound Volume Projection Imaging for Assessment of Scoliosis. *IEEE Trans Med Imaging* 2015; 34(8):1760-1768.
- Aroeira RMC, Las Casas EB, Pertence AEM, Greco M, Tavares JM. Non-invasive methods of computer vision in the posture evaluation of adolescent idiopathic scoliosis: a systematic review. *J Bodyw Mov Ther* 2016; 20(4):832-843.
- Komeili A, Westover LM, Parent EC, Mareau M, El-Rich M, Adeed S. Monitoring for idiopathic scoliosis curve progression using surface topography asymmetry analysis of the torso in adolescents. *Spine J* 2015; 15(4):743-751.
- Patente. Universidade Federal de Minas Gerais. Aroeira RMC, Pertence AEM, Leal JS. *Dispositivo e método de medição utilizando fotogrametria computadorizada*: n. 0000221106647968, 26 jul. 2011.
- Aroeira RMC. *Protocolo de fotogrametria computadorizada na quantificação angular da escoliose* [dissertação]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais; 2009.
- Krejci J, Gallo J, Stepanik P, Salinger J. Optimization of the examination posture in spinal curvature assessment. *Scoliosis* 2012; 7:10.
- Mok JM, Berven SH, Diab M, Hackbarth M, Hu SS, Deviren V. Comparison of observer variation in conventional and three digital radiographic methods used in the evaluation of patients with adolescent idiopathic scoliosis. *Spine* 2008; 33(6):681-686.
- Morrissy RT, Goldsmith GS, Hall EC, Kehl D, Cowie GH. Measurement of the Cobb angle on radiographic of patients who have scoliosis. Evaluation of intrinsic error. *J Bone Joint Surg Am* 1990; 72(3):320-327.
- Carman DL, Browne RH, Birch JG. Measurement of scoliosis and kyphosis radiographs. Intraobserver and interobserver variation. *J Bone Joint Surg Am* 1990; 72(3):328-333.
- Leal SL. *Validade da fotogrametria na detecção da progressão da escoliose idiopática do adolescente* [tese]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais; 2004.
- Mrozkowiak M, Mirosława SE, Hanna Z, Waley Z. Review of Methods for Assessing Body Posture. *J Health Sci* 2014; 4(11):95-102.
- Komeili A, Westover LM, Parent EC, Mareau M, El-Rivh M, Adeed S. Surface topography asymmetry maps categorizing external deformity in scoliosis. *Spine J* 2014; 14(6):973-983.
- Parent EC, Chabot S, Westover L, Hill D, Moreau M, Hedden D, Lou E, Adeed S. The ability of surface topography postural measurements to detect cobb angle progression in adolescents with idiopathic scoliosis (AIS) and a main thoracic curve: full torso scans compared to back only parameters. *Scoliosis* 2014; 9(Supl. 1):O10.
- Fortin C, Feldman DE, Cheriet F, Gravel D, Gauthier F, Labelle H. Reliability of a quantitative clinical posture assessment tool among persons with idiopathic scoliosis. *Physiotherapy* 2012; 98(1):64-75.
- Saad KR, Colombo AS, Ribeiro AP, João SMA. Reliability of photogrammetry in the evaluation of the postural aspects of individuals with structural scoliosis. *J Bodyw Mov Ther* 2012; 16(2):210-216.

33. Schwarz LA, Mkhitarian A, Mateus D, Navab N. Human skeleton tracking from depth data using geodesic distances and optical flow. *Image Vision Computer* 2012; 30(3):217-226.
34. Clark RA, Pua YH, Fortin K, Ritchie C, Webster KE, Donehy L, Bryant AL. Validity of the Microsoft Kinect for assessment of postural control. *Gait & Posture* 2012; 36(3):372-377.
35. Chen L, Wei H, Ferryman J. A survey of human motion analysis using depth imagery. *Pattern Recognition Letters* 2013; 34(15):1995-2006.
36. Bonnechère B, Jansen B, Salvia P, Bouzahouene H, Omelina L, Moiseev F, Sholukha V, Cornelis J, Rooze M, Van Sint Jan S. Validity and reliability of the Kinect within functional assessment activities: comparison with standard stereophotogrammetry. *Gait & Posture* 2014; 39(1):593-598.
37. Straub J, Kading B, Mohammad A, Kerlin S. Characterization of a large, low-cost 3D scanner. *Technologies* 2015; 3:19-36.

---

Artigo apresentado em 05/03/2017

Aprovado em 25/05/2017

Versão final apresentada em 27/05/2017