

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA

Eduardo Bojunga Corrêa de Oliveira

**MÉTODO DE AVALIAÇÃO DAS CURVATURAS SAGITAIS DA COLUNA
VERTEBRAL EM UM AMBIENTE COMPUTACIONAL**

Porto Alegre
2014

Eduardo Bojunga Corrêa de Oliveira

**MÉTODO DE AVALIAÇÃO DAS CURVATURAS SAGITAIS DA COLUNA
VERTEBRAL EM UM AMBIENTE COMPUTACIONAL**

Trabalho elaborado para conclusão do Curso de Educação Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Educação Física.

Orientadora: Profa. Dra. Cláudia Tarragô Candotti

Porto Alegre
2014

Eduardo Bojunga Corrêa de Oliveira

**MÉTODO DE AVALIAÇÃO DAS CURVATURAS SAGITAIS DA COLUNA
VERTEBRAL EM UM AMBIENTE COMPUTACIONAL**

Conceito final:

Aprovado em dede.....

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. – UFRGS

Prof. Dr. – UFRGS

Orientadora – Profa. Dra Cláudia Tarragô Candotti – UFRGS

RESUMO

Metodologias não invasivas de avaliação postural avaliam a coluna vertebral a partir da superfície da pele na tentativa de estimar a curvatura interna da coluna. Porém, alguns erros são encontrados no que diz respeito aos pontos anatômicos utilizados por essas metodologias. **Objetivo:** desenvolver, em um ambiente computacional, uma metodologia para mensurar as curvaturas sagitais (torácica e lombar) externas da coluna vertebral, a partir da superfície da pele, que seja concordante com as curvaturas internas sagitais da coluna vertebral. **Metodologia:** Para o desenvolvimento das rotinas de avaliação das magnitudes da coluna vertebral, foram utilizados 15 Raios-X digitais panorâmicos da coluna vertebral de crianças voluntárias provenientes de uma base de dados pertencente ao Grupo de Pesquisa Biomec/UFRGS. Foram marcados nas imagens os seguintes pontos anatômicos de referência: quatro vértices do corpo vertebral (ântero-superior, pósterosuperior, ântero-inferior e pósteroinferior), ápice do processo espinhoso e ponto da superfície da pele referente à localização do processo espinhoso. Todos esses pontos foram digitalizados para as seguintes vértebras: C6, C7, T2, T4, T6, T8, T10, T12, L2, L4 e S2. A rotina de avaliação foi desenvolvida na linguagem de programação utilizada no software Matlab da Mathworks. Para a cifose torácica e lordose lombar foram obtidas três curvaturas através de um polinômio de 3ª ordem: (1) curvatura interna a partir do baricentro dos corpos vertebrais; (2) curvatura interna a partir do ápice dos processos espinhosos; (3) curvatura externa a partir da superfície da pele. Para o cálculo do ângulo de cada curvatura da cifose torácica e da lordose lombar foram obtidas as tangentes relativas aos pontos de interesse. Os níveis vertebrais utilizados para a cifose foram: C7-T12, C7-T10, T2-T12, T2-T10, T4-T12 e T4-T10; e para lordose foram: T10-S2, T10-L4, T12-S2 e T12-L4. Para análise estatística foi utilizado o Teste de Correlação Produto Momento de Pearson e o Teste de Regressão Linear Simples. $\alpha=0,05$. **Resultados:** Para a cifose torácica, os níveis vertebrais que obtiveram os maiores índices de correlação entre as três curvaturas foram: T4-T12 (r entre 0,795-0,942; $p<0,05$) e T2-T12 (r entre 0,679-0,921; $p<0,05$). Para a lordose lombar, os níveis vertebrais T10-S2 (r entre 0,887-0,925; $p<0,05$) e T12-S2 (r entre 0,836-0,927; $p<0,05$) apresentaram as melhores correlações entre as três curvaturas. Através da equação da reta obtida na regressão linear, os ângulos fornecidos pela superfície da pele poderão se aproximar dos ângulos obtidos a partir das curvaturas internas, tornando a avaliação superficial mais precisa em relação à avaliação interna da coluna vertebral. **Conclusão:** A rotina de avaliação desenvolvida para mensurar as curvaturas sagitais (torácica e lombar) externas da coluna vertebral (superfície da pele) mostrou-se concordante com as curvaturas internas (corpo vertebral e processo espinhoso), sendo possível sua utilização para avaliação clínica da coluna vertebral.

Palavras-chave: avaliação, coluna vertebral, ângulo, cálculo

ABSTRACT

Non-invasive assessment methodologies for postural evaluation of the spine from the surface of the skin in an attempt to estimate the internal curvature of the spine. However, some errors are encountered with respect to anatomical landmarks used by these methodologies. **Objective:** develop, in a computing environment, a method for measuring sagittal curvatures (thoracic and lumbar) outside the spinal column, from the skin surface, which is consistent with the internal sagittal curvature of the spine. **Methodology:** For the development of routine assessment of the spine magnitudes, 15 digital panoramic X-ray of the spine of volunteer children were used from a database belonging to Biomec Research Group / UFRGS. The following anatomical landmarks were marked on the images: four vertices of the vertebral body (anterior superior, posterior superior, anterior inferior and posterior inferior), apex of the spinous process and a point on the skin surface concerning the location of the spinous process. All these points were digitalized for the following vertebrae, C6, C7, T2, T4, T6, T8, T10, T12, L2, L4 and S2. The evaluation routine was developed in the programming language used in Matlab software from Mathworks. For thoracic kyphosis and lumbar lordosis three curvatures were obtained through a 3rd order polynomial: (1) internal curvature from the centroid of the vertebral bodies; (2) internal curvature from the apex of the spinous processes; (3) External curvature from the surface of the skin. To calculate the angle of each bend of thoracic kyphosis and lumbar lordosis, tangents concerning points of interest were obtained. The vertebral levels used for kyphosis were: C7-T12, C7-T10, T2-T12, T2-T10, T4-T12 and T4-T10; and for lordosis were: T10-S2, T10-L4, T12-S2 e T12-L4. For statistical analysis the Product Moment Correlation Test and the Pearson Test of Simple Linear Regression were used. $\alpha=0,05$. **Results:** For thoracic kyphosis, vertebral levels that had the highest correlation coefficients among the three curvatures were: T4-T12 (r between 0,795-0,942; $p<0,05$) and T2-T12 (r between 0,679-0,921; $p<0,05$). For lumbar lordosis, vertebral levels T10-S2 (r between 0.887 to 0.925; $p <0.05$) and T12-S2 (r between 0,836-0,927; $p<0,05$) showed the best correlation among the three curves. Through the line equation obtained by the linear regression, the angles provided by the skin surface can approach the angles obtained from the internal bends, making the surface evaluation more accurate in relation to the internal evaluation of the spine. **Conclusion:** The routine assessment developed to measure the external (skin surface) sagittal spine curvatures (thoracic and lumbar) was found to be consistent with the internal curvatures (vertebral body and spinous process), and it can be employed for clinical evaluation of the spine.

Keywords: assessment, spine, angle, calculation

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	5
2. OBJETIVOS	7
2.1 OBJETIVO GERAL	7
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	8
3.1 AVALIAÇÃO DAS CURVATURAS SAGITAIS DA COLUNA VERTEBRAL.....	8
3.2 METODOLOGIAS PARA QUANTIFICAR AS CURVATURAS SAGITAIS DA COLUNA VERTEBRAL.....	10
4. PROBLEMA DE PESQUISA	13
4.1 HIPÓTESE	13
5. DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS.....	14
5.1 VARIÁVEIS INDEPENDENTES	14
5.2 VARIÁVEIS DEPENDENTES.....	14
6. METODOLOGIA.....	15
6.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	15
6.2 AMOSTRA.....	15
6.3 MENSURAÇÃO DAS CURVATURAS SAGITAIS DA COLUNA VERTEBRAL.....	15
6.4 TRATAMENTO ESTATÍSTICO.....	21
7. RESULTADOS.....	22
8. DISCUSSÃO	26
9. CONCLUSÃO.....	29
10. REFERÊNCIAS	30
APÊNDICE A – AUTORIZAÇÃO PARA UTILIZAÇÃO DO BANCO DE DADOS.....	37

1. INTRODUÇÃO

A postura da coluna vertebral, no plano sagital, apresenta curvaturas fisiológicas anteroposteriores e a manutenção dessas curvaturas é importante para o suporte estrutural, proporcionando proteção adequada para a medula espinhal e mobilidade dos segmentos da coluna vertebral (CZAPROWSKI et al., 2012). As alterações anteroposteriores da coluna vertebral caracterizam-se por um aumento ou diminuição da magnitude dessas curvaturas (SINGH, BAILEY e LEE, 2010).

A avaliação das curvaturas anteroposteriores da coluna vertebral pode ser feita através do método padrão ouro, os exames de Raios-X, ou através de procedimentos não invasivos, utilizados como uma opção para evitar os problemas decorrentes das exposições à radiação (ALLEN et al., 2008; CHEN, 1999; GSTOETTNER et al., 2007; MASSO e GORTON, 2000; TAYYAB et al., 2007). O software *Digital Image-based Postural Assessment* (DIPA) é uma ferramenta de avaliação postural que utiliza a fotogrametria para quantificar as alterações laterais e anteroposteriores da coluna vertebral, assim como classificar a postura estática (FURLANETTO et al., 2011, 2012).

Nas radiografias, utilizam-se os cálculos dos ângulos de Cobb como metodologia para quantificar as magnitudes das curvaturas anteroposteriores (BRIGGS et al., 2007; KNOTT et al., 2006; TAYYAB et al., 2007). Para essa avaliação é comumente utilizado o método Cobb quatro linhas, o qual calcula valores angulares das curvaturas através do cruzamento de linhas que representam os limites da curvatura de interesse, utilizando como referência os corpos vertebrais (GOH et al., 2000; HARRISON et al., 2001). Em contrapartida, a fotogrametria baseia-se em diferentes metodologias para avaliar a coluna vertebral, podendo quantificar a magnitudes das curvaturas através de valores lineares (FURLANETTO et al., 2011, 2012) ou angulares (FERREIRA et al., 2010; FORTIN et al., 2010; LEROUX et al., 2000), utilizando como referência os processos espinhosos das vértebras. Mesmo assim, muitas vezes, os cálculos de avaliação das curvaturas não são apresentados, dificultando a repetição da metodologia de avaliação e a utilização do instrumento proposto.

Para a utilização do software DIPA como instrumento de avaliação no plano sagital é necessário que este seja validado (FURLANETTO et al., 2011), o que consiste na comparação de seus resultados com o padrão ouro (exames de Raios-

X). Entretanto, algumas divergências são encontradas entre o novo instrumento (software DIPA) e seu padrão ouro (radiografias). A fotogrametria é um instrumento de avaliação superficial da coluna vertebral e a radiografia avalia internamente as curvaturas da coluna, além disso, a fotogrametria é baseada na palpação dos processos espinhosos das vértebras utilizadas como referência e a radiografia utiliza os corpos vertebrais como referência para sua avaliação. Diante disso, as diferenças entre os pontos anatômicos utilizados (corpo vertebral e processo espinhoso) podem gerar muitos erros ao comparar as duas metodologias.

Em geral, esses erros são provenientes da tentativa de estimar a partir da curvatura externa da coluna vertebral (superfície da pele), ou seja, a partir de um único ponto (processo espinhoso), o comportamento da curvatura interna da coluna, proveniente do corpo vertebral. Dessa forma, justifica-se o presente estudo que pretende desenvolver uma rotina matemática, em ambiente computacional, que sintetize uma metodologia de avaliação das magnitudes das curvaturas sagitais da coluna vertebral a partir da superfície da pele. Entende-se que se confirmada a validade concorrente dessa rotina, a mesma poderá ser implementada no software DIPA, garantindo a aplicabilidade do estudo.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver, em um ambiente computacional, uma metodologia para mensurar as curvaturas sagitais (torácica e lombar) externas da coluna vertebral, a partir da superfície da pele, que seja concordante com as curvaturas internas sagitais da coluna vertebral.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar se as curvaturas sagitais (torácica e lombar) da coluna vertebral estimadas pelos pontos representativos dos processos espinhosos das vértebras (curvatura interna) representam as curvaturas sagitais da coluna vertebral estimadas pelo baricentro dos corpos vertebrais (curvatura interna);
- Verificar se as curvaturas sagitais (torácica e lombar) da coluna vertebral estimadas pela superfície da pele (curvatura externa) representam as curvaturas sagitais da coluna vertebral estimadas pelos pontos representativos dos processos espinhosos das vértebras e pelo baricentro dos corpos vertebrais (curvaturas internas);
- Identificar a melhor equação matemática para corrigir eventuais discrepâncias entre a curvatura externa e as duas curvaturas internas, para a coluna torácica e lombar da coluna vertebral;

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 AVALIAÇÃO DAS CURVATURAS SAGITAIS DA COLUNA VERTEBRAL

Para determinar a postura anteroposterior da coluna vertebral de cada indivíduo é necessário avaliar as suas curvaturas sagitais (CELAN et al., 2012), de maneira a verificar se as curvaturas fisiológicas estão preservadas. E, para isso é necessário a utilização de alguma ferramenta de avaliação postural, bem como o conhecimento dos parâmetros de referencia para a postura padrão.

A verificação das curvaturas sagitais da coluna vertebral pode ser realizada através de diferentes metodologias invasivas e não invasivas de avaliação postural. O padrão ouro para essas avaliações no plano sagital são os exames de Raios-X látero-lateral (ZAINA et al., 2012), nos quais são realizados os cálculos dos ângulos de Cobb, capazes de quantificar as magnitudes dessas curvaturas (BRIGGS et al., 2007; KNOTT et al., 2006; TAYYAB et al., 2007).

Esse método tem como vantagem revelar a verdadeira posição das curvaturas do indivíduo e características da alteração da coluna vertebral. Porém, devido à sua natureza invasiva, é considerado inadequado para uso repetido quando acompanha tratamentos posturais, uma vez que o paciente é submetido à exposição repetida de radiação (CHAISE et al., 2011). A exposição continuada à radiação, principalmente em adolescentes em fase de crescimento, consiste no aumento do risco de desenvolvimento de câncer de mama, tireóide e leucemia (DOODY et al., 2000). Para evitar o perigo do efeito negativo que podem provocar as irradiações múltiplas no percurso do crescimento é conveniente não repetir os exames radiográficos antes de se passarem seis meses (D'OSUALDO et al., 2002).

Além da exposição à radiação ionizante, o diagnóstico e acompanhamento através da radiografia têm apresentado outras limitações, impossibilitando a utilização desse equipamento no ambiente clínico dos profissionais da área da saúde. Por exemplo, a distorção produzida na imagem radiológica limita a qualidade dessas imagens e muitas vezes dificulta a interpretação do exame (GOH et al., 2000), bem como o custo e dificuldade técnica (D'OSUALDO, SCHIERANO e IANNIS, 1997).

Com a intenção de diminuir a frequência de realização dos exames de Raios-X (LEROUX et al., 2002), soluções têm sido desenvolvidas para alternativamente mensurar as magnitudes das curvaturas cifose torácica e lordose lombar de maneira

não invasiva, tanto na prática clínica quanto no ambiente de pesquisas. As avaliações das curvaturas são úteis tanto como indicadores de posicionamento postural, quanto como medida de mobilidade da coluna vertebral, já que são duas importantes funções das curvaturas: suporte e mobilidade (DUNLEAVY et al., 2010).

Na prática clínica, as avaliações não invasivas da coluna vertebral auxiliam na escolha de técnicas de tratamento, pois as terapias são propostas com base no grau da curvatura ou na progressão da mesma (CARMAN, BROWNE e BIRCH, 1990). Ou, ainda, para o acompanhamento da evolução do tratamento (D'OSUALDO et al., 2002). No ambiente de pesquisa, é necessário o desenvolvimento de metodologias adequadas e confiáveis para a mensuração das curvaturas da coluna vertebral com objetivo de avaliar e verificar os efeitos do tratamento em estudos de intervenção, para que os resultados dos mesmos possam ser relatados de forma adequada (CARMAN, BROWNE e BIRCH, 1990).

A avaliação de forma não invasiva da coluna vertebral utiliza instrumentos de medida e técnicas computadorizadas, capazes de fornecer valores numéricos das características das curvas sagitais, pois a avaliação anatômica e biomecânica da coluna vertebral frequentemente necessita de dados quantitativos (SINGER, JONES e BREIDAHN, 1990). Essas medidas não invasivas apresentam como vantagens o baixo custo, a menor dificuldade técnica e a ausência de efeitos secundários. Dessa forma, o instrumento ideal deve ser eficaz, preciso, confiável, de tamanho pequeno, fácil de usar e com preços razoáveis (D'OSUALDO, SCHIERANO e IANNIS, 1997). Dentre os instrumentos de avaliação postural encontram-se: Flexicurva (DUNLEAVY et al., 2010; HINMAN, 2004; OLIVEIRA et al., 2012; RAJABI, SEIDI e MOHAMADI, 2008; TEIXEIRA e CARVALHO, 2007), Arcômetro (CHAISE et al., 2011; D'OSUALDO et al., 2002; D'OSUALDO, SCHIERANO e IANNIS, 1997), Inclinômetro (CAMPBELL-KYUREGHYAN et al., 2005; CZAPROWSKI et al., 2012; LEWIS e VALENTINE, 2010; NG, KIPPERS e RICHARDSON, 2001), Cifômetro (GREENDALE et al., 2011; KADO et al., 2006; KOROVISSIS et al., 2001), Topografia de Moiré (KOVAC e PEĆINA, 1999; STOKES e MORELAND, 1989), eletrogoniômetro (CAMPBELL-KYUREGHYAN et al., 2005; PERRIMAN et al., 2010) e a Fotogrametria (DUNK, LALONDE e CALLAGHAN, 2005; EDMONDSTON et al., 2012; FERREIRA et al., 2010; FORTIN et al., 2010, 2012; FURLANETTO et al., 2011, 2012; HARRISON et al., 2007; LEROUX et al., 2000; NORMAND et al., 2007; PAUSIĆ, PEDISIĆ e DIZDAR, 2010).

3.2 METODOLOGIAS PARA QUANTIFICAR AS CURVATURAS SAGITAIS DA COLUNA VERTEBRAL

Com o objetivo de oferecer informações indiretas sobre o posicionamento da coluna vertebral, essas técnicas não radiográficas e não invasivas de avaliação postural têm sido propostas nas últimas décadas, as quais apresentam diferentes metodologias e tecnologias que possibilitam a avaliação da superfície das costas do indivíduo. Essas ferramentas utilizam meios para mensurar as magnitudes das curvaturas sagitais, tais como, valores angulares e valores lineares.

Especificamente na fotogrametria, os valores angulares são frequentemente utilizados, uma vez que o padrão ouro e invasivo de avaliação postural utiliza um cálculo angular para mensurar as magnitudes das curvaturas sagitais da coluna. O cálculo dos ângulos Cobb, da metodologia invasiva, se dá através do cruzamento de linhas que tangenciam os corpos vertebrais cranial e caudal que representam os limites da curvatura de interesse (GOH et al., 2000; HARRISON et al., 2001; MAC-THIONG et al., 2007; TAYYAB et al., 2007).

Semelhante ao ângulo Cobb, a fotogrametria se propõe avaliar as curvaturas a partir do cálculo do ângulo formado entre dois pontos da coluna vertebral (CHRISTIE et al., 1995; FORTIN et al., 2013; MITCHELL, NESS e WHITELOCK, 1992; RODRIGUES, ROMEIRO e PATRIZZI, 2009; YANG, JONES-QUAIDOO e EAGER, 2011), porém, utiliza os processos espinhosos como referência, enquanto que a radiografia utiliza os corpos vertebrais.

Contudo, ressalta-se que os processos espinhosos apresentam um ângulo de inclinação em relação ao corpo vertebral (GILAD e NISSAN, 1985) e que este ângulo pode interferir na obtenção do ângulo da curvatura através da fotogrametria. Assim, ressalta-se cautela ao utilizar um método alternativo que tenta aproximar-se dos valores obtidos através do padrão ouro nos procedimentos matemáticos dos softwares de avaliação postural, visto que o ponto anatômico palpado e utilizado como referência pode não representar adequadamente o posicionamento do corpo vertebral.

Além da semelhança com o cálculo do Cobb, alguns valores angulares encontrados para avaliação das três curvaturas foram: (a) lordose cervical: união de três retas passando por occipital, C4 e C7 até uma linha vertical posterior; (b) cifose torácica: união de três retas passando por C7, T7 e T12 até uma linha vertical

posterior; e (c) lordose lombar: união de três retas passando por T12, L3 e L5 até uma linha vertical posterior (BELLI et al., 2009; IUNES et al., 2010; PEZZAN et al., 2011). Entre essas possibilidades para mensurar as curvaturas sagitais, foram encontradas, ainda, rotinas que se baseavam em outros tipos de cálculos, tais como: tangentes do contorno das curvaturas (O'SULLIVAN et al., 2006; RAINE e TWOMEY, 1994, 1997), ângulo do tronco (CHENG et al., 2013; SMITH, O'SULLIVAN e STRAKER, 2008; STRAKER et al., 2009) e ângulo do peito (AMSTERS e NITZ, 2006).

Segundo as teorias que utilizam os valores lineares para avaliar a coluna vertebral no plano sagital, as alterações das curvaturas podem ser quantificadas pela mensuração da distância do processo espinhoso até uma linha vertical de referência, sendo que, em curvaturas retificadas há uma diminuição das distâncias e em curvaturas aumentadas há um aumento das distâncias (FURLANETTO et al., 2011, 2012; ZAINA et al., 2009). Esta teoria é sustentada por alguns estudos (ANNETTS et al., 2012; MILANESI et al., 2011; MUNHOZ, MARQUES e SIQUEIRA, 2005; WEBER et al., 2012).

Mesmo com essa vasta oferta de procedimentos matemáticos que podem ser usados na avaliação quantitativa da coluna vertebral, inseridos na fotogrametria, muitas vezes na prática clínica e na pesquisa, os profissionais da saúde e estudantes se deparam com a escassez de ferramentas que possibilitem o cálculo das magnitudes das curvaturas de forma clara, fidedigna, precisa e com significado clínico.

Além disso, nenhuma metodologia encontrada até então leva em conta alguns problemas encontrados pelo fato de a fotogrametria ser um instrumento de avaliação superficial da coluna vertebral, e, seu padrão ouro, a radiografia, avaliar internamente as curvaturas da coluna. Ainda nesse sentido, a fotogrametria é baseada na palpação dos processos espinhosos das vértebras utilizadas como referência e a radiografia utiliza os corpos vertebrais como referência para sua avaliação. Diante disso, as diferenças entre os pontos anatômicos utilizados (corpo vertebral e processo espinhoso) podem gerar muitos erros ao comparar as duas metodologias. Esses erros podem ser provenientes da tentativa de estimar a partir da curvatura externa da coluna vertebral, ou seja, de um único ponto (processo espinhoso), o comportamento da curvatura interna da coluna, proveniente do corpo vertebral.

Assim, torna-se importante o desenvolvimento de uma metodologia de avaliação das curvaturas sagitais da coluna vertebral através da superfície, que leve em conta a diferença entre avaliação superficial e a avaliação interna da coluna vertebral. Além disso, é importante ressaltar também que a avaliação externa se baseia na palpação dos processos espinhosos das vértebras de interesse, e isso também pode trazer alguns erros, visto que os processos espinhosos apresentam um ângulo de inclinação em relação ao corpo vertebral (GILAD e NISSAN, 1985). Este ângulo pode interferir na obtenção do ângulo da curvatura através do método não invasivo, dificultando ainda mais a comparação com o padrão ouro.

4. PROBLEMA DE PESQUISA

A mensuração das curvaturas sagitais (torácica e lombar) externas da coluna vertebral, a partir da superfície da pele, é concordante com a mensuração das curvaturas internas sagitais da coluna vertebral?

4.1 HIPÓTESE

A partir das correções das discrepâncias existentes entre a estimativa das curvaturas externas a partir das internas, é possível mensurar as curvaturas sagitais da coluna vertebral a partir da superfície da pele.

A partir da identificação e correção das discrepâncias entre a curvatura externa e as duas curvaturas internas, tanto da coluna torácica quanto lombar da coluna vertebral, é possível que a avaliação das curvaturas sagitais externas da coluna vertebral represente a avaliação das curvaturas internas sagitais da coluna vertebral.

5. DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS

5.1 VARIÁVEIS INDEPENDENTES

- Valor angular das curvaturas sagitais (torácica e lombar) da coluna vertebral a partir dos pontos representativos dos processos espinhosos das vértebras

Valor angular obtido por relações trigonométricas do contorno das curvaturas sagitais da coluna vertebral, a partir dos pontos representativos dos processos espinhosos das vértebras, gerado por um polinômio de 3ª ordem.

- Valor angular das curvaturas sagitais (torácica e lombar) da coluna vertebral a partir do baricentro dos corpos vertebrais.

Valor angular obtido por relações trigonométricas do contorno das curvaturas sagitais da coluna vertebral, a partir do baricentro dos corpos vertebrais, gerado por um polinômio de 3ª ordem.

5.2 VARIÁVEIS DEPENDENTES

- Valor angular das curvaturas sagitais (torácica e lombar) da coluna vertebral a partir da superfície da pele

Valor angular obtido por relações trigonométricas do contorno das curvaturas sagitais da coluna vertebral, a partir da superfície da pele (no local correspondente pela palpação ao processo espinhoso), gerado por um polinômio de 3ª ordem.

6. METODOLOGIA

6.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Essa pesquisa caracteriza-se como sendo um estudo de validação, com delineamento do tipo *ex-post-facto* correlacional.

6.2 AMOSTRA

A amostra foi coletada a partir de um banco de dados pertencente ao Grupo de Pesquisa Biomec (www.ufrgs.br/biomec) composto por 200 exames de Raios-X panorâmico da coluna vertebral de crianças e jovens voluntários, com idades entre 6 e 18 anos. Deste banco de dados foram utilizados 15 Raios-X para testar as metodologias desenvolvidas.

Os critérios de inclusão foram ter o exame de Raios-X na base de dados que seja digital, panorâmico e apresente uma escala numérica. Os critérios de exclusão foram: má formação vertebral, presença de espinha bífida e de seis vértebras lombares, o exame de Raios-X ser não ser digital, ou panorâmico ou não apresentar a escala numérica. O pesquisador responsável pelo banco de dados autorizou a utilização das radiografias para essa pesquisa (APÊNDICE A). Os nomes dos indivíduos foram substituídos por códigos, de modo que nenhum jovem do banco de dados possa ser identificado.

6.3 MENSURAÇÃO DAS CURVATURAS SAGITAIS DA COLUNA VERTEBRAL

Para mensurar as curvaturas sagitais da coluna vertebral para a cifose torácica e lordose lombar foram marcados nas imagens radiográficas digitais os seguintes pontos anatômicos de referência: quatro vértices do corpo vertebral (superior anterior, superior posterior, inferior anterior e inferior posterior), ápice do processo espinhoso e ponto da superfície da pele referente à localização do processo espinhoso (Figura 1). Todos esses pontos foram digitalizados para as seguintes vértebras: C6, C7, T2, T4, T6, T8, T10, T12, L2, L4 e S2.

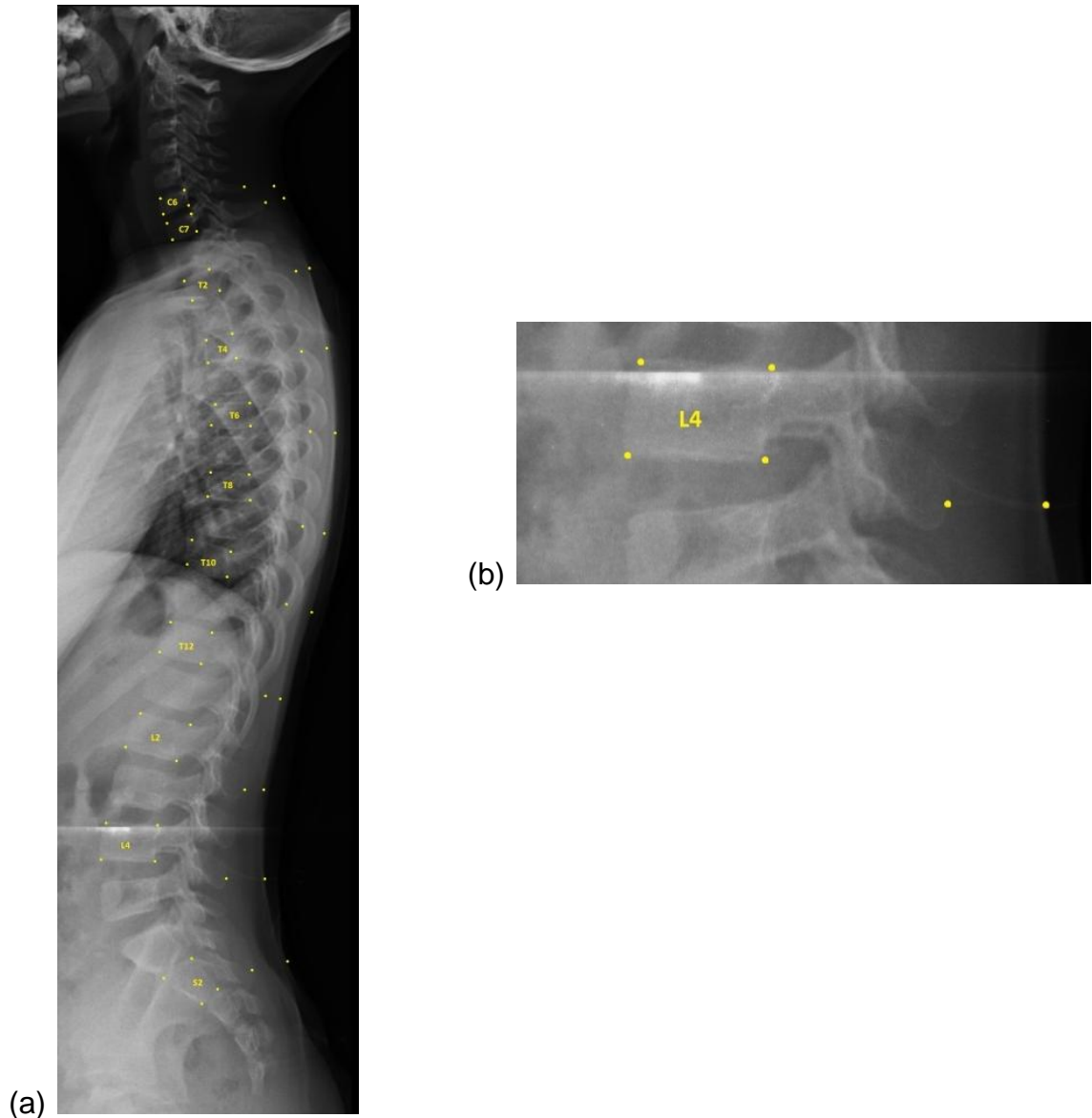


Figura 1 – Pontos anatômicos de referência marcados nas imagens radiográficas (a). No detalhe, os seis pontos marcados em cada vértebra (b).

Para a cifose torácica e lordose lombar foram obtidas três curvaturas, duas curvaturas internas, possíveis de ser visualizadas somente mediante a realização dos exames de Raios-X e uma curvatura externa, que é possível ser extrapolada para uma avaliação superficial da coluna vertebral. As três curvaturas avaliadas foram: (1) curvatura interna a partir do baricentro dos corpos vertebrais; (2) curvatura interna a partir do ápice dos processos espinhosos; e (3) curvatura externa a partir da superfície da pele.

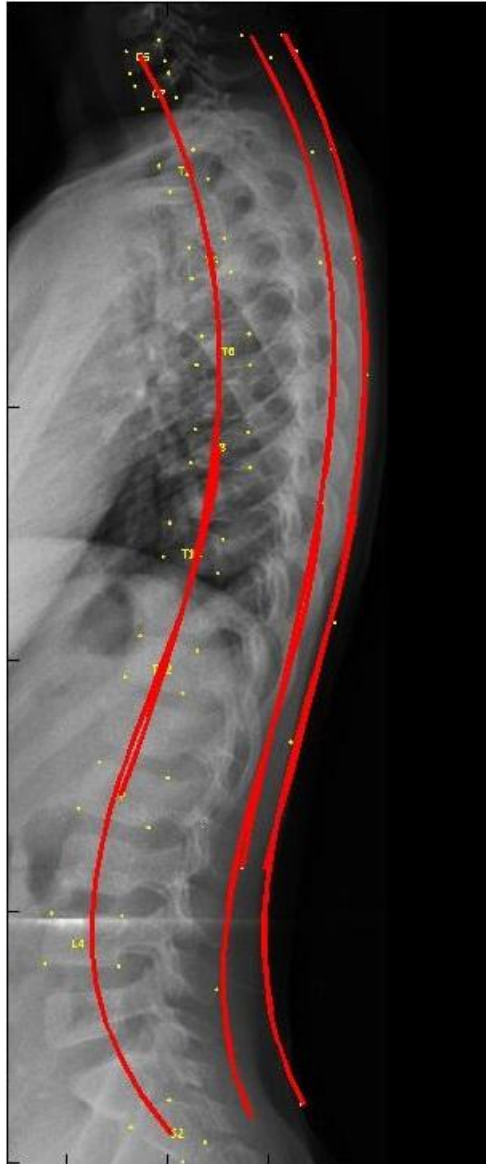


Figura 2 – Curvaturas obtidas para a cifose torácica e lordose lombar: curvatura interna a partir do baricentro dos corpos vertebrais, curvatura interna a partir do ápice dos processos espinhosos e curvatura externa a partir da superfície da pele.

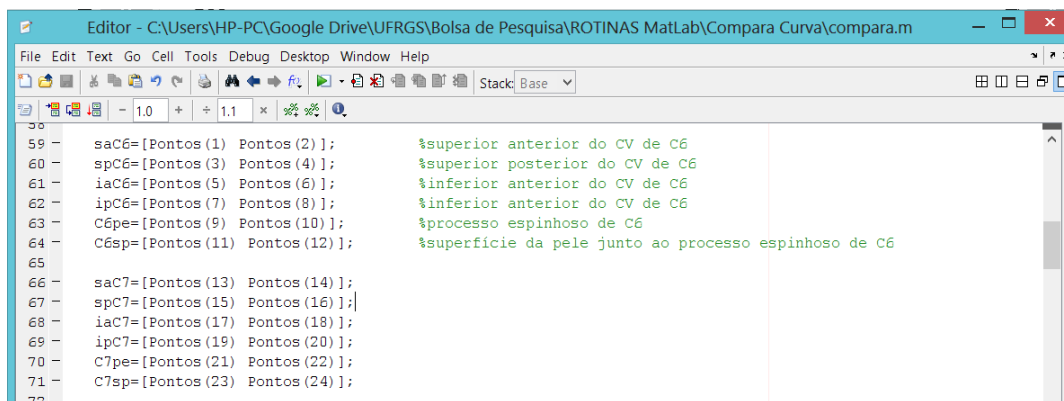
Para o desenvolvimento da rotina matemática, foi utilizado o software Matlab da Mathworks® versão 7.5. Para facilitar e guiar os futuros usuários da rotina algumas mensagens foram registradas na janela de comando a título de instruções para a utilização.

A rotina inicia-se com uma janela de advertência em estilo “pop up” solicitando ao usuário que escolha uma imagem de Raios-X no plano sagital para que a mesma possa ser digitalizada. Para tal, é utilizada uma rotina acessória (carrega.m) que endereça no computador do usuário a localização do arquivo de

imagem que é a base de digitalização, bem como extrai as dimensões de altura e largura em pixel para futuramente servir de base para a criação de um plano cartesiano para a localização dos pontos digitalizados.

Uma vez concluído este processo, é apresentado na janela de comando do próprio software a ordem de digitalização dos pontos que o usuário deverá seguir: (1) ponto superior anterior do corpo vertebral de C6, (2) ponto superior posterior do corpo vertebral de C6, (3) ponto inferior anterior do corpo vertebral de C6, (4) ponto inferior posterior do corpo vertebral de C6, (5) processo espinhoso de C6 e (6) superfície da pele correspondente à palpação do processo espinhoso de C6. E, assim sucessivamente, para as demais vértebras avaliadas (C7, T2, T4, T6, T8, T10, T12, L2, L4 e S2), estipuladas anteriormente pelo protocolo DIPA (FURLANETTO et al., 2011).

Foi digitalizado um total de 66 pontos, sendo seis para cada vértebra (Figura1). Para este processo é utilizada uma segunda rotina acessória (digitaliza.m) que identifica a localização precisa de cada um dos pontos supracitados dentro dos limites do plano cartesiano, formado agora, com as dimensões da imagem anteriormente escolhida. No final deste segundo processo é gerada uma matriz 1x132 com a localização dos respectivos pontos, sendo os ímpares as coordenadas “x” e os pares as coordenadas “y”. Por exemplo: Pontos (1) e Pontos (2) são respectivamente as coordenadas x e y do primeiro ponto digitalizado, assim como os Pontos (3) e Pontos (4) serão respectivamente as coordenadas x e y do segundo ponto digitalizado, e, assim sucessivamente. Para melhor organizar e facilitar cálculos futuros, cada local digitalizado foi nomeado em uma matriz 1x2 como ilustrada na Figura 3.



```

Editor - C:\Users\HP-PC\Google Drive\UFRGS\Bolsa de Pesquisa\ROTINAS MatLab\Compara Curva\compara.m
File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
59 - saC6=[Pontos (1) Pontos (2) ];           %superior anterior do CV de C6
60 - spC6=[Pontos (3) Pontos (4) ];           %superior posterior do CV de C6
61 - iaC6=[Pontos (5) Pontos (6) ];           %inferior anterior do CV de C6
62 - ipC6=[Pontos (7) Pontos (8) ];           %inferior posterior do CV de C6
63 - C6pe=[Pontos (9) Pontos (10) ];           %processo espinhoso de C6
64 - C6sp=[Pontos (11) Pontos (12) ];           %superfície da pele junto ao processo espinhoso de C6
65
66 - saC7=[Pontos (13) Pontos (14) ];
67 - spC7=[Pontos (15) Pontos (16) ];
68 - iaC7=[Pontos (17) Pontos (18) ];
69 - ipC7=[Pontos (19) Pontos (20) ];
70 - C7pe=[Pontos (21) Pontos (22) ];
71 - C7sp=[Pontos (23) Pontos (24) ];
72
  
```

Figura 3 – Ilustração da criação de matrizes 1x2 de cada ponto digitalizado. A imagem mostra o exemplo das vértebras C6 e C7.

Para que cada corpo vertebral fosse representado por um ponto único, foi calculado o baricentro do quadrilátero formado pelos pontos superior anterior, superior posterior, inferior anterior e inferior posterior do corpo vertebral. A seguir, foi executado um comando para a formação de outras três matrizes 2x11 com os respectivos pontos, agora agrupados por: baricentro do corpo vertebral (BAR), processo espinhoso (PE) e superfície da pele (SP). Estas últimas matrizes tiveram a ordem x/y alteradas para y/x para que o eixo das abcissas possua um caráter contínuo, característico de qualquer função matemática. Para finalização desta primeira etapa da rotina de obtenção e organização dos dados, cada uma destas três matrizes foi salva automaticamente em formato de texto (*.txt) para que se possa fazer no futuro comparações precisas entre diferentes metodologias de cálculo para os mesmos pontos, sem a necessidade de uma nova e morosa digitalização.

A segunda etapa corresponde à apresentação gráfica dos pontos e das curvaturas criadas a partir deles e aos cálculos dos ângulos propostos que subsidiam a metodologia. Assim, todos os pontos foram plotados em uma imagem branca e para cada uma das matrizes (BAR, PE e SP) foram calculados dois polinômios de 3ª ordem que melhor adaptam-se aos pontos fornecidos (função polyfit), um representando a curvatura torácica e outro representando a curvatura lombar. Para o desenvolvimento da curvatura torácica foram utilizados os pontos compreendidos entre C6 e L2 e para criar a curvatura lombar foram utilizados os pontos entre T8 e S2. Optou-se por utilizar pontos em comum entre as duas curvaturas para que as mesmas melhor representassem uma continuidade entre ambas as curvaturas.

Cada um dos polinômios foi também derivado para logo em seguida obter-se a inclinação em cada um dos pontos de interesse da curvatura. Para a cifose torácica, foram obtidas as inclinações em C7, T2 e T4 para os limites superiores, bem como T10 e T12 para os limites inferiores. Para a lordose lombar foram mensuradas as inclinações em T10 e T12 para os limites superiores e em L4 e S2 para os limites inferiores. Os ângulos de interesse foram obtidos através do arco-tangente formado entre a inclinação previamente obtida dos níveis vertebrais: C7-T12, C7-T10, T2-T12, T2-T10, T4-T12 e T4-T10, para a cifose torácica; e T10-S2, T10-L4, T12-S2 e T12-L4, para a lordose lombar. Por fim foram plotadas as

curvaturas sob os pontos bem como retas tangentes aos pontos de interesse para uma melhor conferência do usuário (Figura 4).

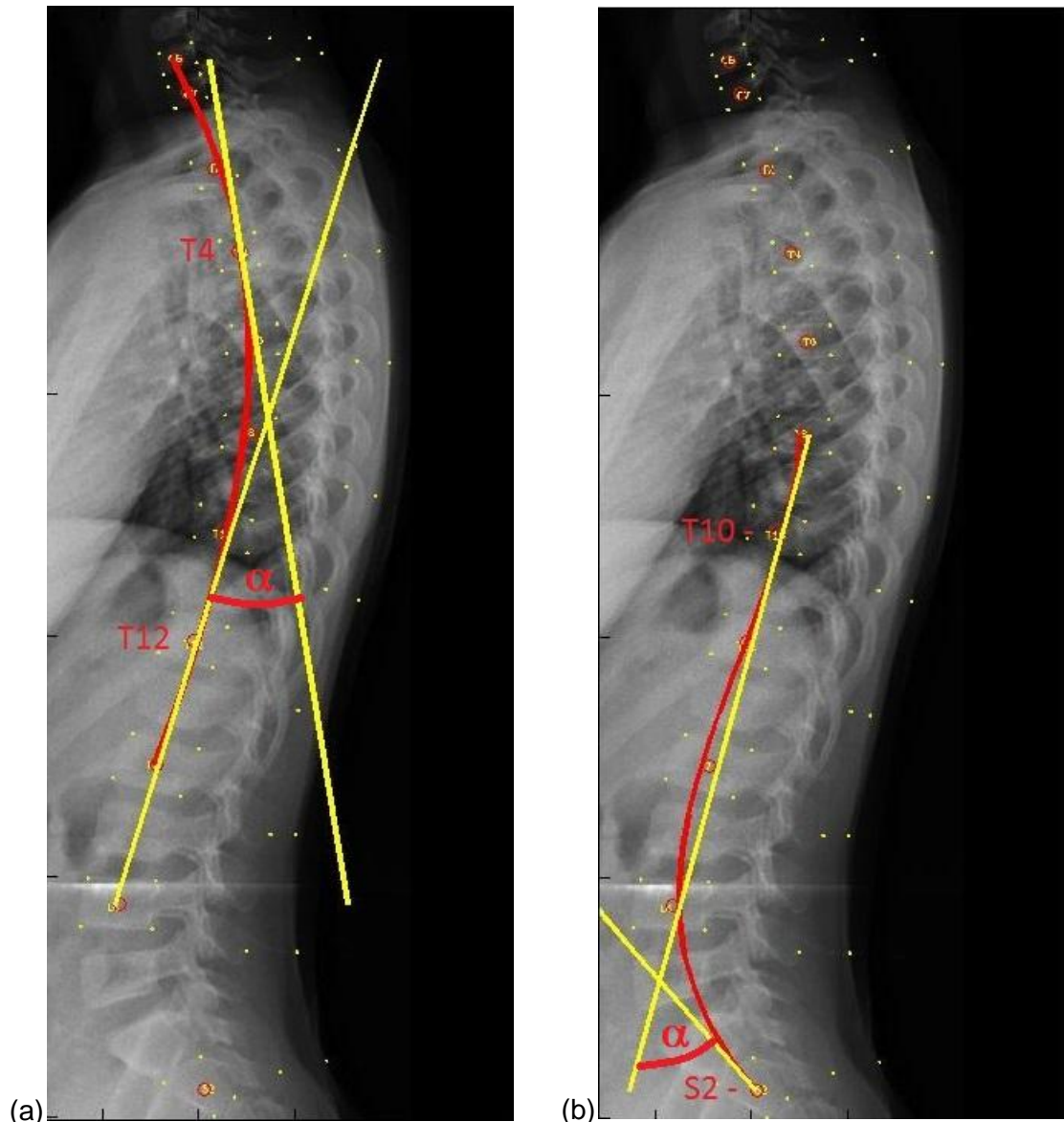


Figura 4 – Ilustração das tangentes utilizadas para calcular o ângulo das curvaturas. (a) Tangentes relativas à curvatura torácica pelo baricentro dos corpos vertebrais ao nível vertebral T4-T12. (b) Tangentes relativas à curvatura lombar pelo baricentro dos corpos vertebrais ao nível vertebral T10-S2.

Em posse da rotina desenvolvida, um único avaliador experiente realizou a marcação e a digitalização dos pontos em todos os 15 exames de Raios-X. Assim, os ângulos das três curvaturas (interna a partir dos corpos vertebrais, interna a partir dos processos espinhosos e externa a partir da superfície da pele) foram obtidos para a torácica e lombar dos indivíduos da amostra.

6.4 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Para o tratamento estatístico foi utilizado o software SPSS versão 18, sendo realizada análise descritiva e inferencial dos dados. Para descrição dos dados, os resultados são apresentados em média e desvio padrão dos ângulos obtidos para as três curvaturas obtidas das diferentes combinações de níveis vertebrais.

Para a análise inferencial, foi, primeiramente, verificada a normalidade dos dados utilizando o Teste de Shapiro Wilk. Os seguintes testes estatísticos foram utilizados: (1) Teste de Correlação Produto Momento de Pearson para verificar a correlação entre os ângulos obtidos através da superfície da pele X corpo vertebral, superfície da pele X processo espinhoso e corpo vertebral X processo espinhoso; e (2) Regressão Linear Simples, para corrigir os valores angulares da superfície da pele através do corpo vertebral e processo espinhoso. Os valores r foram classificados em correlação muito baixa ($<0,2$), baixa (0,2 a 0,39), moderada (0,4 a 0,69), alta (0,7 a 0,89) e muito alta (0,9 a 1,0), conforme Gaya (2008). O nível de significância adotado em todos os testes será de 0,05.

7. RESULTADOS

A Tabela 1 mostra a média e o desvio padrão dos ângulos obtidos nos diferentes níveis vertebrais avaliados para a cifose torácica e lordose lombar para as três curvaturas: interna através do corpo vertebral, interna através do processo espinhoso e externa através da superfície da pele.

Tabela 1 – Média e desvio padrão dos ângulos obtidos nos diferentes níveis vertebrais avaliados para a cifose torácica e lordose lombar.

	Nível Vertebral	Ângulo interno – Corpo Vertebral	Ângulo interno – Processo Espinhoso	Ângulo externo – Superfície da pele
Cifose Torácica	C7-T12	52,6 (±7,6)	47,7 (±7,4)	47 (±5,4)
	C7-T10	45,2 (±7)	45 (6,4)	43,7 (±5,4)
	T2-T12	45 (±7,4)	39 (7,5)	38,7 (±5,6)
	T2-T10	37,6 (±6,6)	36,2 (±6,2)	35,4 (±5)
	T4-T12	36,4 (±6,9)	28,6 (±7)	28,4 (±5,6)
	T4-T10	29 (5,7)	25,7 (±5,3)	25,1 (4,2)
Lordose Lombar	T10-S2	60,4 (±14,1)	29,9 (±17,6)	36,8 (±17,1)
	T10-L4	17,5 (±9,9)	12,3 (±7,8)	19,9 (±11,4)
	T12-S2	68,7 (±13,8)	33,7 (±18,5)	38,1 (15,2)
	T12-L4	25,9 (±9,2)	15,3 (±8,6)	20,9 (±9,7)

A Tabela 2 ilustra a correlação e o nível de significância entre as três curvaturas (interna através do corpo vertebral, interna através do processo espinhoso e externa através da superfície da pele) para os diferentes níveis vertebrais avaliados da cifose torácica e lordose lombar. Para a cifose torácica, o nível vertebral T4-T12 obteve os maiores índices de correlação entre as três curvaturas, apresentando correlação muito alta e significativa quando correlacionadas as duas curvaturas internas e correlação alta e significativa quando correlacionada a curvatura externa com as duas curvaturas internas (processo espinhoso e corpo vertebral). Ainda, o nível vertebral T2-T12 obteve índices de correlação variando de moderado a muito alto, sendo todos significativos, quando correlacionadas as três curvaturas.

Para a lordose lombar, o nível vertebral T10-S2 apresentou correlação muito alta e significativa quando correlacionadas as duas curvaturas internas e a curvatura externa com a curvatura interna do processo espinhoso; e correlação alta e significativa quando correlacionada a curvatura externa com a interna do corpo vertebral. Em seguida, o nível vertebral T12-S2 obteve correlação muito alta e significativa quando correlacionada a curvatura externa com a interna do processo

espinhoso; e correlação alta e significativa quando correlacionadas as duas curvaturas internas e a curvatura externa com a curvatura interna pelo corpo vertebral.

Tabela 2 – Correlação de Pearson (r) e nível de significância (p) encontrado entre as três curvaturas avaliadas: interna obtida através do processo espinhoso (PE), interna obtida através do corpo vertebral (CV) e externa obtida através da superfície da pele (SP) para a cifose torácica e lordose lombar.

	Nível vertebral	PE x CV		SP x PE		SP x CV	
		r	p	r	p	r	p
Cifose Torácica	C7-T12	0,931	<0,001*	0,725	0,002*	0,600	0,018*
	C7-T10	0,895	<0,001*	0,400	0,140	0,244	0,381
	T2-T12	0,921	<0,001*	0,822	<0,001*	0,679	0,005*
	T2-T10	0,884	<0,001*	0,581	0,023*	0,306	0,268
	T4-T12	0,942	<0,001*	0,853	<0,001*	0,795	<0,001*
	T4-T10	0,914	<0,001*	0,799	<0,001*	0,586	0,022
Lordose Lombar	T10-S2	0,905	<0,001*	0,925	<0,001*	0,887	<0,001*
	T10-L4	0,781	<0,001*	0,664	0,007*	0,754	0,001*
	T12-S2	0,898	<0,001*	0,927	<0,001*	0,836	<0,001*
	T12-L4	0,822	<0,001*	0,885	<0,001*	0,753	<0,001*

*correlação significativa (p<0,05)

Os valores angulares dos níveis vertebrais que apresentaram melhores resultados de correlação, tanto para a cifose torácica (T4-T12 e T2-T12) quanto para a lordose lombar (T10-S2 e T12-S2) foram plotados em um diagrama de dispersão, a partir do qual foram obtidas as equações da reta (Figuras 5 e 6). De posse dessas equações, os ângulos fornecidos pela superfície da pele poderão ser corrigidos em função do corpo vertebral e do processo espinhoso e se aproximar dos ângulos obtidos a partir das curvaturas internas, tornando a avaliação superficial mais precisa em relação à avaliação interna da coluna vertebral.

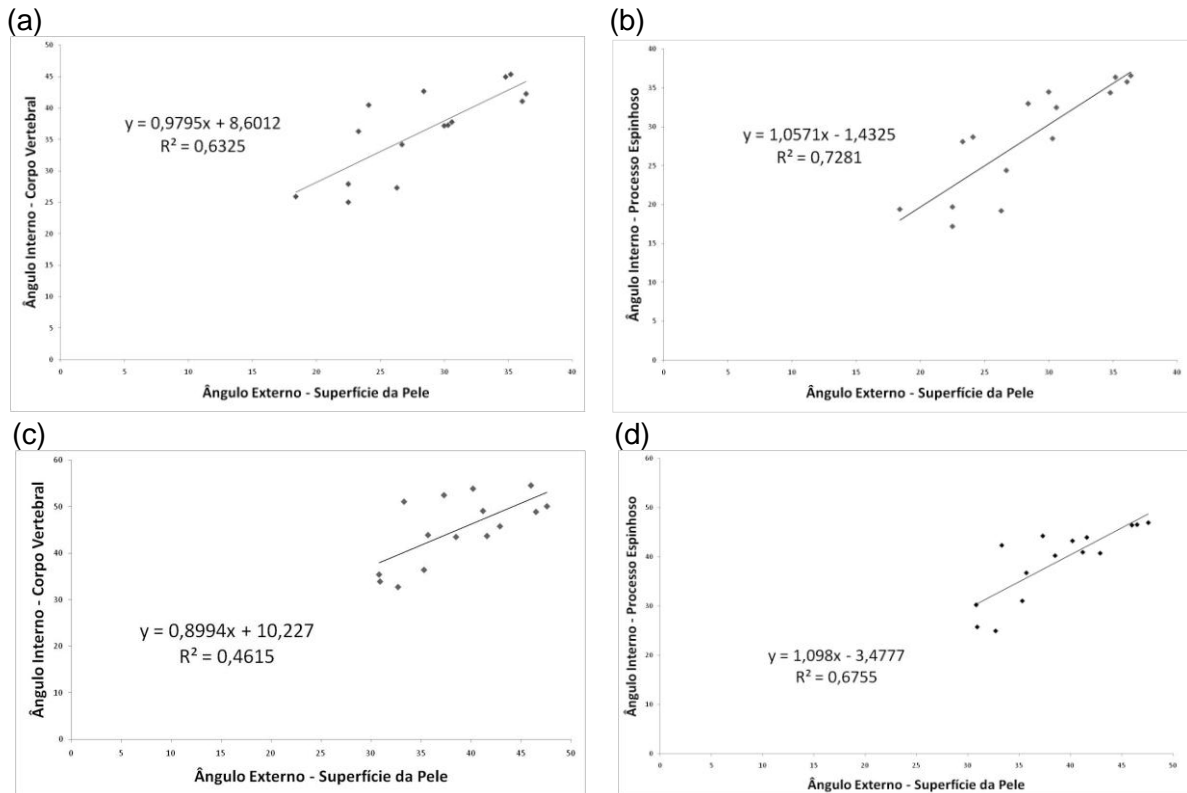


Figura 5 – Gráficos de correlação dos níveis vertebrais da cifose torácica com respectiva equação da reta. (a) T4-T12: Ângulo obtido através do corpo vertebral X Ângulo obtido através da superfície da pele. (b) T4-T12: Ângulo obtido através do processo espinhoso X Ângulo obtido através da superfície da pele. (c) T2-T12: Ângulo obtido através do corpo vertebral X Ângulo obtido através da superfície da pele. (d) T2-T12: Ângulo obtido através do processo espinhoso X Ângulo obtido através da superfície da pele.

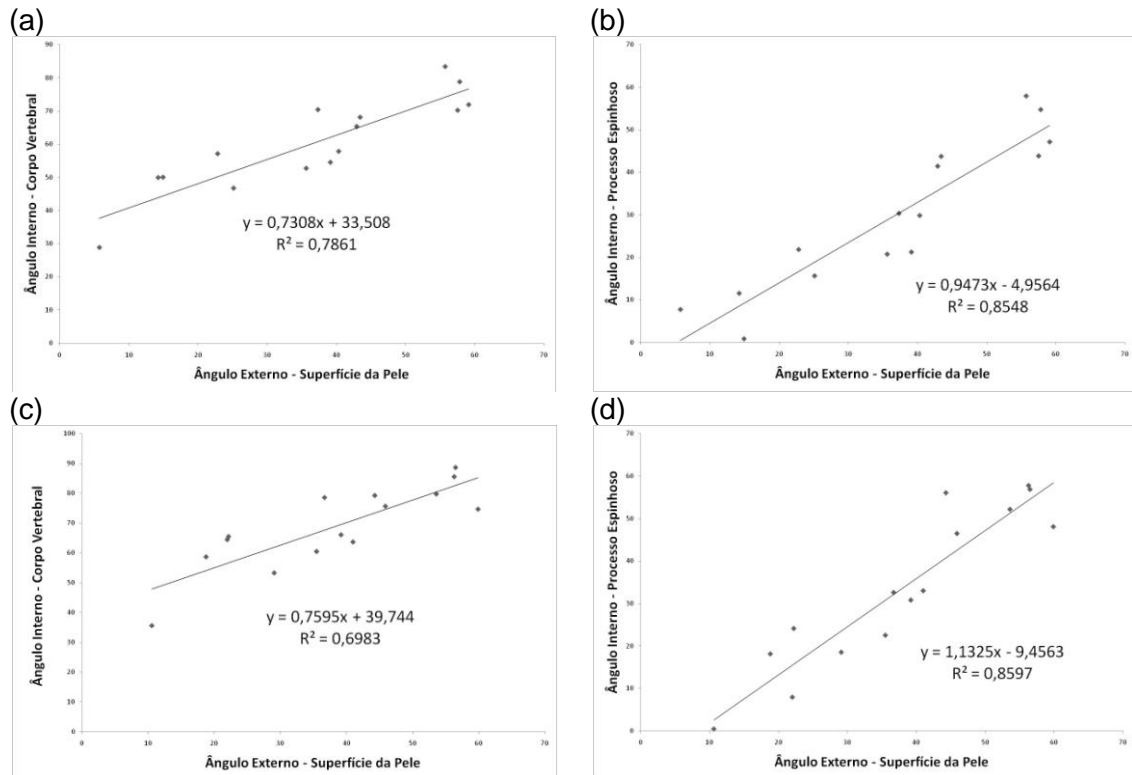


Figura 6 – Gráficos de correlação dos níveis vertebrais da lordose lombar com respectiva equação da reta. (a) T10-S2: Ângulo obtido através do corpo vertebral X Ângulo obtido através da superfície da pele. (b) T10-S2: Ângulo obtido através do processo espinhoso X Ângulo obtido através da superfície da pele. (c) T12-S2: Ângulo obtido através do corpo vertebral X Ângulo obtido através da superfície da pele. (d) T12-S2: Ângulo obtido através do processo espinhoso X Ângulo obtido através da superfície da pele.

8. DISCUSSÃO

O presente estudo teve como objetivo desenvolver, em um ambiente computacional, uma metodologia para mensurar as curvaturas sagitais (torácica e lombar) externas da coluna vertebral, a partir da superfície da pele, que seja concordante com as curvaturas internas sagitais da coluna vertebral. Os resultados demonstraram que existe correlação forte e significativa entre as três curvaturas (interna através do corpo vertebral, interna através do processo espinhoso e externa através da superfície da pele) para alguns níveis vertebrais avaliados da cifose torácica e lordose lombar. Assim, a metodologia desenvolvida parece ser capaz de avaliar a coluna vertebral através da superfície da pele, podendo ser implementada na fotogrametria.

O maior achado do presente estudo foi a forte correlação encontrada entre os valores angulares da cifose torácica entre o nível vertebral T4-T12, bem como em todos os níveis avaliados para a lordose lombar quando comparadas as curvaturas externas (SP) com as internas baseadas no baricentro do corpo vertebral (CV), confirmando a hipótese de que seria possível estimar através de pontos externos, o comportamento interno da coluna vertebral. Embora no presente estudo não tenha sido utilizado a metodologia tradicional do padrão ouro, o ângulo Cobb, e sim um cálculo angular baseado na trigonometria básica, o fato de haver correspondência entre os ângulos internos e externos representam um importante achado para a fotogrametria, a qual para fornecer um resultado preciso, necessita ser comparada ao padrão ouro (ABNT, 1988; FURLANETTO et al., 2011; PASQUALI, 2003; THOMAS e NELSON, 2002). Mesmo assim, sugere-se que um futuro estudo seja realizado, o qual possa comparar os resultados da nova metodologia proposta aos resultados fornecidos pelo método padrão ouro.

Nesse sentido cabe comentar que a fotogrametria utiliza a palpação dos processos espinhosos para avaliar a coluna vertebral no plano sagital, tendo que a partir de um único ponto na superfície da pele calcular a angulação das curvaturas. É justamente esse fato, que tem dificultado aos pesquisadores realizarem a validação de suas metodologias de avaliação da coluna vertebral pela fotogrametria. Isso porque os valores angulares calculados por um único ponto parecem não coincidir com os valores do ângulo Cobb. Ao contrário do cálculo a partir de um único ponto, o cálculo dos ângulos Cobb é realizado através de um cruzamento de

linhas que tangenciam os corpos vertebrais cranial e caudal que representam os limites da curvatura de interesse (GOH et al., 2000; HARRISON et al., 2001; MAC-THIONG et al., 2007; TAYYAB et al., 2007). Portanto, os resultados do presente estudo mostram-se promissores para a fotogrametria, uma vez que mostraram relação entre as estruturas internas e externas.

Quando se visualiza os valores angulares das três curvaturas, observam-se valores bastante discrepantes, principalmente para lordose lombar, o que poderia sugerir a priori uma falha do método proposto. Porém, a forte correlação entre os ângulos permitiu gerar uma equação de reta para cada um destes níveis vertebrais a fim de prever, a partir dos ângulos tangentes obtidos à superfície da pele, a angulação interna esperada junto ao corpo vertebral. Em outras palavras, os ângulos fornecidos pela superfície da pele podem ser corrigidos em função do corpo vertebral e do processo espinhoso e se aproximar dos ângulos obtidos a partir das curvaturas internas.

Considerando que os processos espinhosos apresentam angulações distintas relativas ao corpo vertebral de acordo com o nível vertebral (GILAD e NISSAN, 1985), uma vez que o protocolo da fotogrametria para a marcação dos pontos anatômicos baseia-se na palpação destas estruturas, entende-se que tais angulações podem influenciar negativamente o desenho das curvaturas torácica e lombar. No presente estudo, mesmo tendo obtido valores de correlação fortes entre as curvaturas CV x PE para todos os níveis vertebrais, acredita-se que estas inclinações nos processos espinhosos devem ter sido responsáveis por alguma interferência na estimativa da localização dos corpos vertebrais a partir dos processos espinhosos. Ou seja, seria desejado uma correlação muito próxima a 1, uma vez que se está comparando dois pontos pertencentes a mesma estrutura óssea (baricentro do corpo vertebral vs. ápice do processo espinhoso). O fato de alguns níveis vertebrais não ter apresentado correlação “muito forte”, sugere que as inclinações e/ou o comprimento dos respectivos processos espinhosos terem sido acima da média, quando comparados aos outros processos espinhosos, suscetível assim, a perturbações no resultado da rotina de cálculos. Assim, nesse sentido, sugere-se um futuro estudo que seja capaz de avaliar essas inclinações e as suas influências na avaliação a partir da superfície das costas.

Ainda, quando se compara as curvaturas a partir da superfície da pele e do processo espinhoso é possível especular, qualitativamente, no exame de Raios-X

que a massa adiposa de cada indivíduo poderá influenciar negativamente na estimativa de localização do processo espinhoso. Assim, sugere-se a realização de outros estudos que valorizassem a prega cutânea em cada nível vertebral. Se essa possibilidade for levada em conta, tais valores poderiam ser inseridos na rotina matemática aquando da digitalização dos pontos, onde a mesma iria realizar um cálculo acessório de correção para desconsiderar ao máximo tal fator perturbador, e assim, quiçá melhorar a correlação entre SP x CV.

Tem sido sugerido, ainda, que a fotogrametria sirva apenas para desenhar o contorno do tronco, uma vez que é capaz de oferecer informações diferentes àquela obtida através de um exame de Raios-X (SAAD et al., 2011). Entretanto, a metodologia desenvolvida no presente estudo para mensurar as curvaturas sagitais torácica e lombar da coluna vertebral tem o intuito de subsidiar um software de avaliação postural, onde a intenção é, justamente, realizar uma avaliação externa, predizendo o posicionamento interno dos corpos vertebrais. Caso, de fato, essa metodologia possa vir a ser implementada, acredita-se que o entendimento da fotogrametria e seu alcance na avaliação da coluna vertebral poderão ser modificados.

Muitos softwares de avaliação postural não apresentam de forma clara como são efetuados os cálculos que levam à obtenção de um ângulo ou medida linear (IUNES et al., 2009; SILVEIRA et al., 2010; WATSON, 2001) na avaliação da coluna vertebral. Por vezes, a não correspondência com o exame de Raios-X acaba por levar muitos pesquisadores a abandonarem este instrumento. Não obstante, muitos destes instrumentos que se propõem a avaliar a coluna a partir de pontos anatômicos externos, não se preocupam em estabelecer uma relação com as estruturas internas da coluna vertebral. O conhecimento do funcionamento de um instrumento é fundamental para o aprimoramento do mesmo através de críticas e sugestões provenientes da comunidade científica.

9. CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou que é possível estimar, através de pontos externos junto à superfície da pele, o comportamento interno dos corpos vertebrais e processos espinhosos de diversos níveis vertebrais com a utilização de equações matemáticas. Entretanto, se reconhece que ainda há muito a ser desenvolvido para aperfeiçoar a metodologia desenvolvida.

10. REFERÊNCIAS

- ABNT. *Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 10536). Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)*. [S.l.: s.n.], 1988.
- ALLEN, S. et al. Validity and reliability of active shape models for the estimation of Cobb angle in patients with adolescent idiopathic scoliosis. *Journal of digital imaging*, v. 21, n. 2, p. 208–18, doi:10.1007/s10278-007-9026-7, 2008.
- AMSTERS, D. e NITZ, J. The consequences of increasing age and duration of injury upon the wheelchair posture of men with tetraplegia. *International journal of rehabilitation research. Internationale Zeitschrift für Rehabilitationsforschung. Revue internationale de recherches de réadaptation*, v. 29, n. 4, p. 347–9, doi:10.1097/MRR.0b013e328010f540, 2006.
- ANNETTS, S. et al. A pilot investigation into the effects of different office chairs on spinal angles. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, v. 21 Suppl 2, p. S165–70, doi:10.1007/s00586-012-2189-z, 2012.
- BELLI, J. F. C. et al. Analysis of body posture in children with mild to moderate asthma. *European journal of pediatrics*, v. 168, n. 10, p. 1207–16, doi:10.1007/s00431-008-0911-y, 2009.
- BRIGGS, a. M. et al. Radiographic measures of thoracic kyphosis in osteoporosis: Cobb and vertebral centroid angles. *Skeletal Radiology*, v. 36, n. 8, p. 761–767, doi:10.1007/s00256-007-0284-8, 2007.
- CAMPBELL-KYUREGHYAN, N. et al. The prediction of lumbar spine geometry: method development and validation. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)*, v. 20, n. 5, p. 455–64, doi:10.1016/j.clinbiomech.2005.01.006, 2005.
- CARMAN, D. L.; BROWNE, R. H. e BIRCH, J. G. Measurement of scoliosis and kyphosis radiographs. Intraobserver and interobserver variation. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, v. 72, p. 328–333, 1990.
- CELAN, D. et al. Measurement of spinal sagittal curvatures using the laser triangulation method. *Collegium antropologicum*, v. 36, p. 179–86, 2012.
- CHAISE, F. O. et al. Validation, repeatability and reproducibility of a noninvasive instrument for measuring thoracic and lumbar curvature of the spine in the sagittal plane. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, v. 15, n. 6, p. 511–517, 2011.
- CHEN, Y. Vertebral centroid measurement of lumbar lordosis compared with the Cobb technique. *Spine*, v. 24, n. 17, p. 1786–1790, 1999.
- CHENG, H.-Y. K. et al. The effect of lower body stabilization and different writing tools on writing biomechanics in children with cerebral palsy. *Research in*

developmental disabilities, v. 34, n. 4, p. 1152–9, doi:10.1016/j.ridd.2012.12.019, 2013.

CHRISTIE, H. J. et al. Postural Aberrations in Low Back Pain. v. 76, n. March, p. 218–224, 1995.

CZAPROWSKI, D. et al. Intra- and interobserver repeatability of the assessment of anteroposterior curvatures of the spine using Saunders digital inclinometer. *Ortopedia, traumatologia, rehabilitacja*, v. 14, n. 2, p. 145–53, doi:10.5604/15093492.992283, 2012.

D'OSUALDO, F. D. et al. New tridimensional approach to the evaluation of the spine through surface measurement: the BACES system. *Journal of medical Engineering & Technology*, v. 26, n. 3, p. 95–105, doi:10.1080/0309190011011438, 2002.

D'OSUALDO, F.; SCHIERANO, S. e IANNIS, M. *Validation of clinical measurement of kyphosis with a simple instrument, the arcometer*. *Spine*. [S.l.: s.n.], 1997.

DOODY, M. M. et al. Breast cancer mortality after diagnostic radiography: findings from the U.S. Scoliosis Cohort Study. *Spine*, v. 25, n. 16, p. 2052–2063, 2000.

DUNK, N. M.; LALONDE, J. e CALLAGHAN, J. P. Implications for the use of postural analysis as a clinical diagnostic tool: reliability of quantifying upright standing spinal postures from photographic images. *Journal of manipulative and physiological therapeutics*, v. 28, n. 6, p. 386–92, doi:10.1016/j.jmpt.2005.06.006, 2005.

DUNLEAVY, K. et al. Reliability and minimal detectable change of spinal length and width measurements using the Flexicurve for usual standing posture in healthy young adults. *Journal of back and musculoskeletal rehabilitation*, v. 23, n. 4, p. 209–14, doi:10.3233/BMR-2010-0269, 2010.

EDMONDSTON, S. J. et al. Functional radiographic analysis of thoracic spine extension motion in asymptomatic men. *Journal of manipulative and physiological therapeutics*, v. 35, n. 3, p. 203–208, doi:10.1016/j.jmpt.2012.01.008, 2012.

FERREIRA, E. A. G. et al. Postural assessment software (PAS/SAPO): Validation and reliability. *Clinics (São Paulo, Brazil)*, v. 65, n. 7, p. 675–81, doi:10.1590/S1807-59322010000700005, 2010.

FORTIN, C. et al. Validity of a quantitative clinical measurement tool of trunk posture in idiopathic scoliosis. *Spine*, v. 35, n. 19, p. E988–94, doi:10.1097/BRS.0b013e3181cd2cd2, 2010.

FORTIN, C. et al. Reliability of a quantitative clinical posture assessment tool among persons with idiopathic scoliosis. *Physiotherapy*, v. 98, n. 1, p. 64–75, doi:10.1016/j.physio.2010.12.006, 2012.

FORTIN, C. et al. Differences in standing and sitting postures of youth with idiopathic scoliosis from quantitative analysis of digital photographs. *Physical & occupational*

therapy in pediatrics, v. 33, n. 3, p. 313–26, doi:10.3109/01942638.2012.747582, 2013.

FURLANETTO, T. S. et al. Fidedignidade de um protocolo de avaliação postural. *Revista da Educação Física/UEM*, v. 22, n. 3, p. 411–419, doi:10.4025/reveducfis.v22i3.10124, 2011.

FURLANETTO, T. S. et al. Validating a postural evaluation method developed using a Digital Image-based Postural Assessment (DIPA) software. *Computer methods and programs in biomedicine*, v. 108, n. 1, p. 203–12, doi:10.1016/j.cmpb.2012.03.012, 2012.

GILAD, I. e NISSAN, M. Sagittal evaluation of elemental geometrical dimensions of human vertebrae. *J. Anat.*, v. 142, p. 115–120, 1985.

GOH, S. et al. A comparison of three methods for measuring thoracic kyphosis: implications for clinical studies. *Rheumatology (Oxford, England)*, v. 39, p. 310–315, 2000.

GREENDALE, G. a et al. The reliability and validity of three non-radiological measures of thoracic kyphosis and their relations to the standing radiological Cobb angle. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, v. 22, n. 6, p. 1897–905, doi:10.1007/s00198-010-1422-z, 2011.

GSTOETTNER, M. et al. Inter- and intraobserver reliability assessment of the Cobb angle: Manual versus digital measurement tools. *European Spine Journal*, v. 16, p. 1587–1592, doi:10.1007/s00586-007-0401-3, 2007.

HARRISON, D. E. et al. Radiographic analysis of lumbar lordosis: centroid, Cobb, TRALL, and Harrison posterior tangent methods. *Spine*, v. 26, p. E235–E242, doi:10.1097/00007632-200106010-00002, 2001.

HARRISON, D. E. et al. Validation of a computer analysis to determine 3-D rotations and translations of the rib cage in upright posture from three 2-D digital images. *European Spine Journal*, v. 16, p. 213–218, doi:10.1007/s00586-006-0081-4, 2007.

HINMAN, M. R. Interrater reliability of flexicurve postural measures among novice users. v. 17, p. 33–36, 2004.

IUNES, D. H. et al. Craniocervical posture analysis in patients with temporomandibular disorder. *Rev. Bras. Fisioter*, v. 13, n. 1, p. 89–95, 2009.

IUNES, D. H. et al. Análise quantitativa do tratamento da escoliose idiopática com o método Klapp por meio da biofotogrametria computadorizada. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, v. 14, p. 133–140, doi:10.1590/S1413-35552010005000009, 2010.

KADO, D. M. et al. Comparing a supine radiologic versus standing clinical measurement of kyphosis in older women: the Fracture Intervention Trial. *Spine*, v. 31, n. 4, p. 463–7, doi:10.1097/01.brs.0000200131.01313.a9, 2006.

KNOTT, P. et al. Electromagnetic topographical technique of curve evaluation for adolescent idiopathic scoliosis. *Spine*, v. 31, n. 24, p. E911–E915; discussion E916, 2006.

KOROVESSIS, P. et al. Prediction of Thoracic Kyphosis Using the Debrunner Kyphometer. *Journal of Spinal Disorders*, v. 14, n. 1, p. 67–72, doi:10.1097/00002517-200102000-00010, 2001.

KOVAC, V. e PEĆINA, M. Moiré topography in measurement of the sagittal curvatures of the spine. *Collegium antropologicum*, v. 23, n. 1, p. 153–158, 1999.

LEROUX, M. A. et al. A Noninvasive Anthropometric Technique for Measuring Kyphosis and Lordosis An Application for Idiopathic Scoliosis. v. 25, n. 13, p. 1689–1694, 2000.

LEROUX, M. A. et al. Estimated Kyphosis and Lordosis Changes at Follow-Up in Patients With Idiopathic Scoliosis. p. 73–79, 2002.

LEWIS, J. S. e VALENTINE, R. E. Clinical measurement of the thoracic kyphosis. A study of the intra-rater reliability in subjects with and without shoulder pain. *BMC musculoskeletal disorders*, v. 11, p. 39, doi:10.1186/1471-2474-11-39, 2010.

MAC-THIONG, J. M. et al. Comparison between constrained and non-constrained Cobb techniques for the assessment of thoracic kyphosis and lumbar lordosis. *European Spine Journal*, v. 16, p. 1325–1331, doi:10.1007/s00586-007-0314-1, 2007.

MASSO, P. D. e GORTON, G. E. Quantifying changes in standing body segment alignment following spinal instrumentation and fusion in idiopathic scoliosis using an optoelectronic measurement system. *Spine*, v. 25, p. 457–462, doi:10.1097/00007632-200002150-00011, 2000.

MILANESI, J. M. et al. Impact of the mouth breathing occurred during childhood in the adult age: biophotogrammetric postural analysis. *International journal of pediatric otorhinolaryngology*, v. 75, n. 8, p. 999–1004, doi:10.1016/j.ijporl.2011.04.018, 2011.

MITCHELL, J.; NESS, D. e WHITELOCK, S. A new method of measuring the degree of lumbar spine curvature in pregnant women. *Physiotherapy*, v. 48, n. 4, p. 51–55, 1992.

MUNHOZ, W. C.; MARQUES, A. P. e SIQUEIRA, J. T. T. De. Evaluation of Body Posture in Individuals With Internal Temporomandibular Joint Derangement. *The Journal of Craniomandibular Practice*, v. 23, n. 4, p. 269–278, 2005.

NG, J. K.; KIPPERS, V. e RICHARDSON, C. A. Range of Motion and Lordosis of the Lumbar Spine Reliability of Measurement and Normative Values. v. 26, n. 1, p. 53–60, 2001.

NORMAND, M. C. et al. Three dimensional evaluation of posture in standing with the PosturePrint: an intra- and inter-examiner reliability study. *Chiropractic & osteopathy*, v. 15, p. 15, doi:10.1186/1746-1340-15-15, 2007.

O’SULLIVAN, P. B. et al. The relationship between posture and back muscle endurance in industrial workers with flexion-related low back pain. *Manual therapy*, v. 11, n. 4, p. 264–71, doi:10.1016/j.math.2005.04.004, 2006.

OLIVEIRA, T. S. et al. Validity and reproducibility of the measurements obtained using the flexicurve instrument to evaluate the angles of thoracic and lumbar curvatures of the spine in the sagittal plane. *Rehabilitation research and practice*, v. 2012, p. 186156, doi:10.1155/2012/186156, 2012.

PASQUALI, L. *Psicometria: teoria dos testes na psicologia e na educação*. Rio de Janeiro: Vozes, 2003.

PAUSIĆ, J.; PEDISIĆ, Z. e DIZDAR, D. Reliability of a photographic method for assessing standing posture of elementary school students. *Journal of manipulative and physiological therapeutics*, v. 33, n. 6, p. 425–31, doi:10.1016/j.jmpt.2010.06.002, 2010.

PERRIMAN, D. M. et al. Validation of the Flexible Electrogoniometer for Measuring Thoracic Kyphosis. v. 35, n. 14, p. 633–640, 2010.

PEZZAN, P. A. de O. et al. Postural assessment of lumbar lordosis and pelvic alignment angles in adolescent users and nonusers of high-heeled shoes. *Journal of manipulative and physiological therapeutics*, v. 34, n. 9, p. 614–21, doi:10.1016/j.jmpt.2011.09.006, 2011.

RAINE, S. e TWOMEY, L. T. Validation of a Non-Invasive Method of Measuring the Surface Curvature of the Erect Spine. *Journal of Manual & Manipulative Therapy*, v. 2, n. 1, p. 11–21, doi:10.1179/jmt.1994.2.1.11, 1994.

RAINE, S. e TWOMEY, L. T. Head and Shoulder Posture Variations Women and Men. v. 78, n. November, 1997.

RAJABI, R.; SEIDI, F. e MOHAMADI, F. Which method is accurate when using the flexible ruler to measure the lumbar curvature angle? deep point or mid point of arch. *World Applied Sciences Journal*, v. 4, n. 6, p. 849–852, 2008.

RODRIGUES, A. C. C.; ROMEIRO, C. A. P. e PATRIZZI, L. J. Evaluation of thoracic kyphosis in older adult women with osteoporosis by means of computerized biophotogrammetry. *Rev. Bras. Fisioter*, v. 13, n. 3, p. 205–209, 2009.

- SAAD, K. R. et al. Reliability of photogrammetry in the evaluation of the postural aspects of individuals with structural scoliosis. *Journal of bodywork and movement therapies*, v. 16, n. 2, p. 210–6, doi:10.1016/j.jbmt.2011.03.005, 2011.
- SILVEIRA, W. Da et al. Postural alterations and pulmonary function of mouth-breathing children. v. 76, n. 6, p. 683–686, 2010.
- SINGER, K. P.; JONES, T. J. e BREIDAHN, P. D. A comparison of radiographic and computer-assisted measurements of thoracic and thoracolumbar sagittal curvature. *Skeletal Radiology*, v. 19, p. 21–26, 1990.
- SINGH, D. K.; BAILEY, M. e LEE, R. Biplanar measurement of thoracolumbar curvature in older adults using an electromagnetic tracking device. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, v. 91, n. 1, p. 137–42, doi:10.1016/j.apmr.2009.08.145, 2010.
- SMITH, A.; O’SULLIVAN, P. e STRAKER, L. Classification of sagittal thoraco-lumbo-pelvic alignment of the adolescent spine in standing and its relationship to low back pain. *Spine*, v. 33, p. 2101–2107, doi:10.1097/BRS.0b013e31817ec3b0, 2008.
- STOKES, I. A. e MORELAND, M. S. Concordance of back surface asymmetry and spine shape in idiopathic scoliosis. *Spine*, v. 14, p. 73–78, doi:10.1097/00007632-198901000-00015, 1989.
- STRAKER, L. M. et al. Relationships between prolonged neck/shoulder pain and sitting spinal posture in male and female adolescents. *Manual therapy*, v. 14, n. 3, p. 321–9, doi:10.1016/j.math.2008.04.004, 2009.
- TAYYAB, N. a et al. The reliability and diagnostic value of radiographic criteria in sagittal spine deformities: comparison of the vertebral wedge ratio to the segmental Cobb angle. *Spine*, v. 32, n. 16, p. E451–E459, 2007.
- TEIXEIRA, F. A. e CARVALHO, G. A. RELIABILITY AND VALIDITY OF THORACIC KYPHOSIS MEASUREMENTS USING THE FLEXICURVE METHOD. *Rev. Bras. Fisioter*, v. 11, n. 3, p. 173–177, 2007.
- THOMAS, J. e NELSON, J. *Métodos de pesquisa em atividade física*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2002.
- WATSON, A. W. Sports injuries related to flexibility, posture, acceleration, clinical defects, and previous injury, in high-level players of body contact sports. *International journal of sports medicine*, v. 22, n. 3, p. 222–5, doi:10.1055/s-2001-16383, 2001.
- WEBER, P. et al. Craniocervical posture : cephalometric and biophotogrammetric analysis. v. 11, n. 3, p. 416–421, 2012.
- YANG, S.; JONES-QUAIDOO, S. e EAGER, M. Right adolescent idiopathic thoracic curve (Lenke 1 A and B): does cost of instrumentation and implant density improve radiographic and cosmetic parameters? *European Spine ...*, 2011.

ZAINA, F. et al. *Review of rehabilitation and orthopedic conservative approach to sagittal plane diseases during growth: Hyperkyphosis, junctional kyphosis, and Scheuermann disease. European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine.* [S.l: s.n.], 2009.

ZAINA, F. et al. How to measure kyphosis in everyday clinical practice: a reliability study on different methods. *Research Into Spinal Deformities* 8, p. 1–4, 2012.

APÊNDICE A – AUTORIZAÇÃO PARA UTILIZAÇÃO DO BANCO DE DADOS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA

AUTORIZAÇÃO

Nós os professores Cláudia Tarragô Candotti e Jefferson Fagundes Loss, ambos da Escola de Educação Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pesquisadores responsáveis pelo Banco de Dados gerado no projeto de pesquisa "Organização de um serviço de baixa complexidade para avaliação das curvaturas da coluna vertebral da população do distrito Glória-Cruzeiro-Cristal/POA-RS", aprovado no CEP-UFRGS sob o número 19685 em 03/01/2012, autorizamos a utilização das imagens radiográficas desse Banco de Dados para o desenvolvimento do projeto de pesquisa "Método de avaliação das curvaturas sagitais da coluna vertebral em um ambiente computacional", sob responsabilidade do primeiro professor acima nominado. Informamos que na cedência do Banco de dados as imagens radiográficas serão fornecidas sem a identificação dos participantes.

Porto Alegre, 20 de julho de 2014.



Prof.a. Cláudia Tarragô Candotti



Prof. Jefferson Fagundes Loss