

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA, FISIOTERAPIA E DANÇA  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO HUMANO

Luiza Rampi Pivotto

**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE MODELOS DE PREDIÇÃO DA  
CURVATURA DA COLUNA CERVICAL DE ADULTOS A PARTIR DE MEDIÇÕES  
NA SUPERFÍCIE DA PELE**

Porto Alegre

2020

Luiza Rampi Pivotto

**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE MODELOS DE PREDIÇÃO DA  
CURVATURA DA COLUNA CERVICAL DE ADULTOS A PARTIR DE MEDIÇÕES  
NA SUPERFÍCIE DA PELE**

Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Dança da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientadora Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Cláudia Tarragô Candotti

Porto Alegre

2020

#### CIP - Catalogação na Publicação

Rampi Pivotto, Luiza  
Desenvolvimento e validação de modelos de predição da curvatura da coluna cervical de adultos a partir de medições na superfície da pele / Luiza Rampi Pivotto.  
-- 2020.  
75 f.  
Orientadora: Cláudia Tarragô Candotti.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Educação Física, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano, Porto Alegre, BR-RS, 2020.

1. Vértebras cervicais. 2. Lordose. 3. Modelos estatísticos. 4. Estudos de validação. 5. Radiografia. I. Tarragô Candotti, Cláudia, orient. II. Título.

## **AGRADECIMENTOS**

Durante os 27 meses que se passaram para a construção dessa etapa da minha formação, algumas pessoas e momentos foram imprescindíveis para que eu pudesse concluir o mestrado. Não posso deixar de agradecer cada uma dessas pessoas. Algumas pelo inventivo e suporte, outras pela ajuda e parceria, pela orientação, carinho, atenção, e tantas outras formas de apoio que recebi. Cada uma foi fundamental e única ao longo desse processo que envolveu muitos momentos de aprendizado e crescimento.

Gostaria de agradecer de forma especial, eterna e de coração: meus pais, Jorge e Nelsa; meu irmão, André; minha (mais que) orientadora, magnânima professora Cláudia Candotti; todos os meus colegas do (super) Grupo BIOMECC, em especial a Isis Navarro que conduziu comigo o Capítulo 1, e a Ingrid Santos que colaborou com o Capítulo 2; o André Mello; e a banca examinadora, professora Flávia Martinez, professor Jefferson Loss, e professora Mônica Melo.

Também gostaria de agradecer imensamente: os meus professores; todos os meus amigos, de São Jorge, de apartamento, da faculdade, da Acquaticus, da vida; os voluntários que participaram da coleta que compôs o banco de dados; o Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano; os funcionários da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Dança, em especial do Laboratório de Pesquisa do Exercício; a Universidade Federal do Rio Grande do Sul; e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

Esse trabalho também é de vocês. Muito obrigada!

## RESUMO

A coluna cervical (CC) pode ser avaliada por meio de técnicas invasivas e não-invasivas. A radiografia é um exemplo de técnica de avaliação invasiva, pois expõe o avaliado à radiação durante o exame, apesar de ser considerada padrão ouro. As técnicas de avaliação não-invasivas, como a fotogrametria, destinam-se a informar indiretamente a postura da coluna. Existem vários métodos baseados em radiografia e fotogrametria para avaliar a postura da CC no plano sagital. No entanto, avaliações a partir da radiografia e da fotogrametria apresentam uma diferença metodológica importante quanto às estruturas anatômicas avaliadas, dificultando a validação concorrente da fotogrametria. O foco dessa dissertação é identificar se existe a possibilidade de estimar a curvatura da CC no plano sagital a partir da superfície da pele, de forma acurada e precisa. Para contemplar esse objetivo, dois estudos foram realizados. O **Estudo 1** é uma revisão sistemática com meta-análise que objetivou identificar quais métodos baseados em radiografia e fotogrametria usados para avaliar a postura da CC no plano sagital são válidos e/ou confiáveis. Vinte e um estudos foram incluídos e 20 métodos de avaliação da CC no plano sagital foram encontrados: 16 métodos baseados em radiografia e quatro baseados em fotogrametria. Dois estudos incluíram medidas de validação, 16 estudos avaliaram a confiabilidade inter-avaliador, e 17 estudos a confiabilidade intra-avaliador. A meta-análise mostrou que os métodos baseados em fotogrametria flecha cervical e lordose cervical apresentaram confiabilidade intra-avaliador muito alta; e que os métodos baseados em radiografia método Cobb (C2 inferior - C7 inferior), método Cobb (C1 médio - C7 inferior), ângulo de rotação absoluta, e ângulo de Gore (C2-C7) apresentaram confiabilidade inter-avaliador muito alta, e o método Cobb (C2 inferior - C7 inferior) e ângulo de rotação absoluta apresentaram confiabilidade intra-avaliador muito alta. No entanto, os resultados apresentaram alta heterogeneidade e/ou poucos estudos foram incluídos nas análises. Em relação à validade, sugere-se que novos estudos sejam realizados. O **Estudo 2** teve como objetivo desenvolver e validar um modelo para estimar a curvatura sagital da CC a partir da superfície da pele de adultos. O estudo foi dividido em duas etapas: (1) desenvolvimento dos modelos de predição e (2) validação dos modelos. Um banco de dados de radiografias da CC no plano sagital foi utilizado. A avaliação das radiografias foi realizada a partir de uma rotina matemática que, através da digitalização de pontos, calculou seis ângulos: ângulo C2-C7 e C3-C7 calculados a partir dos centroides dos corpos vertebrais (LCce), dos processos espinhosos (LCpe) e da superfície da pele (LCsp). A etapa 1 foi dividida em duas partes. Na etapa 1a, os ângulos C2-C7 e C3-C7 calculados a partir da LCce, da LCpe (eixo y) e da LCsp (eixo x) foram plotados em gráficos de dispersão, de onde foram obtidos os modelos de predição por meio de Regressão Linear Simples. Na etapa 1b, o mesmo procedimento foi realizado, mas a amostra foi dividida em cinco grupos, de acordo com o tipo de alinhamento da CC. Os modelos desenvolvidos na etapa 1 em que (1) o ajuste sem o previsor foi diferente do ajuste com o previsor, e (2) os Coeficientes de Determinação foram maiores que 0,4, passaram para a etapa 2. Na etapa 2, a validação dos modelos foi avaliada utilizando: (1) Coeficiente de Correlação Produto-Momento de Pearson (R); (2) Erro RMS; e (3) Análise de Bland e Altman. 55 radiografias preencheram os critérios de elegibilidade. Nenhum modelo da etapa 1a passou para a etapa 2. Dois modelos da etapa 1b passaram para a etapa 2. O modelo criado a partir do GC apresentou os melhores resultados de validação. No entanto, os valores do ângulo real e do estimado a partir desse modelo apresentaram correlação muito baixa e não estatisticamente significativa ( $r = -0,229$ ;  $p = 0,332$ ) e o Erro RMS foi alto (34,2°).

**Palavras-chave:** Vértebras Cervicais, Lordose, Fotogrametria, Radiografia, Modelos Estatísticos, Estudos de Validação.

## ABSTRACT

The cervical spine (CS) can be assessed using invasive and non-invasive techniques. Radiography is a type of invasive assessment technique because it exposes the subject to radiation during the exam, despite which it is considered the gold standard exam. Noninvasive assessment techniques, such as photogrammetry, are intended to indirectly inform spinal posture. There are numerous radiography and photogrammetry-based methods of assessing the CS posture in the sagittal plane. However, radiography and photogrammetry-based methods of assessment present an important methodological difference regarding the anatomical structures evaluated, making photogrammetry concurrent validation difficult. In this sense, the focus of this dissertation is to identify if there is a possibility of estimating the CS curvature in the sagittal plane from the skin surface, in an accurate and precise way. Two studies were carried out to contemplate this objective. **Study 1** is a systematic review with meta-analysis that aimed to identify which radiography and photogrammetry-based methods used to assess the CS posture in the sagittal plane are valid and/or reliable. Twenty-one studies were included and 20 different methods of calculating CS posture in the sagittal plane were found: 16 radiography-based methods and four photogrammetry-based methods. Two studies included validation measures, 16 studies assessed inter-rater reliability, and 17 studies assessed intra-rater reliability. The meta-analysis shows that the cervical arrow and cervical lordosis photogrammetry-based methods present very high intra-rater reliability; and the Cobb method (inferior C2 - inferior C7), Cobb method (middle C1 - inferior C7), absolute rotation angle, and Gore angle (C2-C7) radiography-based methods present very high inter-rater reliability, and the Cobb method (inferior C2 - inferior C7) and absolute rotation angle radiography-based methods present very high intra-rater reliability. However, the results showed high heterogeneity and/or few studies were included in the analyzes. Regarding validity, it is suggested that further studies be carried out. **Study 2** aimed to develop and validate a model to estimate the sagittal curvature of the CS from the skin surface of adults. The study was divided into two steps: (1) prediction models development and (2) model validation. A database of CS radiographs in the sagittal plane was used. Radiographs assessment was performed from a mathematical routine that, through the digitization of points, calculated six angles: angle C2-C7 and C3-C7 calculated from the centroid of the vertebral bodies (LCce), of the spinous processes (LCpe) and the skin surface (LCsp). Step 1 was divided into two parts. In step 1a, the angles C2-C7 and C3-C7 calculated from LCce, LCpe (y-axis) and LCsp (x-axis) were plotted on scatter plots, from which the prediction models were obtained using Simple Linear Regression. In step 1b, the same procedure was performed, but the sample was divided into five groups, according to the type of CS alignment. The models developed in step 1 in which (1) the adjustment without the predictor was different from the adjustment with the predictor, and (2) the Determination Coefficients were greater than 0.4, passed to step 2. In step 2, the model validation was assessed using: (1) Pearson's Product-Moment Correlation Coefficient ( $r$ ); (2) RMS Error; and (3) Bland and Altman Analysis. 55 radiographs met the eligibility criteria. No model from step 1a passed to step 2. Two models from step 1b passed to step 2. The model created from the GC showed the best validation results. However, the real and estimated angle values from this model showed a very low and not statistically significant correlation ( $r = -0.229$ ;  $p = 0.332$ ) and the RMS Error was high ( $34.2^\circ$ ).

**Key words:** Cervical Vertebrae, Lordosis, Photogrammetry, Radiography, Statistical Models, Validation Study.

## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO 1: RADIOGRAPHY AND PHOTOGRAMMETRY-BASED METHODS OF ASSESSING CERVICAL SPINE POSTURE IN THE SAGITTAL PLANE: A SYSTEMATIC REVIEW WITH META-ANALYSIS.....</b>	<b>13</b>
ABSTRACT .....	13
1. INTRODUCTION .....	14
2. METHODS.....	15
2.1 Study Design .....	15
2.2 Search Strategies .....	15
2.3 Eligibility Criteria.....	16
2.4 Study Selection and Data Extraction .....	16
2.5 Quality Assessment .....	17
2.6 Statistical Analysis .....	17
3. RESULTS.....	18
3.1 Qualitative analysis .....	18
3.1.1 Photogrammetry.....	24
3.1.2 Radiography.....	25
3.1.3 Intra-rater reliability.....	26
3.1.4 Inter-rater reliability.....	27
3.1.5 Validity.....	28
3.2 Quantitative Analysis .....	28
4. DISCUSSION.....	31
5. CONCLUSION.....	36
REFERENCES .....	37
<b>CAPÍTULO 2: É POSSÍVEL DESENVOLVER E VALIDAR UM MODELO DE PREDIÇÃO DA COLUNA CERVICAL NO PLANO SAGITAL A PARTIR DA SUPERFÍCIE DA PELE DE ADULTOS? .....</b>	<b>41</b>
RESUMO .....	41
ABSTRACT .....	42
1. INTRODUÇÃO .....	43
2. MÉTODOS.....	43
2.1 Análise das radiografias.....	45
2.2 Desenvolvimento dos modelos de predição: Etapa 1a .....	47
2.3 Desenvolvimento dos modelos de predição: Etapa 1b .....	48
2.4 Validação dos modelos de predição: Etapa 2.....	50
3. RESULTADOS .....	52

3.1 Descrição da amostra.....	52
3.2 Desenvolvimento dos modelos de predição: Etapa 1a .....	53
3.3 Desenvolvimento dos modelos de predição: Etapa 1b .....	54
3.4 Validação dos modelos de predição: Etapa 2.....	61
4. DISCUSSÃO .....	63
5. CONCLUSÃO .....	67
REFERÊNCIAS .....	68

<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>70</b>
<b>DIFICULDADES E LIMITAÇÕES.....</b>	<b>71</b>
<b>PERSPECTIVAS .....</b>	<b>72</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>76</b>



## APRESENTAÇÃO

Uma das linhas de pesquisa do Grupo de Investigação da Mecânica do Movimento (BIOMECH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) é o desenvolvimento de métodos válidos e confiáveis de avaliação da postura corporal.

Nessa dissertação, o foco foi aprofundar a investigação da avaliação da coluna cervical, especificamente no plano sagital. Essa estrutura apresenta sete vértebras, fornece suporte para a cabeça, pode ser muito móvel, e frequentemente é queixa de dor. A avaliação adequada da coluna cervical pode auxiliar na tomada de decisão clínica de um profissional da saúde e ser utilizada em ambiente de pesquisa.

O trabalho foi conduzido na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Dança (ESEFID) da UFRGS e está organizado da seguinte forma: (1) introdução; (2) dois capítulos; (3) considerações finais; (4) dificuldades e limitações; (5) perspectivas; e (6) referências utilizadas na introdução. Ressalta-se que os Capítulos 1 e 2 estão em formato de artigo e estão organizados da seguinte forma: (1) resumo; (2) introdução; (3) métodos; (4) resultados; (5) discussão; (6) conclusão; e (7) referências.

O Capítulo 1 contém uma revisão sistemática com meta-análise. O artigo foi submetido na revista *Gait & Posture* em abril de 2020 e já foi revisado por pares, corrigido e reenviado à revista.

O Capítulo 2 contém um estudo observacional, retrospectivo e de desenvolvimento e validação de um modelo de predição diagnóstico. O estudo utilizou um banco de dados do Grupo BIOMECH, sob a responsabilidade da coordenadora do grupo e a sua utilização foi aprovada (Anexo 1). Pretende-se submeter o artigo na revista *Gait & Posture*.

## INTRODUÇÃO

A coluna cervical apresenta sete vértebras. A terceira (C3), a quarta (C4), a quinta (C5) e a sexta (C6) apresentam uma estrutura anatômica padrão que caracteriza a região. As típicas vértebras cervicais exibem corpos pequenos, são largas, tem bordas anteriores convexas e bordas posteriores planas a côncavas. Seus processos espinhosos são bífidos e direcionados posteriormente e ligeiramente para baixo (PANJABI *et al.*, 1991).

A primeira (C1), a segunda (C2) e a sétima vértebra cervical (C7) apresentam algumas diferenças. C1, o atlas, é a única vértebra que não apresenta um corpo vertebral definido. Em vez disso, esse sítio é ocupado pela porção superior do processo odontoide da C2. C2, o eixo, é a única vértebra que tem um processo odontoide direcionado para cima. Seu processo espinhoso é largo e apresenta uma ponta bífida e proeminente. A C7 é considerada uma vértebra de transição para a região torácica e por isso tem um processo espinhoso mais longo e proeminente, e não exibe uma ponta bífida (NAIDICH *et al.*, 2010; PANJABI *et al.*, 1991).

Nissan e Gilad (1984) descreveram um modelo antropométrico da vértebra humana usando parâmetros medidos em radiografias sagitais da região cervical e lombar de 157 homens saudáveis com nenhuma deformidade na coluna ou patologia conhecida. As medições permitiram a determinação de parâmetros relacionados a dimensão das vértebras e ao espaço intervertebral. Em relação a dimensão, os autores observaram um aumento gradual na largura das vértebras na região cervical de C2 a C7. Já a altura das vértebras diminui de tamanho de C2 a C5 e depois aumenta até C7, sendo que C2 tem a maior altura registrada. O comprimento do processo espinhoso aumenta de C3 a C7 e o processo espinhoso de C2 é mais longo que o de C3. Em todas as vértebras cervicais o processo espinhoso apresenta uma inclinação para baixo. Em relação ao espaço intervertebral, os valores foram quase constantes nessa região (NISSAN; GILAD, 1984).

Panjabi *et al.*, (1991) realizaram medições tridimensionais em vértebras da região cervical e corroboram com os achados de Nissan e Gilad (1984). Seus resultados também mostraram que a largura lateral do canal medular é significativamente maior que a profundidade anteroposterior em todos os níveis da coluna cervical; a relação entre largura lateral e profundidade ântero-posterior foi menor em C2, constante de C3 a C6 e máxima em C7. Em um corte transversal do canal medular, a maior área foi ao nível de C2 e a menor foi C7. Panjabi *et al.*, (1991) ainda identificaram que há uma ligeira diminuição na distância entre o processo

transverso direito e esquerdo de C2 até C5 e um aumento significativo em C6 e C7, mostrando uma tendência de similaridade com a região torácica.

Quando comparada à coluna torácica, lombar e sacral, a região cervical é a porção mais móvel da coluna vertebral, especialmente a parte superior que abrange C1 e C2. Essas estruturas superiores são únicas porque suportam uma grande massa (cabeça) em uma região de alta flexibilidade e estruturas nervosas altamente vulneráveis (PANJABI *et al.*, 1991).

A curvatura cervical no plano sagital se desenvolve ainda na fase embrionária. O aparecimento precoce dessa curvatura pode estar relacionado ao desenvolvimento precoce da função dos músculos responsáveis pela extensão da cervical, esse movimento é um componente básico do reflexo de fuga à asfixia. A curvatura é acentuada quando a criança começa a realizar o movimento de extensão da coluna cervical contra a gravidade (BAGNALL; HARRIS, 1977).

A análise das curvaturas da coluna vertebral no plano sagital é parte da avaliação postural realizada pelo profissional da saúde. A radiografia é considerada o exame padrão ouro para avaliar as curvaturas da coluna vertebral (TAYYAB *et al.*, 2007; MORRISSY *et al.*, 1990). Há uma variedade de métodos radiográficos que quantificam as curvaturas da coluna no plano sagital, como o método Cobb (COBB, 1948), o ângulo de rotação absoluta (HARRISON *et al.*, 2000), e o método do índice de Ishihara (OHARA *et al.*, 2006; ISHIHARA, 1968), entre outros (OHARA *et al.*, 2006; GORE; SEPIC; GARDNER, 1986).

Devido à natureza invasiva da radiografia, o alto custo, a portabilidade limitada do equipamento e o tempo necessário para obter e ler a imagem radiográfica, houve um crescimento no interesse por formas alternativas de avaliação (SEDREZ *et al.*, 2016; GREENDALE *et al.*, 2011; ZABJEK *et al.*, 2005; TURNER-SMITH *et al.*, 1988). Nesse sentido, alguns estudos têm sido conduzidos com a finalidade de propor métodos baseados em técnicas não-invasivas, de baixo custo e práticos para quantificar as curvaturas da coluna vertebral (FORTIN *et al.*, 2012; LAU; CHIU; LAM, 2010; CUCCIA; CAROLA, 2009; GARRETT; YODAS; MADSON, 1993).

A fotogrametria é um exemplo de técnica não-invasiva que possibilita a avaliação da coluna vertebral, e já vem sendo amplamente utilizada (FURLANETTO *et al.*, 2016; SMITH; O'SULLIVAN; STRAKER, 2008; SACCO *et al.*, 2007; DUNK; LALONDE; CALLAGHAN, 2005; LEROUX *et al.*, 2003; WATSON, 1998). No entanto, há uma escassez de estudos que investigam a validade concorrente dos métodos baseados em fotogrametria para a avaliação da

coluna cervical (PIVOTTO; NAVARRO; CANDOTTI, 2020; ALBUQUERQUE *et al.*, 2018). Especula-se que essa escassez de estudos está relacionada a dificuldade de avaliar a região por meio de fotografia.

Avaliações da coluna, a partir de radiografia e fotogrametria, apresentam uma diferença metodológica importante. A radiografia permite uma avaliação das curvaturas da coluna vertebral a partir de referências internas, como os corpos vertebrais e os processos espinhosos, enquanto a fotogrametria é baseada em referências na superfície da pele que procuram representar as estruturas anatômicas internas.

Furlanetto *et al.*, (2020; 2017) mostraram que as curvaturas sagitais da coluna são bem determinadas pelo contorno da superfície da pele. Os autores desenvolveram e validaram modelos de predição para estimar o ângulo das curvaturas sagitais da coluna a partir da superfície da pele. No entanto, o estudo ficou limitado à avaliação das curvaturas da coluna torácica e lombar no plano sagital.

Nesse sentido, visando contribuir com o conhecimento sobre a avaliação da coluna cervical, os objetivos dessa dissertação são: (1) identificar quais métodos baseados em radiografia e fotogrametria usados para avaliar a postura da coluna cervical no plano sagital são válidos e/ou confiáveis; e (2) identificar a possibilidade de estimar a curvatura sagital da coluna cervical a partir da superfície da pele de adultos de forma acurada.

# **CAPÍTULO 1: RADIOGRAPHY AND PHOTOGRAMMETRY-BASED METHODS OF ASSESSING CERVICAL SPINE POSTURE IN THE SAGITTAL PLANE: A SYSTEMATIC REVIEW WITH META-ANALYSIS**

## **ABSTRACT**

**Background:** There are numerous radiography and photogrammetry-based methods of assessing the cervical spine posture in the sagittal plane. The choice of instrument should be based on scientific parameters such as validity and reliability, thus avoiding restrictions to the applicability of the instrument.

**Research question:** What radiography and photogrammetry-based methods used to assess the cervical spine posture in the sagittal plane are valid and/or reliable?

**Methods:** Systematic searches were conducted following Meta-analysis of Observational Studies in Epidemiology guidelines. Methodological quality was assessed according to the Brink and Louw appraisal tool.

**Results:** Twenty-one studies were included in the qualitative analysis. Twenty different methods of calculating cervical spine posture in the sagittal plane were found. Two studies included validation measures, 16 studies assessed inter-rater reliability, and 17 studies assessed intra-rater reliability. Fourteen studies were included for the quantitative analysis. The meta-analysis shows that the cervical arrow and cervical lordosis photogrammetry-based methods present very high intra-rater reliability. In radiography, the meta-analysis also showed that the Cobb method (inferior C2 - inferior C7), Cobb method (middle C1 - inferior C7), absolute rotation angle, and Gore angle (C2-C7) present very high inter-rater reliability, and the Cobb method (inferior C2 - inferior C7) and absolute rotation angle present very high intra-rater reliability.

**Significance:** This systematic review presents an overview of the methods used to assess cervical spine posture and the respective information on validity and reliability. This panorama facilitates the choice of method when conducting radiography or photogrammetry-based assessment of the cervical spine in the sagittal plane. In addition, it shows the need for new studies that investigate the accuracy and precision of these methods for their possible use in larger studies.

**Key words:** Neck, Posture, Evaluation, Radiography, Photogrammetry, Reproducibility of Results.

## 1. INTRODUCTION

There are several ways to assess and identify changes in cervical curvature and they can be divided into two groups: invasive and noninvasive assessment techniques. Radiography is a type of invasive technique because it exposes the subject to radiation during the exam, despite which it is considered the gold standard exam to assess the spinal curvatures. However, there are a variety of radiograph-based methods that quantify the curvature in the sagittal plane of the cervical spine, such as the Cobb method (COBB, 1948), absolute rotation angle (HARRISON *et al.*, 2000), and Ishihara index method (ISHIHARA, 1968; OHARA *et al.*, 2006), among others (GORE; SEPIC; GARDNER, 1986; OHARA *et al.*, 2006). The Cobb method is considered the gold standard for quantifying the magnitude of spinal curvatures, despite having received criticism (HARRISON *et al.*, 2000; POLLY *et al.*, 1996). The criticism is that the Cobb method gives only an indication of the ends of the curve, and therefore does not represent the cervical curvature.

Noninvasive quantitative assessment techniques are intended to indirectly inform spinal posture. Photogrammetry combined with computerized techniques is recommended as an important tool for postural assessment (DUNK; LALONDE; CALLAGHAN, 2005; LEROUX *et al.*, 2003; WATSON, 1998). Studies that use photogrammetry as an assessment tool tend to have/involve very similar data collection procedures, differing slightly according to the purpose of the study (FURLANETTO *et al.*, 2016). However, in relation to data analysis, the methods are very different.

There are numerous radiography and photogrammetry-based methods of assessing the cervical spine posture in the sagittal plane. The choice of instrument should be based on scientific parameters such as validity and reliability, thus avoiding restrictions to the applicability of the instrument (BÉDARD *et al.*, 2000; SEDREZ *et al.*, 2016). Accordingly, the aim of the present systematic review is to identify which radiography and photogrammetry-based methods used to assess the cervical spine posture in the sagittal plane are valid and/or reliable.

## **2. METHODS**

### **2.1 Study Design**

The present study is a systematic review with meta-analysis, registered on PROSPERO under the code CRD42019123708 and following MOOSE (Meta-analysis of Observational Studies in Epidemiology) guidelines (STROUP *et al.*, 2000).

### **2.2 Search Strategies**

Systematic searches were conducted in March 2019 on PubMed, EMBASE, Scopus, Web of Science, Science Direct, Bireme, and SciELO. In August 2020 the systematic searches were updated.

The Medical Subject Headings (MeSH) terms and boolean operators used on the systematic search were: Neck[MeSH] OR “Cervical Vertebrae”[MeSH] AND Photogrammetry[MeSH] OR Radiograph\*[MeSH] AND Posture[MeSH] AND “Validation Studies”[Publication Type] OR “Reproducibility of Results”[MeSH]. Entry terms for each MeSH term were also used in the search in the text words (tw) field and separated by the boolean operator OR. The search strategy used on PubMed is shown in Figure 1. In addition, there was no restriction for language or publication date. Also, manual searches were performed on the references of the included studies.

	Search (#1 AND #2 AND #3 AND #4)
#1	Neck[MeSH] OR Neck[tw] OR Necks[tw] OR “Cervical Vertebrae”[MeSH] OR “Cervical Vertebrae”[tw] OR “Vertebrae, Cervical”[tw] OR “Cervical Curvatures” OR “Cervical Curve” OR Cervical
#2	Photogrammetry[MeSH] OR Photogrammetry[tw] OR Photogrammetries[tw] OR Radiograph*[MeSH] OR Radiograph*[tw] OR “Diagnostic X-Ray”[tw] OR “Diagnostic X Ray”[tw] OR “Diagnostic X-Rays”[tw] OR “X-Rays, Diagnostic”[tw] OR “X-Ray Radiology, Diagnostic”[tw] OR “X Ray Radiology, Diagnostic”[tw] OR “Radiology, Diagnostic X-Ray”[tw] OR “Radiology, Diagnostic X Ray”[tw] OR “X-Ray, Diagnostic”[tw] OR “X Ray, Diagnostic”[tw] OR “Diagnostic X-Ray Radiology”[tw] OR “Diagnostic X Ray Radiology”[tw] OR “X-ray image”[tw] OR “X-ray diagnosis”[tw] OR X-ray[tw]
#3	Posture[MeSH] OR Postures[tw] OR Sagittal
#4	"Validation Studies"[Publication Type] OR “Reproducibility of Results”[MeSH] OR “Reproducibility of Results”[tw] "Reproducibility of Findings"[tw] OR "Reliability of Results"[tw] OR "Validity of Results"[tw] OR "Reliability and Validity"[tw] OR "Validity and Reliability"[tw] OR Reliability OR Reliabilities OR Validity OR Validities

**Legend:** MeSH = Medical Subject Headings; tw = Text words.

**Figure 1.** Search strategy of PubMed.

## 2.3 Eligibility Criteria

The eligible studies met the following criteria: (1) cervical posture evaluation; (2) standing position; (3) sagittal plane; (4) healthy adults and children of both sexes; (5) the use of photogrammetry or radiography; and (6) validity and/or intra- and/or inter-rater reliability study.

## 2.4 Study Selection and Data Extraction

The bibliographic details of all the retrieved studies were stored in an EndNote file (version x7). Two independent reviewers selected potentially relevant studies, according to their titles and abstracts. The reviewers were master and doctoral students, both had experience with systematic reviews. When the study title and abstract did not provide sufficient information to confirm eligibility/exclusion, the text was read in full. When a study was not found in its entirety, the study authors were contacted or the Brazilian Bibliographic Commuting Program was engaged to help find the study.



In the next step, the reviewers read the full studies and selected them according to the eligibility criteria. Discordant cases were solved by consensus or by a third reviewer.

Only the included studies were submitted to data extraction and methodological quality assessment. Information was extracted to a standardized form that included: author, year of publication, sample size, sample age, type of assessment (radiography and/or photogrammetry), type of analysis (validity and/or reliability), method description (anatomical landmarks and calculation), description of reliability parameters (number of raters, interval between measurements, qualification of raters, correlation coefficient, and error measure), and description of validity (standard reference, interval between measurements, and results).

## **2.5 Quality Assessment**

The methodological quality was assessed using a critical appraisal tool proposed by Brink and Louw (BRINK; LOUW, 2012). The scale consists of 13 items, of which five items relate to both validity and reliability studies, four items to validity studies only, and four items to reliability studies. This scale was used by the same independent reviewers. The included studies were considered of high methodological quality if they reached a score of  $\geq 60\%$ , as proposed in a previous study (COHEN *et al.*, 2017).

## **2.6 Statistical Analysis**

Data were initially separated into subgroups according to type of assessment (photogrammetry or radiography), method, and type of analysis (validity, intra-rater or inter-rater reliability and statistical test conducted).

The data were meta-analyzed using RStudio software (version 1.3.1073). The studies were grouped according to the type of assessment (radiography or photogrammetry), type of analysis (intra-rater or inter-rater reliability), correlation coefficient (Intraclass Correlation Coefficient or Pearson's Product-Moment Correlation Coefficient) and method used. The random-effect model was selected for the analysis.

The statistical data originated from Pearson's Product-Moment Correlation Coefficient (r) or Intraclass Correlation Coefficient (ICC) were interpreted as follows:  $\leq 0.25$  very low

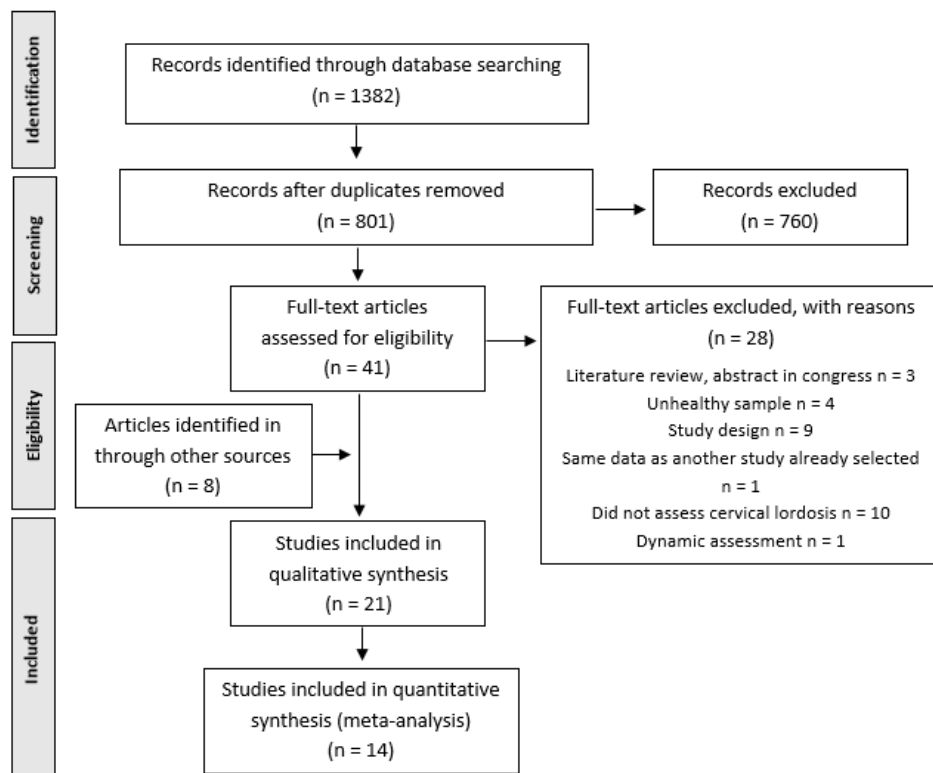
correlation, 0.26 – 0.49 low correlation, 0.50 – 0.69 moderate correlation, 0.70 – 0.89 high correlation and  $\geq 0.90$  very high correlation.

Heterogeneity was checked using the Higgins Inconsistency test ( $I^2$ ). Values over 50% were considered of high heterogeneity (HIGGINS *et al.*, 2003).

### 3. RESULTS

#### 3.1 Qualitative analysis

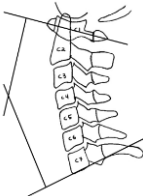
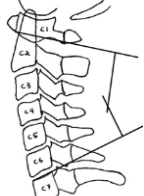
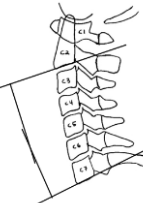
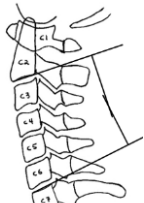
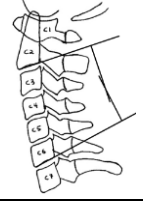
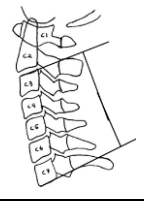
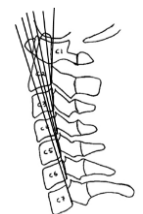
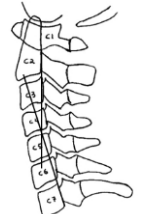
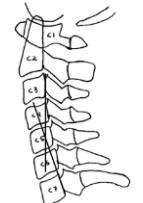
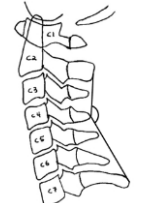
Initially, 1382 studies were identified in the systematic searches, 581 studies were duplicates, 760 were excluded after the reading the titles and abstracts, with 41 remaining for the full-text reading. Based on the eligibility criteria 28 studies were excluded, and eight were included from the references lists, leaving a total of 21 studies for the qualitative analysis and 14 for the quantitative analysis. Figure 2 shows the study selection flowchart.

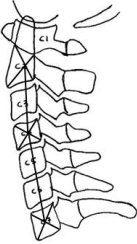
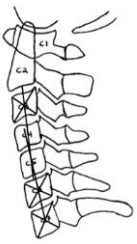


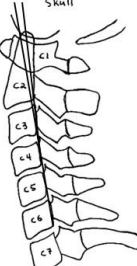






**Figure 2.** Flowchart of the included studies.

Table 1 describes the different methods used in the studies for cervical spine assessment. Tables 2 and 3 summarize the characteristics of the studies included in the qualitative analysis that assessed the reliability of the measurements obtained using the radiography and photogrammetry-based methods, respectively. Table 4 summarizes the characteristics of the study included in the qualitative analysis that evaluated the validity of the photogrammetry-based methods.

**Table 1.** Description and scheme of methods used in studies included.

Method	Method description	Method scheme	Method	Method description	Method scheme
Cobb method (middle C1 - inferior C7)  (CÔTÉ <i>et al.</i> , 1997; HARRISON <i>et al.</i> , 2000; PLAUGHER; CREMATA; PHILLIPS, 1990)	This angle was formed by a line bisecting C1 and a line in the inferior endplate of C7.		Cobb method (inferior C1 - superior C7)  (OHARA <i>et al.</i> , 2006)	This angle was formed by a line in the inferior endplate of C1 and the superior endplate of C7.	
Cobb method (inferior C2 - inferior C7)  (ABELIN-GENEVOIS <i>et al.</i> , 2014; CÔTÉ <i>et al.</i> , 1997; HARRISON <i>et al.</i> , 2000; JANUSZ <i>et al.</i> , 2016; PARK <i>et al.</i> , 2013, 2015; ZHOU <i>et al.</i> , 2020)	This angle was formed by a line in the inferior endplate of C2 and a line in the inferior endplate of C7.		Cobb method (inferior C2 -superior C7)  (OHARA <i>et al.</i> , 2006)	This angle was formed by a line in the inferior endplate of C2 and a line in the superior endplate of C7.	
Cobb method (C2-C6)  (ARMIJO-OLIVO <i>et al.</i> , 2006)	This angle was formed by a line in the inferior endplate of C2 and a line in the inferior endplate of C6.		Cobb method (C3-C7)  (SILBER <i>et al.</i> , 2004)	This angle was formed by a line in the superior endplate of C3 and a line in the inferior endplate of C7.	
Absolute rotation angle or sum of posterior tangent method or Harrison's method (C2-C7)  (GADOTTI <i>et al.</i> , 2013; HARRISON <i>et al.</i> , 2000; IYER <i>et al.</i> , 2016; JANUSZ <i>et al.</i> , 2016; OHARA <i>et al.</i> , 2006)	This angle was formed by drawing lines that are parallel to the posterior body margin from C2 to C7 and then summing the segmental angles.		Gore angle (C2-C7) or Jackson physiological stress lines or posterior tangent method  (JANUSZ <i>et al.</i> , 2016; LEE <i>et al.</i> , 2012; PARK <i>et al.</i> , 2015)	This angle was formed by a line in the posterior body margin of C2 and a line in the posterior body margin of C7.	
Gore angle (C3-C7)  (SILBER <i>et al.</i> , 2004)	This angle was formed by a line in the posterior body margin of C3 and a line in the posterior body margin of C7.		Spinous processes cervical angle (spCA) (C2-C4-C7)  (GADOTTI <i>et al.</i> , 2013)	This angle was formed using the spinous processes of C2, C4 and C7.	

<p>Cervical angle (CAr) (C2-C4-C7) (GADOTTI <i>et al.</i>, 2013)</p>	<p>This angle was formed using the centers of the vertebral body of C2, C4 and C7.</p> 	<p>Centroid measurement (C2-C3-C6-C7) (OHARA <i>et al.</i>, 2006)</p>	<p>Points a, b, and c are the centroids of C3, C6, and C7, respectively. Point A is the midpoint of the inferior surface of C2. This angle was formed by a line between Aa and a line between bc.</p> 
<p>Ishihara index method (OHARA <i>et al.</i>, 2006)</p>	<p>The posterior inferior points of C2 and C7 are points C and D. The distance between the posterior inferior points of C3–C6 and the CD was called a3 to a6, respectively. The measurement is computed by this formula: <math>(a3+a4+a5+a6)/CD \times 100</math>.</p> 	<p>Lordotic curvature (Odontoid-deepest vertebra-C7) (BERNAL <i>et al.</i>, 2017)</p>	<p>The measurement is the line from the midpoint of the deepest vertebra to a line from the most superior posterior point of the odontoid to the most posterior inferior point of C7.</p> 
<p>Total cervical lordosis (Occipital-C7) (HARDACKER <i>et al.</i>, 1997)</p>	<p>No description</p>	<p>Cervical curvature ratio (CVT/EVT) (Odontoid-C4-C6) (WEBER <i>et al.</i>, 2012)</p>	<p>This angle was formed by the line that intersects the apex of the odontoid with the most posterior-inferior point of C4 (CVT) and the line that intersects the most posterior-inferior points of C4 and C6 (EVT).</p> 
<p>Cervical distance (Deepest region) (WEBER <i>et al.</i>, 2012)</p>	<p>The horizontal distance from a vertical line tangent, by the apex of the thoracic kyphosis, called as thoracic plan, and by the point of the apex of the cervical concavity.</p> 	<p>Cervical lordosis (Occipital-C4-C7) (BELLI <i>et al.</i>, 2009; IUNES <i>et al.</i>, 2005)</p>	<p>This angle was formed by the straight lines between the occipital protuberance and C7 and that intersects the horizontal line between C4 and the true vertical line.</p> 
<p>Cervical arrow (C7) (FURLANETTO <i>et al.</i>, 2011, 2017)</p>	<p>The horizontal distances between C7 and a vertical reference line originating from the S2.</p> 	<p>Cervical angle (C2-C4-C7) (GADOTTI <i>et al.</i>, 2013)</p>	<p>This angle was formed by a line connecting C2 and C4 with a line connecting C4 and C7.</p> 

**Table 2.** Characteristics of the studies, reliability results and standard error of measurement of radiographic measurements.

Author	Sample (mean±SD age in years)	Method (unit of measure)	Inter-rater reliability	Intra-rater reliability
Abelin-Genevois <i>et al.</i> , (2014)	150 asymptomatic children (13.8±1.7)	Cobb method (inferior C2 - inferior C7) (°)	ICC = 0.95; SEM < 2°	ICC = 0.98; SEM < 1°
Armijo-Olivo <i>et al.</i> , (2006)	10 of 68 radiographs (14.3±9.1)	Cobb method (C2-C6) (°)	-	ICC = 0.69
Bernal <i>et al.</i> , (2017)	15 of 107 children (8.56±1.5)	Lordotic curvature (mm)	-	ICC = 0.945 – 0.996
Côté <i>et al.</i> , (1997)	30 radiographs	Cobb method (middle C1 - inferior C7) (°)	ICC = 0.94; SEM = 9.1°	-
		Cobb method (inferior C2 - inferior C7) (°)	ICC = 0.96; SEM = 8.3°	-
		Absolute rotation angle (°)	ICC = 0.90; SEM = 3.78°	ICC = 0.99; SEM = 0.99° ICC = 0.94; SEM = 0.5°
Gadotti <i>et al.</i> , (2013)	22 (28±4.37) of 39 women	Cervical angle (°)	ICC = 0.99; SEM = 0.01°	ICC = 0.99; SEM = 0.15° ICC = 0.97; SEM = 0.81°
		Spinous processes cervical angle (°)	ICC = 0.79; SEM = 6.89°	ICC = 0.96; SEM = 0.33° ICC = 0.94; SEM = 4.03°
Hardacker <i>et al.</i> , (1997)	30 of 50 radiographs (38.4±9.4 and 38.6±9.2)	Total cervical lordosis (°)	r = 0.85	r = 0.95
Harrison <i>et al.</i> , (2000)	30 radiographs	Cobb method (middle C1 - inferior C7) (°)	ICC = 0.91	ICC = 0.94
		Cobb method (inferior C2 - inferior C7) (°)	ICC = 0.92	ICC = 0.95
		Absolute rotation angle (°)	ICC = 0.94	ICC = 0.97
Iyer <i>et al.</i> , (2016)	115 asymptomatic adults (50.1)	Harrison's method (C2-C7) (°)	ICC = 0.98	-
Janusz <i>et al.</i> , (2016)	44 radiographs (15.8 ±3.7)	Cobb method (inferior C2 - inferior C7) (°)	ICC = 0.92; SEM = 2.71°	ICC = 0.96; SEM = 2.06°
		Posterior tangent method / Gore angle / Jackson physiological stress lines (C2-C7) (°)	ICC = 0.94; SEM = 2.62°	ICC = 0.96; SEM = 1.99°
		Sum of posterior tangent method / Harrison's method (°)	ICC = 0.93 SEM = 2.78°	ICC = 0.96; SEM = 1.98°
Lee <i>et al.</i> , (2012)	181 asymptomatic children (11.7±4.4)	Posterior tangent method / Gore angle (C2-C7) (°)	ICC = 0.862-0.922	-
Ohara <i>et al.</i> , (2006)	120 radiographs equally divided into 3 groups according to cervical alignment (lordosis, straight or sigmoid and kyphosis) (45.0±18.0)	Cobb method (inferior C1 - superior C7) (°)	r = 0.954 r = 0.980 r = 0.985	r = 0.918 r = 0.989 r = 0.989
		Cobb method (inferior C2 - superior C7) (°)	r = 0.945 r = 0.988 r = 0.979	r = 0.898 r = 0.984 r = 0.984
			r = 0.976 r = 0.974	r = 0.972 r = 0.965
		Centroid measurement (°)	r = 0.919	r = 0.965

		Absolute rotation angle (°)	r = 0.966 r = 0.996 r = 0.975	r = 0.929 r = 0.989 r = 0.989
		Ishihara index method	r = 0.996 r = 0.831 r = 0.978	r = 0.996 r = 0.991 r = 0.991
Park <i>et al.</i> , (2015)	101 volunteer adults (29.1)	Gore angle (C2-C7) (°)	ICC = 0.99 ICC = 0.97	-
		Cobb method (inferior C2 - inferior C7) (°)	ICC = 0.98 ICC = 0.97	-
Park <i>et al.</i> , (2013)	100 asymptomatic adults (23.4 and 65.8)	Cobb method (inferior C2 - inferior C7) (°)	ICC = 0.672	ICC = 0.777
Plaugher; Cremata; Phillips, (1990)	98 radiographs from 49 patients (44.0±20.0)	Cobb method (middle C1 - inferior C7) (°)	r = 0.89; SEE = 4.98° r = 0.96; SEE = 3.45° r = 0.94; SEE = 4.04°	r = 0.97; SEE = 2.88°
Silber <i>et al.</i> , (2004)	20 radiographs of nonspondylotic spines	Gore angle (C3-C7) (°)	95% CI = 7	95% CI = 4
		Cobb method (C3-C7) (°)	95% CI = 9	95% CI = 5
Weber <i>et al.</i> , (2012)	20 of 80 women (28.3±3.65)	Cervical curvature ratio (°)	-	ICC = 0.979
Zhou <i>et al.</i> , (2020)	218 healthy volunteers (48.4±16.9)	Cobb method (inferior C2 - inferior C7) (°)	ICC = 0.96	ICC = 0.86

**Legend:** ICC = Intraclass Correlation Coefficient; r = Pearson's Correlation Coefficient; SEM = Standard Error of Measurement; SEE = Standard Error of Estimate; CI = Confidence Interval.

**Table 3.** Characteristics of the study, reliability results and standard error of measurement of photogrammetric measurements.

Author	Sample (mean±SD age in years)	Method (Analysis software)	Inter-rater reliability	Intra-rater reliability
Belli <i>et al.</i> , (2009)	5 (11±1.41) of 30 non asthmatic children	Cervical lordosis (ALCimage software)	-	ICC > 0.75
Furlanetto <i>et al.</i> , (2011)	15 university students (24.7±4.0)	Cervical arrow (DIPA software)	-	ICC = 0.958 r = 0.920
Furlanetto <i>et al.</i> , (2017)	16 individuals (23.7±3.6)	Cervical arrow (DIPA software)	DICC = 0.936; SEM = 0.6 cm; MDC = 1.2 cm	ICC = 0.948; SEM = 0.6 cm; MDC = 1.1 cm
Gadotti <i>et al.</i> , (2013)	22 (28±4.37) of 39 women	Cervical angle (ALCimage software)	ICC = 0.91; SEM = 7.06°	ICC = 0.98; SEM = 0.37° ICC = 0.98; SEM = 0.22°
Iunes <i>et al.</i> , (2005)	21 university students (24.19±1.3)	Cervical lordosis (ALCimage software)	ICC = 0.748; 2x SE = 2.94	ICC = 0.966; 2x SE = 2.65
Weber <i>et al.</i> , (2012)	20 of 80 women (28.3±3.65)	Cervical distance (SAPO®)	-	ICC = 0.974

**Legend:** ICC = Intraclass Correlation Coefficient; r = Pearson's Correlation Coefficient; SEM = Standard Error of Measurement; MDC = Minimal Detectable Change; SE = Standard Error.

**Table 4.** Characteristics of the studies and validity results of photogrammetric measurements.

Author	Sample (mean±SD age in years)	Method (Analysis software)	Standard reference	Validity
Furlanetto <i>et al.</i> , (2017)	54 individuals (45.4±18.1)	Cervical arrow (DIPA software)	Cervical arrow (Radiograph)	r = 0,83; p < 0.001 t = -1,485; p = 0.145 P = 0,08; p = 0.999
Weber <i>et al.</i> , (2012)	80 women (28.3±3.65)	Cervical distance (SAPO®)	Cervical curvature ratio (Radiograph)	r = 0,07; p = 0.52

**Legend:** r = Pearson's Correlation Coefficient; t = independent t test; P = Morgan-Pitman's Coefficient.

t test: p < 0.05 indicates difference between the means;

Morgan-Pitman's Coefficient: p < 0.05 indicates heterogeneity of variances.

Only two studies included validation measures (FURLANETTO *et al.*, 2017; WEBER *et al.*, 2012), 16 studies assessed inter-rater reliability (ABELIN-GENEVOIS *et al.*, 2014; CÔTÉ *et al.*, 1997; FURLANETTO *et al.*, 2017; GADOTTI *et al.*, 2013; HARDACKER *et al.*, 1997; HARRISON *et al.*, 2000; IUNES *et al.*, 2005; IYER *et al.*, 2016; JANUSZ *et al.*, 2016; LEE *et al.*, 2012; OHARA *et al.*, 2006; PARK *et al.*, 2013, 2015; PLAUGHER; CREMATA; PHILLIPS, 1990; SILBER *et al.*, 2004; ZHOU *et al.*, 2020), and 17 studies assessed intra-rater reliability (ABELIN-GENEVOIS *et al.*, 2014; ARMIJO-OLIVO *et al.*, 2006; BELLI *et al.*, 2009; BERNAL *et al.*, 2017; FURLANETTO *et al.*, 2011, 2017; GADOTTI *et al.*, 2013; HARDACKER *et al.*, 1997; HARRISON *et al.*, 2000; IUNES *et al.*, 2005; JANUSZ *et al.*, 2016; OHARA *et al.*, 2006; PARK *et al.*, 2013; PLAUGHER; CREMATA; PHILLIPS, 1990; SILBER *et al.*, 2004; WEBER *et al.*, 2012; ZHOU *et al.*, 2020).

Regarding the demographic characteristics, six studies selected a part of the sample to be used in the reliability calculations, rather than using the whole sample (ARMIJO-OLIVO *et al.*, 2006; BELLI *et al.*, 2009; BERNAL *et al.*, 2017; GADOTTI *et al.*, 2013; HARDACKER *et al.*, 1997; WEBER *et al.*, 2012). The number of subjects ranged from 5 to 218, and the median sample size was 30 (Q1 = 20; Q3 = 101). Seven studies did not report the mean age of the sample (ARMIJO-OLIVO *et al.*, 2006; BERNAL *et al.*, 2017; CÔTÉ *et al.*, 1997; HARDACKER *et al.*, 1997; HARRISON *et al.*, 2000; SILBER *et al.*, 2004; WEBER *et al.*, 2012). In the studies that reported this information, the mean age of the subjects was 31.3 (SD 15.7) years, ranging from 11 to 65.8.

In the 21 studies included in this review, 20 different methods of assessing cervical spine posture in the sagittal plane appeared; 16 involved calculating an angle to describe cervical spine posture and four were based on distances.

Regarding the methodological quality, 15 studies ranked high quality (score  $\geq 60\%$ ) (ABELIN-GENEVOIS *et al.*, 2014; BELLI *et al.*, 2009; BERNAL *et al.*, 2017; CÔTÉ *et al.*, 1997; FURLANETTO *et al.*, 2011, 2017; GADOTTI *et al.*, 2013; HARRISON *et al.*, 2000a; IUNES *et al.*, 2005; JANUSZ *et al.*, 2016; OHARA *et al.*, 2006; PARK *et al.*, 2013, 2015; SILBER *et al.*, 2004; WEBER *et al.*, 2012). The average score of the methodological quality appraisal was 71.8%. The main areas of methodological weakness found were: randomization of evaluators or subjects (item 6), intra-rater blindness (item 5), and the time interval between repeated measures (item 8) (Table 5).

**Table 5.** Quality assessment through the critical evaluation tool proposed by Brink and Louw.

Study	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	%
Abelin-Genevois <i>et al.</i> , (2014)	y	y	n/a	n	n	n/a	n/a	n	n/a	y	n/a	y	y	62.5
Armijo-Olivo <i>et al.</i> , (2006)	y	n	n/a	n/a	n	n/a	n/a	n	n/a	y	n/a	y	y	57.1
Belli <i>et al.</i> , (2009)	y	n	n/a	n/a	y	n	n/a	n	n/a	y	n/a	y	y	62.5
Bernall <i>et al.</i> , (2017)	y	n	n/a	n/a	n	n/a	n/a	y	n/a	y	n/a	y	y	71.4
Côté <i>et al.</i> , (1997)	n	y	n/a	y	n/a	n/a	n/a	n	n/a	y	n/a	y	y	71.4
Furlanetto <i>et al.</i> , (2011)	y	n	n/a	n/a	n	n	n/a	y	n/a	y	n/a	y	y	62.5
Furlanetto <i>et al.</i> , (2017)	y	n	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	92.3
Gadotti <i>et al.</i> , (2013)	y	y	n/a	y	y	n/a	n/a	y	n/a	y	n/a	y	y	100
Hardacker <i>et al.</i> , (1997)	y	y	n/a	y	n	n/a	n/a	n	n/a	n	n/a	y	n	50
Harrison <i>et al.</i> , (2000)	n	y	n/a	y	y	n/a	n/a	y	n/a	y	n/a	y	y	87.5
Iunes <i>et al.</i> , (2005)	y	y	n/a	y	n	n	n/a	y	n/a	y	n/a	y	y	77.8
Iyer <i>et al.</i> , (2016)	y	y	n/a	n	n/a	n/a	n/a	n	n/a	n	n/a	y	y	57.1
Janusz <i>et al.</i> , (2016)	y	y	n/a	y	y	n/a	n/a	y	n/a	y	n/a	y	y	100
Lee <i>et al.</i> , (2012)	y	n	n/a	n	n/a	n/a	n/a	n	n/a	y	n/a	y	y	57.1
Ohara <i>et al.</i> , (2006)	y	y	n/a	y	n	n/a	n/a	n	n/a	y	n/a	y	n	71.4
Park <i>et al.</i> , (2015)	y	y	n/a	y	n/a	n/a	n/a	n	n/a	y	n/a	y	y	85.7
Park <i>et al.</i> , (2013)	y	y	n/a	n	y	n/a	n/a	y	n/a	y	n/a	y	y	87.5
Plaugher; Cremata; Phillips, (1990)	n	n	n/a	y	n	n/a	n/a	n	n/a	y	n/a	y	n	37.5
Silber <i>et al.</i> , (2004)	n	y	n/a	y	y	n/a	n/a	y	n/a	y	n/a	y	n	75
Weber <i>et al.</i> , (2012)	y	n	n/a	n/a	n	y	n/a	y	n/a	y	n/a	y	y	85.7
Zhou <i>et al.</i> , (2020)	y	y	n/a	n	n	n	n/a	n	n/a	y	n/a	y	y	55.6
% yes answers	81	61.9	100	68.8	41.2	33.3	100	47.6	100	90.5	100	100	81	

1. Description of the sample; 2. Raters characterization; 3. Explanation of the reference standard; 4. Inter-rater blindness; 5. Intra-rater blindness; 6. Randomization of evaluators or subjects; 7. Period of time between the test collection; 8. Time interval between repeated measures; 9. The studied test is not part of the gold standard; 10. Description of the collection procedures from experimental test; 11. Description of the gold standard collection procedures; 12. Description of cases of sample loss; 13. Adequacy of the statistical method.

**Legend:** y = yes; n = no; n/a = not applicable; % = final score reached by the study.

### 3.1.1 Photogrammetry

Six studies (BELLI *et al.*, 2009; FURLANETTO *et al.*, 2011, 2017; GADOTTI *et al.*, 2013; IUNES *et al.*, 2005; WEBER *et al.*, 2012) investigated the reliability of photogrammetry-based methods of assessing cervical spine posture in the sagittal plane (Table 3), two of which



also assessed the validity of the measurement (FURLANETTO *et al.*, 2017; WEBER *et al.*, 2012). In the six studies included, four methods of assessing cervical spine posture in the sagittal plane were found: cervical distance, cervical lordosis, cervical arrow and cervical angle. Table 1 shows the descriptions of the methods. The cervical arrow (FURLANETTO *et al.*, 2011, 2017) and cervical lordosis (BELLI *et al.*, 2009; IUNES *et al.*, 2005) methods were reported in two studies each.

### 3.1.2 Radiography

There is a wide range of radiography-based methods of assessing cervical spine posture in the sagittal plane: Cobb method, cervical curvature ratio (CVT/EVT), lordotic curvature, cervical angle (CAr), spinous processes cervical angle (spCA), total cervical lordosis, centroid measurement, Ishihara index method, Gore angle (also called Jackson physiological stress lines or posterior tangent method), and absolute rotation angle (also called sum of posterior tangent method or Harrison's method). Table 1 shows the descriptions of the methods. Only one of the methods did not have a description or reference cited in the study (HARDACKER *et al.*, 1997). Regarding the Cobb and the Gore angle methods, there were variations in the vertebrae used as reference.

Among the methods analyzed in the included studies, regarding the lower anatomical reference used to calculate cervical lordosis, C7 was the most used to calculate the angle of cervical curvature and C6 was used in two methods. Regarding the upper anatomical reference, C2 was the most used, appearing in nine methods, C1, odontoid process, and C3 were used in two methods, and the occipital was used in one method.

The Cobb method (inferior C2 - inferior C7) appeared most frequently, in seven studies (ABELIN-GENEVOIS *et al.*, 2014; CÔTÉ *et al.*, 1997; HARRISON *et al.*, 2000; JANUSZ *et al.*, 2016; PARK *et al.*, 2013, 2015; ZHOU *et al.*, 2020). The absolute rotation angle was used in five studies (GADOTTI *et al.*, 2013; HARRISON *et al.*, 2000; IYER *et al.*, 2016; JANUSZ *et al.*, 2016; OHARA *et al.*, 2006); Gore angle (C2-C7) (JANUSZ *et al.*, 2016; LEE *et al.*, 2012; PARK *et al.*, 2015) and Cobb method (middle C1 - inferior C7) (CÔTÉ *et al.*, 1997; HARRISON *et al.*, 2000; PLAUGHER; CREMATA; PHILLIPS, 1990) were used in three studies, and the other methods were used in only one study each.

### 3.1.3 Intra-rater reliability

With respect to the 17 studies that assessed intra-rater reliability, 12 studies reported the interval between measurements (BELLI *et al.*, 2009; BERNAL *et al.*, 2017; FURLANETTO *et al.*, 2011, 2017; GADOTTI *et al.*, 2013; HARRISON *et al.*, 2000; IUNES *et al.*, 2005; JANUSZ *et al.*, 2016; OHARA *et al.*, 2006; PARK *et al.*, 2013; SILBER *et al.*, 2004; WEBER *et al.*, 2012). The intervals ranged from 15 minutes to eight weeks. Of these 12 studies, five used a one-week interval (FURLANETTO *et al.*, 2011, 2017; GADOTTI *et al.*, 2013; HARRISON *et al.*, 2000; WEBER *et al.*, 2012), and two used a four-week interval (JANUSZ *et al.*, 2016; PARK *et al.*, 2013). Belli *et al.*, (2009) used an interval of 15 minutes, Silber *et al.*, (2004) used an interval of at least one week, Bernall *et al.*, (2017) used an interval of two weeks, Iunes *et al.*, (2005) used an interval of at least four weeks, and Ohara *et al.*, (2006) used an interval of eight weeks.

Thirteen studies used ICC as a measure of intra-rater reliability (ABELIN-GENEVOIS *et al.*, 2014; ARMIJO-OLIVO *et al.*, 2006; BELLI *et al.*, 2009; BERNAL *et al.*, 2017; FURLANETTO *et al.*, 2011, 2017; GADOTTI *et al.*, 2013; HARRISON *et al.*, 2000; IUNES *et al.*, 2005; JANUSZ *et al.*, 2016; PARK *et al.*, 2013; WEBER *et al.*, 2012; ZHOU *et al.*, 2020), four used Pearson's r (FURLANETTO *et al.*, 2011; HARDACKER *et al.*, 1997; OHARA *et al.*, 2006; PLAUGHER; CREMATA; PHILLIPS, 1990), and one used another statistical analysis technique (SILBER *et al.*, 2004). Furlanetto *et al.*, (2011) used both the ICC and Pearson's r.

In addition, the Standard Error of Measurement (SEM) was reported in four studies (ABELIN-GENEVOIS *et al.*, 2014; FURLANETTO *et al.*, 2017; GADOTTI *et al.*, 2013; JANUSZ *et al.*, 2016). The Standard Error of Estimate (SEE) (PLAUGHER; CREMATA; PHILLIPS, 1990) and the Standard Error multiplied by two (2x SE) (IUNES *et al.*, 2005) were reported in one study each.

It is important to note that these error measures must be interpreted according to the magnitude of each measure, that is, individually within each method.

### 3.1.4 Inter-rater reliability

With respect to the 16 studies that assessed inter-rater reliability, all the studies reported the number of raters who performed the measurements. Nine studies used two raters to check inter-rater reliability (ABELIN-GENEVOIS *et al.*, 2014; GADOTTI *et al.*, 2013; HARDACKER *et al.*, 1997; IYER *et al.*, 2016; LEE *et al.*, 2012; OHARA *et al.*, 2006; PARK *et al.*, 2013, 2015; ZHOU *et al.*, 2020) and seven studies used three raters (CÔTÉ *et al.*, 1997; FURLANETTO *et al.*, 2017; HARRISON *et al.*, 2000; IUNES *et al.*, 2005; JANUSZ *et al.*, 2016; PLAUGHER; CREMATA; PHILLIPS, 1990; SILBER *et al.*, 2004). Regarding the raters' qualifications, 13 studies reported this information (ABELIN-GENEVOIS *et al.*, 2014; CÔTÉ *et al.*, 1997; GADOTTI *et al.*, 2013; HARDACKER *et al.*, 1997; HARRISON *et al.*, 2000; IUNES *et al.*, 2005; IYER *et al.*, 2016; JANUSZ *et al.*, 2016; OHARA *et al.*, 2006; PARK *et al.*, 2013, 2015; SILBER *et al.*, 2004; ZHOU *et al.*, 2020). In only two studies the raters were physical therapists (GADOTTI *et al.*, 2013; IUNES *et al.*, 2005), in the other 11 studies the raters were physicians. Of these, in eight studies at least one of the raters was an orthopedic surgeon (ABELIN-GENEVOIS *et al.*, 2014; CÔTÉ *et al.*, 1997; HARDACKER *et al.*, 1997; JANUSZ *et al.*, 2016; OHARA *et al.*, 2006; PARK *et al.*, 2013, 2015; SILBER *et al.*, 2004).

Twelve studies used the ICC (ABELIN-GENEVOIS *et al.*, 2014; CÔTÉ *et al.*, 1997; FURLANETTO *et al.*, 2017; GADOTTI *et al.*, 2013; HARRISON *et al.*, 2000; IUNES *et al.*, 2005; IYER *et al.*, 2016; JANUSZ *et al.*, 2016; LEE *et al.*, 2012; PARK *et al.*, 2013, 2015; ZHOU *et al.*, 2020), three used the Pearson's  $r$  as a measure of inter-rater reliability (HARDACKER *et al.*, 1997; OHARA *et al.*, 2006; PLAUGHER; CREMATA; PHILLIPS, 1990), and one used another statistical analysis technique (SILBER *et al.*, 2004).

In addition, the SEM was reported in five studies (ABELIN-GENEVOIS *et al.*, 2014; CÔTÉ *et al.*, 1997; FURLANETTO *et al.*, 2017; GADOTTI *et al.*, 2013; JANUSZ *et al.*, 2016), the SEE (PLAUGHER; CREMATA; PHILLIPS, 1990) and 2x SE (IUNES *et al.*, 2005) was reported in one study each.

### 3.1.5 Validity

Only two validity studies were included in this systematic review (FURLANETTO *et al.*, 2017; WEBER *et al.*, 2012). These studies used radiography as a standard reference to validate a photogrammetry-based method (Table 4). These methods, namely cervical arrow and cervical distance, result in a distance measure.

### 3.2 Quantitative Analysis

Fourteen studies were included in the meta-analysis (ABELIN-GENEVOIS *et al.*, 2014; BELLI *et al.*, 2009; CÔTÉ *et al.*, 1997; FURLANETTO *et al.*, 2011, 2017; GADOTTI *et al.*, 2013; HARRISON *et al.*, 2000; IUNES *et al.*, 2005; IYER *et al.*, 2016; JANUSZ *et al.*, 2016; LEE *et al.*, 2012; PARK *et al.*, 2013, 2015; ZHOU *et al.*, 2020). It was possible to perform eight meta-analyses with the ICC values presented, four of inter-rater reliability (Cobb method (inferior C2 - inferior C7), Cobb method (middle C1 - inferior C7), absolute rotation angle, and Gore angle (C2-C7)), and four of intra-rater reliability (Cobb method (inferior C2 - inferior C7), absolute rotation angle, cervical lordosis, and cervical arrow).

In the inter- and intra-rater analyses of the Cobb method (inferior C2 - inferior C7) (Tables 6 and 7, respectively), inter-rater analysis of absolute rotation angle (Table 9), and inter-rater analysis of Gore angle (C2-C7) (Table 11), the ICCs ranged from high to very high, and the  $I^2$  showed high heterogeneity (> 50%).

In the inter-rater analysis of Cobb method (middle C1 - inferior C7) (Table 8), the ICCs ranged from high to very high, and the  $I^2$  showed low heterogeneity (0%).

In the intra-rater analysis of absolute rotation angle (Table 10), and cervical arrow (Table 12), the ICCs ranges were very high for both the lower and upper limits, and the  $I^2$  showed high heterogeneity (67%) and low heterogeneity (0%), respectively.

In the intra-rater analysis of cervical lordosis (Table 13), the ICC ranged from moderate to very high, and the  $I^2$  showed heterogeneity of 50%

**Table 6.** Meta-analysis of inter-rater reliability of Cobb method (inferior C2 - inferior C7) in radiography.

Author	Model	Correlation (ICC)	Lower limit	Upper limit	n	Weight (%)	Correlation and 95%CI
Abelin-Genevois <i>et al.</i> , (2014)		0.950	0.932	0.964	150	13.1	
Côté <i>et al.</i> , (1997)		0.960	0.917	0.981	30	11.4	
Harrison <i>et al.</i> , (2000)		0.920	0.837	0.962	30	11.4	
Janusz <i>et al.</i> , (2016)		0.920	0.857	0.956	44	12.1	
Park <i>et al.</i> , (2015)		0.980	0.970	0.986	101	12.9	
Park <i>et al.</i> , (2015)		0.970	0.956	0.980	101	12.9	
Park <i>et al.</i> , (2013)		0.672	0.548	0.767	100	12.9	
Zhou <i>et al.</i> , (2020)		0.960	0.948	0.969	218	13.3	
Total (random effect)		0.943	0.896	0.969	774	100.0	

Heterogeneity:  $I^2 = 95\%$

**Legend:** ICC = Intraclass Correlation Coefficient; n = sample size;  $I^2$  = Higgins Inconsistence test; CI = Confidence Interval.

**Table 7.** Meta-analysis of intra-rater reliability of Cobb method (inferior C2 - inferior C7) in radiography.

Author	Model	Correlation (ICC)	Lower limit	Upper limit	n	Weight (%)	Correlation and 95%CI
Abelin-Genevois <i>et al.</i> , (2014)		0.980	0.972	0.985	150	20.7	
Harrison <i>et al.</i> , (2000)		0.950	0.897	0.976	30	18.5	
Janusz <i>et al.</i> , (2016)		0.960	0.927	0.978	44	19.4	
Park <i>et al.</i> , (2013)		0.777	0.685	0.845	100	20.4	
Zhou <i>et al.</i> , (2020)		0.860	0.821	0.891	218	20.9	
Total (random effect)		0.932	0.841	0.972	542	100.0	

Heterogeneity:  $I^2 = 97\%$

**Legend:** ICC = Intraclass Correlation Coefficient; n = sample size;  $I^2$  = Higgins Inconsistence test; CI = Confidence Interval.

**Table 8.** Meta-analysis of inter-rater reliability of Cobb method (middle C1 - inferior C7) in radiography.

Author	Model	Correlation (ICC)	Lower limit	Upper limit	n	Weight (%)	Correlation and 95%CI
Côté <i>et al.</i> , (1997)		0.940	0.877	0.971	30	50.0	
Harrison <i>et al.</i> , (2000)		0.910	0.818	0.957	30	50.0	
Total (random effect)		0.926	0.874	0.958	60	100.0	

Heterogeneity:  $I^2 = 0\%$

**Legend:** ICC = Intraclass Correlation Coefficient; n = sample size;  $I^2$  = Higgins Inconsistence test; CI = Confidence Interval.

**Table 9.** Meta-analysis of inter-rater reliability of absolute rotation angle in radiography.

Author	Model	Correlation (ICC)	Lower limit	Upper limit	n	Weight (%)	Correlation and 95%CI
Gadotti <i>et al.</i> , (2013)		0.900	0.771	0.958	22	21.2	
Harrison <i>et al.</i> , (2000)		0.940	0.877	0.971	30	23.5	
Iyer <i>et al.</i> , (2016)		0.980	0.971	0.986	115	29.4	
Janusz <i>et al.</i> , (2016)		0.930	0.875	0.961	44	25.9	
Total (random effect)		0.949	0.899	0.975	211	100.0	

Heterogeneity:  $I^2 = 86\%$

**Legend:** ICC = Intraclass Correlation Coefficient; n = sample size;  $I^2$  = Higgins Inconsistency test; CI = Confidence Interval.

**Table 10.** Meta-analysis of intra-rater reliability of absolute rotation angle in radiography.

Author	Model	Correlation (ICC)	Lower limit	Upper limit	n	Weight (%)	Correlation and 95%CI
Gadotti <i>et al.</i> , (2013)		0.990	0.976	0.996	22	23.1	
Gadotti <i>et al.</i> , (2013)		0.940	0.859	0.975	22	23.1	
Harrison <i>et al.</i> , (2000)		0.970	0.937	0.986	30	25.6	
Janusz <i>et al.</i> , (2016)		0.960	0.927	0.978	44	28.2	
Total (random effect)		0.970	0.938	0.986	118	100.0	

Heterogeneity:  $I^2 = 67\%$

**Legend:** ICC = Intraclass Correlation Coefficient; n = sample size;  $I^2$  = Higgins Inconsistency test; CI = Confidence Interval.

**Table 11.** Meta-analysis of inter-rater reliability of Gore angle (C2-C7) in radiography.

Author	Model	Correlation (ICC)	Lower limit	Upper limit	n	Weight (%)	Correlation and 95%CI
Janusz <i>et al.</i> , (2016)		0.940	0.892	0.967	44	24.1	
Lee <i>et al.</i> , (2012)		0.862	0.819	0.895	181	25.5	
Park <i>et al.</i> , (2015)		0.990	0.985	0.993	101	25.2	
Park <i>et al.</i> , (2015)		0.970	0.956	0.980	101	25.2	
Total (random effect)		0.960	0.882	0.987	427	100.0	

Heterogeneity:  $I^2 = 98\%$

**Legend:** ICC = Intraclass Correlation Coefficient; n = sample size;  $I^2$  = Higgins Inconsistency test; CI = Confidence Interval.

**Table 12.** Meta-analysis of intra-rater reliability of cervical arrow in photogrammetry.

Author	Model	Correlation (ICC)	Lower limit	Upper limit	n	Weight (%)	Correlation and 95%CI
Furlanetto <i>et al.</i> , (2011)		0.958	0.875	0.986	15	48.0	
Furlanetto <i>et al.</i> , (2017)		0.948	0.853	0.982	16	52.0	
Total (random effect)		0.953	0.900	0.978	31	100.0	

Heterogeneity:  $I^2 = 0\%$ **Legend:** ICC = Intraclass Correlation Coefficient; n = sample size;  $I^2$  = Higgins Inconsistency test; CI = Confidence Interval.**Table 13.** Meta-analysis of intra-rater reliability of cervical lordosis in photogrammetry.

Author	Model	Correlation (ICC)	Lower limit	Upper limit	n	Weight (%)	Correlation and 95%CI
Belli <i>et al.</i> , (2009)		0.750	-0.391	0.982	5	30.0	
Iunes <i>et al.</i> , (2005)		0.966	0.917	0.986	21	70.0	
Total (random effect)		0.937	0.643	0.990	26	100.0	

Heterogeneity:  $I^2 = 50\%$ **Legend:** ICC = Intraclass Correlation Coefficient; n = sample size;  $I^2$  = Higgins Inconsistency test; CI = Confidence Interval.

#### 4. DISCUSSION

Increasingly, researchers and professionals are encouraged to choose instruments to measure a variable of interest based on scientific parameters that guarantee the accuracy and precision of the measurements, such as validity and reliability.

It is important to note that there is a lack of standardization and definition of terms used in validity and reliability studies. In the present review, validity refers to “the degree to which evidence and theory support the interpretations of test scores for proposed uses of tests” (AERA, 1999), that is, the degree of accuracy of measurements of a given magnitude. The concept of validity is associated with the concept of accuracy. Reliability refers to the consistency of a measure. According to Bartko, (1991), reliability is “the degree to which multiple assessments of a subject agree (reproducibility)”. The concept of reliability is associated with the concept of precision.

Considering that radiography is the gold standard for assessing cervical spine posture in the sagittal plane, it was expected to find validation studies of photogrammetry-based methods that used radiography as reference. However, only two studies did this (FURLANETTO *et al.*,

2017; WEBER *et al.*, 2012). Albuquerque *et al.*, (2018) also found few validity and reliability studies that used photogrammetry to measure the angle of cervical lordosis. It is speculated that the scarcity of studies on the subject is due to the difficulty involved in assessing the region using photography, which uses the skin surface of the cervical region as a reference.

Refshauge, Goodsell and Lee, (1994) investigated the degree to which surface measurements of cervical alignment reflect the underlying vertebral body alignment. The results showed Pearson's correlation coefficients of 0.32 to 0.82 ( $p < 0,001$ ), poor to moderate coefficients according to the reference used by the authors (HINKLE; WIERSMA; JURIS, 1979) and low to high coefficients according to the reference used in the present review. The authors argue that the findings can be explained by a combination of factors: the difference in length of the spinous processes in the cervical region, the depth of overlying soft tissues and the individual variability of the bone dimensions and overlying soft tissue. Therefore, methods that assess cervical spine in the sagittal plane based on the skin surface need to present validity measures to be accurate.

Another reason that may explain the small amount of studies on the subject is the confusion between the concepts of cervical spine posture and head posture. A widely used parameter is the angle formed between a line connecting the C7 spinous process and the tragus of the ear and a horizontal line drawn from C7 (RAINE; TWOMEY, 1994; WATSON; TROTT, 1993). However, this parameter is mistakenly called the cervical angle or neck angle in some studies (RUIVO; PEZARAT-CORREIA; CARITA, 2015; VAN NIEKERK *et al.*, 2008), since it was proposed to assess head posture. In this review, studies that evaluated head posture were excluded. Still, the opposite may also have happened, and studies that evaluate the cervical posture but call it the head posture parameter may not have been found in the systematic search or excluded after reading the titles and abstracts.

Both validity studies included in the present review used Pearson's  $r$  as a statistical analysis tool (FURLANETTO *et al.*, 2017; WEBER *et al.*, 2012). However, Pearson's  $r$  alone is insufficient to define the degree of agreement between two measures (ALBUQUERQUE *et al.*, 2018; BLAND; ALTMAN, 1986). Furlanetto *et al.*, (2017) also included the independent  $t$  test and the Morgan–Pitman's test in the statistical analysis. But to prove that a new technique agrees well enough with an already established one, Bland and Altman, (1986) suggest a statistical analysis involving graphical techniques and simple calculations. One critical conclusion made by these authors is that this type of study requires a measure in the scale of the original measurements, such as the limits of agreement. This alternative analysis can be



used to assess the agreement between two measures that were obtained either through different instruments or different raters (BLAND; ALTMAN, 1986).

All the studies included in this review evaluated some measure of reliability, intra-rater or inter-rater. It was possible to meta-analyze the intra-rater reliability values of the photogrammetry-based cervical arrow and cervical lordosis methods. Only two studies were included in each analysis, all of which presented methodological quality  $\geq 60\%$ . Still, both methods showed a very high correlation ( $\geq 0.90$ ) and low heterogeneity (0% and 50%, respectively). The cervical arrow method presented both validity and reliability measures. It can be assessed by the same rater on different days or by different raters. However, there is a lack of information on how the measurements obtained from the photographs agree with the information from the respective X-rays.

In relation to radiography, the present review found there to be a large number of methods of assessing the curvature of the cervical spine in the sagittal plane. Furthermore, some methods are used in different ways in different studies. The Cobb method, for example, was used in six different ways, varying the anatomical references used. Despite this, it was possible to meta-analyze the inter-rater and intra-rater reliability values of the Cobb method (inferior C2 - inferior C7). Both results showed a very high correlation and no study presented low methodological quality. However, the results showed a high heterogeneity (95% and 97%, respectively). It was also possible to meta-analyze the inter-rater reliability values of the Cobb method (middle C1 - inferior C7). Only two studies were included in this analysis, both with methodological quality  $\geq 60\%$ , and the results showed a very high correlation and low heterogeneity (0%).

Although the Cobb method is considered the gold standard for quantifying the magnitude of spinal curvature, several other methods serve the same purpose. It was possible to meta-analyze the intra-rater and inter-rater reliability values of the absolute rotation angle and the inter-rater reliability values of the Gore angle (C2-C7). The results showed a very high correlation and high heterogeneity (67%, 86% and 98%, respectively).

All the studies included in the meta-analysis of intra-rater reliability values of the absolute rotation angle showed methodological quality  $\geq 60\%$ . Of the four studies included in the meta-analysis of the inter-rater reliability values of the absolute rotation angle and of the three included in the meta-analysis of the intra-rater reliability of the Gore angle (C2-C7), one study showed methodological quality  $\leq 60\%$  in each analysis.

Regarding these two methods, the absolute rotation angle and Gore angle (C2-C7), there is confusion in the nomenclature used by the studies. From the description of the methods and references cited in the studies, two alternative labels for the absolute rotation angle, namely the sum of posterior tangent method and Harrison's method (C2-C7) and two alternative labels for the Gore angle (C2-C7), namely the Jackson physiological stress lines and posterior tangent method, were found (Table 1). The methods are very similar, the difference is that the first takes into account parallel lines on the posterior margins of the bodies from the second to the seventh cervical vertebra and then adds the segmented angles formed. While the second method only takes into account the angle formed between the parallel lines drawn on the posterior margins of the bodies of the second and seventh cervical vertebra. According to Harrison *et al.*, (2000), the absolute rotation angle more accurately denotes the state of curvature from the interpretation of the segmented angles calculated to obtain the final angle.

Some studies used the Pearson product moment correlation coefficient, which is an interclass correlation coefficient, as a measure of reliability for continuous data. However, the use of Pearson's *r* has been discouraged for this type of analysis, and ICC, which is an intraclass correlation coefficient (BARTKO, 1991; BAUMGARTNER, 2009; BÉDARD *et al.*, 2000; DENEGAR; BALL, 1993; WEIR, 2005), is the most appropriate. According to Weir, (2005), Pearson's *r* does not detect systematic errors. According to Baumgartner, (2009), there are four reasons why the ICC is the correct coefficient to estimate reliability: (1) ICC permits more than two scores per person, whereas *r* is limited to two scores per person; (2) ICC is sensitive to more sources of error than *r*; (3) ICC is affected by change in the mean and standard deviation from one set of scores to the next but *r* is not affected by changes in these statistics; and (4) ICC is the proper coefficient because it is designed for repeated measures of a test as in reliability, whereas *r* is designed to determine the relation between two sets of scores.

However, ICC does not provide an estimate of the precision of measurement. The standard error of measurement (SEM) provides such an estimate and is independent of the population from it was determined (DENEGAR; BALL, 1993; WEIR, 2005). According to Denegar and Ball, (1993), it is important to provide both values, because a high ICC may not reflect an acceptable measurement if the SEM suggests that the precision of the measurement is not acceptable for the intended purpose. Only five studies included in this review reported SEM values.

Four limitations of the study need to be emphasized. Firstly, the meta-analysis was performed using values from different forms of ICC, because it is uncommon to find all

necessary information about the ICC reported in the studies. There are several forms of ICC, six according to Shrout and Fleiss, (1979), and ten according to McGraw and Wong, (1996). The choice of which one to use is not always obvious (WEIR, 2005). Each form of ICC varies according to the reliability analysis and the randomness of the raters (model selection), the number of raters/measurements (type selection), and the relevance of variability between the raters (definition selection) (KOO; LI, 2016). Koo and Li, (2016) suggest reporting the following items: software information, “model,” “type,” and “definition” selections; in addition, both ICC estimates and their 95% confidence intervals. The authors also suggest interpreting the results with caution when ICC information is missing.

The second limitation is related to the fact that the ICC values are dependent on the population from which it was determined. A meta-analysis of absolute measurements of reliability would be more informative. However, in general, studies do not provide this information.

The third limitation concerns the fact that reliability assessment is not often a study objective, but rather a part of the methodology. For this reason, some studies that evaluated the reliability of measurements of cervical posture may not have been found in the systematic search because this analysis was not mentioned in the title or abstract. Furthermore, the fourth limitation was the large number of studies included from other resources. This indicates the search key used may not have been the most appropriate to find all the studies available on the subject. Thus, the results of this systematic review should be interpreted with caution, since there may be more studies on the subject that have not been included.

## 5. CONCLUSION

Many methods of assessing cervical spine posture in the sagittal plane were found. Sixteen based on radiography and four on photogrammetry. The meta-analysis showed the photogrammetry-based cervical arrow and cervical lordosis methods present very high intra-rater reliability. For radiography, the meta-analysis also showed the Cobb method (inferior C2 - inferior C7), Cobb method (middle C1 - inferior C7), absolute rotation angle, and Gore angle (C2-C7) present very high inter-rater reliability, and the Cobb method (inferior C2 - inferior C7) and absolute rotation angle present very high intra-rater reliability. However, the results showed high heterogeneity and/or few studies were included in the analyzes. Regarding validity, it is suggested that further studies be conducted to investigate the degree of accuracy of the photogrammetry-based methods.

## REFERENCES

- ABELIN-GENEVOIS, Kariman *et al.* Cervical spine alignment in the pediatric population: a radiographic normative study of 150 asymptomatic patients. **European Spine Journal**, v. 23, n. 7, p. 1442–1448, 2014.
- AERA. **Standards for Educational and Psychological Testing**. Washington, DC: American Educational Research Association, American Psychological Association, National Council on Measurement in Education, 1999.
- ALBUQUERQUE, Priscila Maria Nascimento Martins de *et al.* Concordance and reliability of photogrammetric protocols for measuring the cervical lordosis angle: A systematic review of the literature. **Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics**, v. 41, n. 1, p. 71–80, 2018.
- ARMIJO-OLIVO, Susan *et al.* A comparison of the head and cervical posture between the self-balanced position and the Frankfurt method. **Journal of Oral Rehabilitation**, v. 33, p. 194–201, 2006.
- BARTKO, John J. Measurement and reliability: Statistical thinking considerations. **Schizophrenia Bulletin**, v. 17, n. 3, p. 483–489, 1991.
- BAUMGARTNER, Ted A. Measurement in physical education and exercise science estimating the stability reliability of a score. **Measurement in Physical Education and Exercise Science**, v. 7841, p. 37–41, 2009.
- BÉDARD, Michel *et al.* Assessing reproducibility of data obtained with instruments based on continuous measurements. **Experimental Aging Research**, v. 26, n. 4, p. 353–365, 2000.
- BELLI, Juliana Fernanda Canhadas *et al.* Analysis of body posture in children with mild to moderate asthma. **European Journal of Pediatrics**, v. 168, n. 10, p. 1207–1216, 2009.
- BERNAL, Lucia V *et al.* Craniocervical posture in children with class I, II and III skeletal relationships. **Pesquisa Brasileira em Odontopediatria e Clínica Integrada**, v. 17, n. 1, p. 1–12, 2017.
- BLAND, John M.; ALTMAN, Douglas G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. **The Lancet**, v. 1, p. 307–310, 1986.
- BRINK, Yolandi; LOUW, Quinette. Clinical instruments: Reliability and validity critical appraisal. **Journal of Evaluation in Clinical Practice**, v. 18, p. 1126–1132, 2012.
- COBB, John Robert. **Outlines for the study of scoliosis**. Ann Arbor: MI, 1948.
- COHEN, Larry *et al.* Non-radiographic methods of measuring global sagittal balance: A systematic review. **Scoliosis and Spinal Disorders**, v. 12, n. 30, p. 1–12, 2017.
- CÔTÉ, Pierre *et al.* Apophysial joint degeneration, disc degeneration, and sagittal curve of the cervical spine. Can they be measured reliably on radiographs? **Spine**, v. 22, n. 8, p. 859–864, 1997.

DENEGAR, Craig R.; BALL, Donald W. Assessing reliability and precision of measurement: An introduction to intraclass correlation and standard error of measurement. **Journal of Sport Rehabilitation**, v. 2, n. 1, p. 35–42, 1993.

DUNK, Nadine M.; LALONDE, Jennifer; CALLAGHAN, Jack 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, 2005.

FURLANETTO, Tássia Silveira *et al.* Fidedignidade de um protocolo de avaliação postural. **Revista da Educacao Fisica**, v. 22, n. 3, p. 411–9, 2011.

FURLANETTO, Tássia Silveira *et al.* Photogrammetry as a tool for the postural evaluation of the spine: A systematic review. **World Journal of Orthopedics**, v. 7, n. 2, p. 136, 2016.

FURLANETTO, Tássia Silveira *et al.* Evaluation of the precision and accuracy of the DIPA software postural assessment protocol. **European Journal of Physiotherapy**, v. 19, n. 4, p. 179–184, 2017.

GADOTTI, Inae C. *et al.* Reliability of the craniocervical posture assessment: Visual and angular measurements using photographs and radiographs. **Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics**, v. 36, n. 9, p. 619–25, 2013.

GORE, Donald R.; SEPIC, Susan B.; GARDNER, Gena M. Roentgenographic finding of the cervical spine in asymptomatic people. **Spine**, v. 11, n. 6, p. 521–24, 1986.

HARDACKER, James W. *et al.* Radiographic standing cervical segmental alignment in adult volunteers without neck symptoms. **Spine**, v. 22, n. 13, p. 1472–1480, 1997.

HARRISON, Deed Eric *et al.* Cobb method or Harrison posterior tangent method: Which to choose for lateral cervical radiographic analysis. **Spine**, v. 25, n. 16, p. 2072–78, 2000.

HIGGINS, Julian P. T. *et al.* Measuring inconsistency in meta-analyses. **British Medical Journal**, v. 327, p. 557–560, 2003.

HINKLE, Dennis E.; WIERSMA, William; JURIS, Stephen G. **Applied statistics for the behavioural sciences**. Chicago, 1979.

ISHIHARA, A. Roentgenographic studies on the normal pattern of the cervical curvature. **Nihon Seikeigeka Gakkai Zasshi**, v. 42, n. 11, p. 1033–44, 1968.

IUNES, Denise Hollanda *et al.* Confiabilidade intra e interexaminadores e repetibilidade da avaliação postural pela fotogrametria. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, v. 9, n. 3, p. 327–334, 2005.

IYER, Sravisht *et al.* Variations in occipitocervical and cervicothoracic alignment parameters based on age: A prospective study of asymptomatic volunteers using full-body radiographs. **Spine**, 2016.

- JANUSZ, Piotr *et al.* Reliability of cervical lordosis measurement techniques on long-cassette radiographs. **European Spine Journal**, v. 25, n. 11, p. 3596–3601, 2016.
- KOO, Terry K.; LI, Mae Y. A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. **Journal of Chiropractic Medicine**, v. 15, n. 2, p. 155–163, 2016.
- LEE, Choon Sung *et al.* Analysis of sagittal spinal alignment in 181 asymptomatic children. **Journal of Spinal Disorders & Techniques**, v. 25, n. 8, p. 259–263, 2012.
- LEROUX, Michel A. *et al.* A noninvasive anthropometric technique for measuring kyphosis and lordosis. **Spine**, v. 25, n. 13, p. 1689–94, 2003.
- MCGRAW, Kenneth O.; WONG, S. P. Forming inferences about some intraclass correlation coefficients. **Psychological Methods**, v. 1, n. 1, p. 30–46, 1996.
- OHARA, Akira *et al.* Reliabilities of and correlations among five standard methods of assessing the sagittal alignment of the cervical spine. **Spine**, v. 31, n. 22, p. 2585–91, 2006.
- PARK, Moon Soo *et al.* The effect of age on cervical sagittal alignment. **Spine**, v. 38, n. 8, p. 458–463, 2013.
- PARK, Sang-Min *et al.* Does whole-spine lateral radiograph with clavicle positioning reflect the correct cervical sagittal alignment? **European Spine Journal**, v. 24, n. 1, p. 57–62, 2015.
- PLAUGHER, Gregory; CREMATA, Edward E.; PHILLIPS, Reed B. A retrospective consecutive case analysis of pretreatment and comparative static radiological parameters following chiropractic adjustments. **Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics**, v. 13, n. 9, p. 498–506, 1990.
- POLLY, David W. *et al.* Measurement of lumbar lordosis: Evaluation of intraobserver, interobserver, and technique variability. **Spine**, v. 21, n. 13, p. 1530–6, 1996.
- RAINE, Sally; TWOMEY, Lance. Posture of the head, shoulders and thoracic spine in comfortable erect standing. **Australian Journal of Physiotherapy**, v. 40, n. 1, p. 25–32, 1994.
- REFSHAUGE, Kathryn M.; GOODSELL, Michalene; LEE, Michael. The relationship between surface contour and vertebral body measures of upper spine curvature. **Spine**, v. 19, n. 19, p. 2180–2185, 1994.
- RUIVO, Rodrigo Miguel; PEZARAT-CORREIA, Pedro; CARITA, Ana Isabel. Intrarater and interrater reliability of photographic measurement of upper-body standing posture of adolescents. **Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics**, v. 38, n. 1, p. 74–80, 2015.
- SEDREZ, Juliana Adami *et al.* Non-invasive postural assessment of the spine in the sagittal plane: A systematic review. **Motricidade**, v. 12, n. 2, p. 140–54, 2016.

SHROUT, Patrick E.; FLEISS, Joseph L. Intraclass correlations: Uses in assessing rater reliability. **Psychological Bulletin**, v. 86, n. 2, p. 420–8, 1979.

SILBER, Jeff S. *et al.* Measurement variability in the assessment of sagittal alignment of the cervical spine. **Journal of Spinal Disorders & Techniques**, v. 17, n. 4, p. 301–305, 2004.

STROUP, Donna *et al.* Meta-analysis of observational studies in epidemiology. **Journal of the American Medical Association**, v. 283, n. 15, 2000.

VAN NIEKERK, Sjan-Mari *et al.* Photographic measurement of upper-body sitting posture of high school students: a reliability and validity study. **BMC Musculoskeletal Disorders**, v. 9, n. 1, p. 113, 2008.

WATSON, Anthony W. S. Procedure for the production of high quality photographs suitable for the recording and evaluation of posture. **Revista Fisioterapia da Universidade de São Paulo**, v. 5, n. 1, p. 20–6, 1998.

WATSON, Dean H.; TROTT, Patricia H. Cervical headache: An investigation of natural head posture and upper cervical flexor muscle performance. **Cephalalgia**, v. 13, 1993.

WEBER, Priscila *et al.* Craniocervical posture: Cephalometric and biophotogrammetric analysis. **Brazilian Journal of Oral Sciences**, v. 11, n. 3, p. 416–421, 2012.

WEIR, Joseph P. Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 19, n. 1, p. 231–240, 2005.

ZHOU, Siyu *et al.* Age-based normal sagittal alignment in Chinese asymptomatic adults: Establishment of the relationships between pelvic incidence and other parameters. **European Spine Journal**, v. 29, n. 3, p. 396–404, 2020.



## **CAPÍTULO 2: É POSSÍVEL DESENVOLVER E VALIDAR UM MODELO DE PREDIÇÃO DA CURVATURA DA COLUNA CERVICAL NO PLANO SAGITAL A PARTIR DA SUPERFÍCIE DA PELE DE ADULTOS?**

### **RESUMO**

**Introdução:** Existem poucos estudos de validação da fotogrametria como ferramenta para mensurar a coluna cervical (CC) no plano sagital. A escassez de estudos pode estar relacionada a dificuldade de avaliar a região por meio de fotografia, que usa como referência a superfície da pele.

**Questão de pesquisa:** É possível desenvolver e validar um modelo de predição da curvatura da CC no plano sagital a partir da superfície da pele de adultos?

**Métodos:** Trata-se de um estudo observacional, retrospectivo e de desenvolvimento e validação de um modelo de predição diagnóstico, que foi dividido em: (1) desenvolvimento de modelos de predição e (2) validação dos modelos. Um banco de dados de 60 radiografias da CC no plano sagital de adultos saudáveis foi utilizado. A avaliação das radiografias foi realizada por meio de uma rotina matemática que, através da digitalização de pontos, calculou seis ângulos: ângulo C2-C7 e ângulo C3-C7 calculado a partir dos centroides dos corpos vertebrais (LCce), dos processos espinhosos (LCpe) e da superfície da pele (LCsp). A etapa 1 foi dividida em duas partes. Para a etapa 1a, os ângulos C2-C7 e C3-C7 calculados a partir da LCce, da LCpe (eixo y) e da LCsp (eixo x) de 25 radiografias foram plotados em gráficos de dispersão de onde foram obtidos os modelos de predição usando Regressão Linear Simples. Na etapa 1b, o mesmo procedimento foi realizado, mas a amostra total foi dividida em cinco grupos, de acordo com o tipo de alinhamento da CC: lordótico (GL), reto (GR), cifótico (GC), sigmoide (GS), e sigmoide reverso (GSR). Os modelos de predição desenvolvidos na etapa 1 em que (1) o ajuste sem o previsor foi diferente do ajuste com o previsor, e (2) os Coeficientes de Determinação foram maiores que 0,4, passaram para a etapa 2. Vinte radiografias foram necessárias para a validação de cada modelo. A validação dos modelos foi avaliada utilizando: (1) Coeficiente de Correlação de Pearson; (2) Erro RMS; e (3) Análise de Bland e Altman. Essas análises foram realizadas entre os valores angulares estimados a partir das equações e os valores reais obtidos a partir da análise das radiografias.

**Resultados:** 55 radiografias preencheram os critérios de elegibilidade. Nenhum modelo da etapa 1a passou para a etapa 2. Dois modelos da etapa 1b passaram para a etapa 2. O modelo criado a partir do GC apresentou os melhores resultados de validação. No entanto, os valores do ângulo real e do estimado a partir desse modelo apresentaram correlação muito baixa e não estatisticamente significativa ( $r = -0,229$ ;  $p = 0,332$ ) e o erro RMS foi alto ( $34,2^\circ$ ).

**Significância:** A configuração dos corpos vertebrais e dos processos espinhosos não é bem determinada pela configuração da superfície da pele sobrejacente da CC no plano sagital de adultos.

**Palavras-chave:** Vértebras Cervicais, Lordose, Modelos Estatísticos, Análise de Regressão, Estudos de Validação.

## ABSTRACT

**Background:** There are few validation studies of photogrammetry as a tool to measure the cervical spine (CS) in the sagittal plane. The scarcity of studies may be related to the difficulty involved in assessing the region using photography, which uses the skin surface as a reference.

**Research question:** Is it possible to develop and validate a model for predicting the curvature of the CS in the sagittal plane from the skin surface of adults?

**Methods:** This is an observational, retrospective and development and validation study of a diagnostic prediction model, which was divided into: (1) prediction models development and (2) model validation. A database of 60 CS radiographs in the sagittal plane of healthy adults was used. Radiographs assessment was performed from a mathematical routine that, through the digitization of points, calculated six angles: angle C2-C7 and C3-C7 calculated from the centroid of the vertebral bodies (LCce), of the spinous processes (LCpe) and the skin surface (LCsp). Step 1 was divided into two parts. In step 1a, the angles C2-C7 and C3-C7 calculated from LCce, LCpe (y-axis) and LCsp (x-axis) were plotted on scatter plots, from which the prediction models were obtained using Simple Linear Regression. In step 1b, the same procedure was performed, but the sample was divided into five groups, according to the type of CS alignment: lordotic (GL), straight (GR), kyphotic (GC), sigmoid (GS), and reverse sigmoid (GSR). The models developed in step 1 in which (1) the adjustment without the predictor was different from the adjustment with the predictor, and (2) the Determination Coefficients were greater than 0.4, passed to step 2. Twenty radiographs were necessary for the validation of each model. The model validation was assessed using: (1) Pearson's Product-Moment Correlation Coefficient; (2) RMS Error; and (3) Bland and Altman Analysis. These analyzes were performed between the angular values estimated from the equations and the real values obtained from the radiograph's analysis.

**Results:** 55 radiographs met the eligibility criteria. No model from step 1a passed to step 2. Two models from step 1b passed to step 2. The model created from the GC showed the best validation results. However, the real and estimated angle values from this model showed a very low and not statistically significant correlation ( $r = -0.229$ ;  $p = 0.332$ ) and the RMS error was high ( $34.2^\circ$ ).

**Significance:** The configuration of vertebral bodies and spinous processes is not well determined by the configuration of the overlying skin surface of the CS in the sagittal plane of adults.

**Key words:** Cervical Vertebrae, Lordosis, Statistical Models, Regression Analysis, Validation Study.

## 1. INTRODUÇÃO

A fotogrametria combinada com técnicas computadorizadas é uma importante ferramenta de avaliação postural, e já vem sendo amplamente utilizada (FURLANETTO *et al.*, 2016; SMITH; O’SULLIVAN; STRAKER, 2008; SACCO *et al.*, 2007; DUNK; LALONDE; CALLAGHAN, 2005; LEROUX *et al.*, 2003; WATSON, 1998). Essa técnica não invasiva de avaliação tem como objetivo informar indiretamente o posicionamento das estruturas avaliadas, através do registro e análise de fotografias.

Cada vez mais, pesquisadores e profissionais têm sido estimulados a escolher ferramentas para medir uma variável de interesse com base em parâmetros científicos que garantam a acurácia e a precisão das medidas, como validade concorrente e confiabilidade. No entanto, são poucos os estudos de validação usando a fotogrametria para mensurar a coluna cervical no plano sagital (PIVOTTO; NAVARRO; CANDOTTI, 2020; ALBUQUERQUE *et al.*, 2018). Essa escassez de estudos pode estar relacionada a dificuldade de avaliar a região por meio de fotografia, que usa como referência a superfície da pele.

Furlanetto *et al.*, (2020; 2017) mostraram que as curvaturas sagitais da coluna são bem determinadas pelo contorno da superfície da pele. Os autores desenvolveram e validaram modelos de predição para estimar o ângulo das curvaturas sagitais da coluna a partir da superfície da pele. No entanto, o estudo ficou limitado à avaliação das curvaturas da coluna torácica e lombar. 6

Nesse sentido, o objetivo do presente estudo foi desenvolver e validar um modelo diagnóstico para estimar a curvatura da coluna cervical no plano sagital a partir da superfície da pele de adultos.

## 2. MÉTODOS

O estudo é observacional, retrospectivo e de desenvolvimento e validação de um modelo de predição diagnóstico, que seguiu as recomendações do TRIPOD (*Transparent Reporting of a Multivariable Prediction Model for Individual Prognosis Or Diagnosis*) (MOONS *et al.*, 2015), e foi aprovado no Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade (CAAE: 15571819.5.0000.5347).

Para o desenvolvimento do estudo foi utilizado um banco de dados do Grupo de Investigação da Mecânica do Movimento composto por 60 radiografias sagitais da coluna cervical coletadas em 2014, na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. Os critérios de elegibilidade foram: radiografias de boa qualidade que permitissem a visualização clara dos pontos de interesse da coluna cervical no plano sagital, de adultos saudáveis, de ambos os sexos, com idade entre 18 e 65 anos, e ausência de qualquer intervenção cirúrgica prévia na coluna vertebral.

As radiografias armazenadas no banco de dados foram realizadas com o indivíduo sentado, com os ombros posicionados perpendicularmente ao *bucky* radiográfico, e com uma régua flexível (Modelo 1240, *Trident*, São Paulo, Brasil) moldada e fixada com velcros na região cervical (RAUPP *et al.*, 2017), que permitiu a identificação da superfície da pele da coluna cervical.

O estudo foi dividido em etapas. A etapa 1 foi dividida em: etapa 1a que consistiu no desenvolvimento dos modelos de predição a partir de uma amostra do banco de dados selecionada de forma aleatória; e etapa 1b que consistiu no desenvolvimento dos modelos de predição a partir de uma amostra dividida em grupos de acordo com o alinhamento da cervical. Os modelos de predição desenvolvidos na etapa 1 em que (1) o ajuste do modelo sem o previsor foi diferente do ajuste com o previsor (hipótese alternativa da ANOVA da Regressão Linear Simples), e (2) os Coeficientes de Determinação ( $r^2$ ) foram maiores que 0,4, passaram para a etapa 2. A etapa 2 consistiu na validação dos modelos de predição a partir de uma amostra do banco de dados selecionada de forma aleatória.

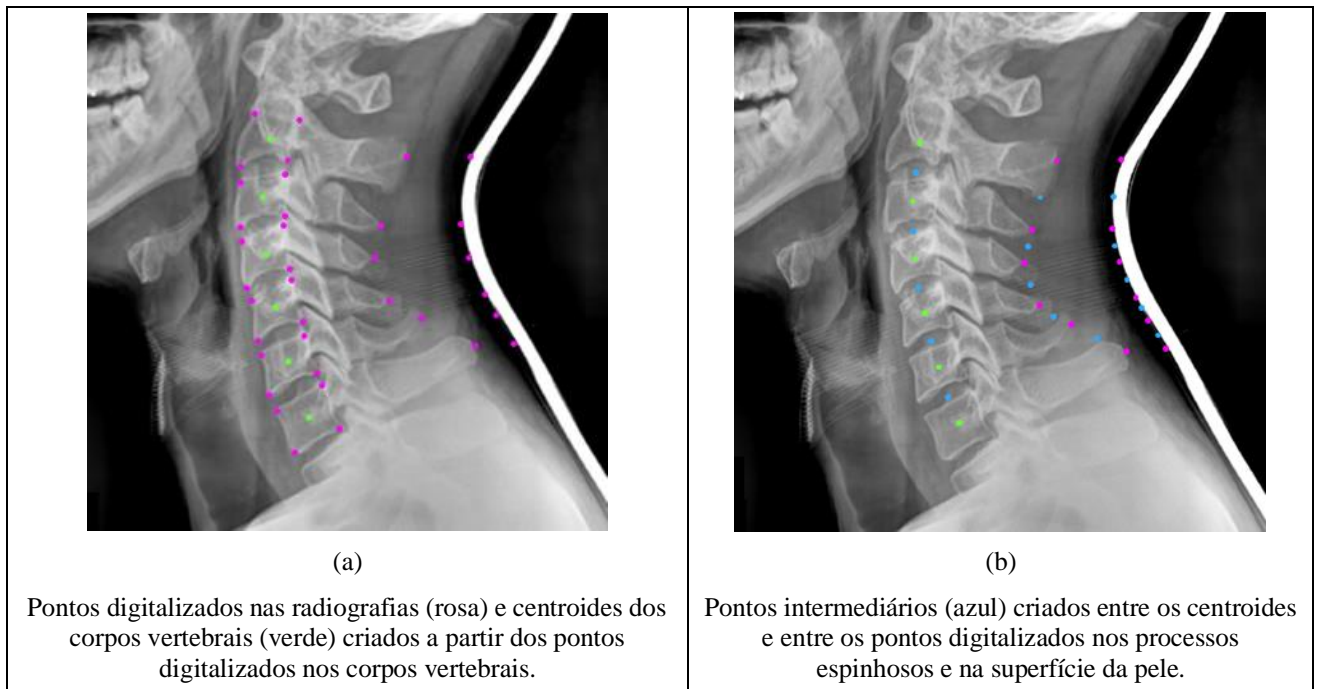
Para cada etapa do estudo foi realizado um cálculo amostral. Todos os cálculos foram realizados no *software G\*Power* 3.1.9.2. Também para cada etapa do estudo foram realizados diferentes procedimentos estatísticos realizados no *software Statistical Package for the Social Sciences* (versão 26.0). O nível de significância adotado para todas as análises foi de 0,05. O detalhamento dos cálculos amostrais e das análises estatísticas realizadas estão descritos em cada etapa.

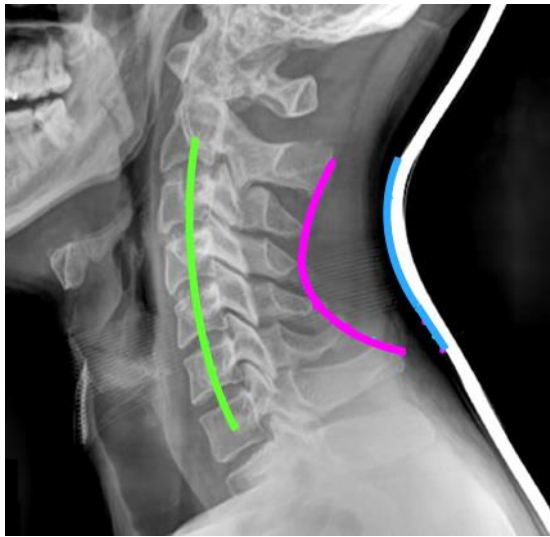
## 2.1 Análise das radiografias

Foi desenvolvida em ambiente MATLAB (*MATrix LABORatory, MathWorks Inc, R2012b*) uma rotina para a avaliação das radiografias. As avaliações foram realizadas em março de 2020.

Inicialmente era necessário digitalizar nas imagens radiográficas os seguintes pontos: quatro cantos 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. Todos esses pontos foram digitalizados na segunda (C2), terceira (C3), quarta (C4), quinta (C5), sexta (C6) e sétima vértebra cervical (C7) (Figura 1a).

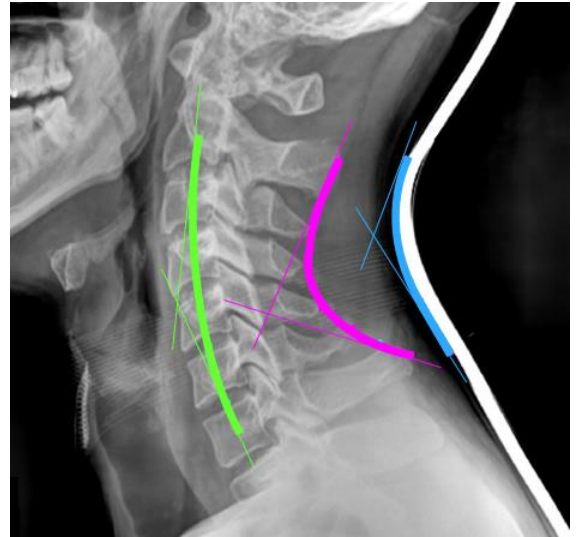
**Figura 1.** Processo de digitalização e cálculo da magnitude da curvatura cervical.





(c)

Linhas traçadas a partir de polinômios de quarto grau. Em verde a LCce, em rosa a LCpe e em azul a LCsp.



(d)

Tangentes traçadas nos níveis dos pontos de C2 e C7.

**Legenda:** LCce = linha cervical a partir dos centroides dos corpos vertebrais; LCpe = linha cervical a partir dos processos espinhosos; LCsp = linha cervical a partir da superfície da pele.

A partir dos quatro cantos de cada corpo vertebral foi encontrado o centroide do corpo vertebral. Para isso, duas retas foram traçadas, uma do canto superior anterior ao canto inferior posterior e outra do canto superior posterior ao canto inferior anterior, o centroide foi o ponto onde as duas retas se cruzavam (Figura 1a).

Além disso, pontos intermediários foram criados entre os centroides e entre os pontos digitalizados nos processos espinhosos e na superfície da pele, totalizando 11 pontos em cada estrutura (corpo vertebral, processo espinhoso e superfície da pele) (Figura 1b).

Em seguida, três linhas que representam a coluna cervical (LC) foram traçadas: uma a partir dos centroides dos corpos vertebrais (LCce); outra a partir dos pontos nos ápices dos processos espinhosos (LCpe); e outra a partir dos pontos na superfície da pele (LCsp). Essas linhas foram traçadas a partir de polinômios de quarto grau (Figura 1c).

A escolha do grau do polinômio foi realizada após a análise dos erros quadrados médios (EQM) calculados para polinômios de primeiro a quarto grau. Os EQM foram normalizados a partir da média da largura (distância do canto superior anterior ao canto superior posterior) dos corpos vertebrais de C2 a C7. A Tabela 1 mostra os valores médios dos EQM de cada grau de polinômio. Pode-se observar que os polinômios de quarto grau apresentaram os menores EQM. Para a LCce e para a LCsp os EQM foram de aproximadamente 1% da média da largura dos

corpos vertebrais, e para o LCpe foram de aproximadamente 16%. Polinômios de maior grau não foram testados devido ao sobre-ajuste (*overfitting*) dos dados.

**Tabela 1.** Resultados descritivos do erro quadrado médio entre os diferentes polinômios testados para cada linha que representa a coluna cervical (LC) (n = 55).

	Erro quadrado médio			
	Polinômio de 1° média (DP)	Polinômio de 2° média (DP)	Polinômio 3° média (DP)	Polinômio de 4° média (DP)
LCce	55,0 (65,4)	6,9 (5,9)	2,5 (2,0)	1,1 (0,7)
LCpe	810,3 (528,1)	83,6 (103,4)	35,6 (37,3)	16,3 (16,7)
LCsp	262,2 (150,2)	4,4 (3,7)	2,4 (2,1)	1,4 (0,8)

**Legenda:** DP = desvio padrão; LCce = linha cervical a partir dos centroides dos corpos vertebrais; LCpe = linha cervical a partir dos processos espinhosos; LCsp = linha cervical a partir da superfície da pele.

Por fim, linhas tangentes às LC foram traçadas nos níveis de C2, C3 e C7. Os menores ângulos formados entre as linhas C2 e C7, e entre as linhas C3 e C7 foram calculados (ângulo C2-C7 e ângulo C3-C7, respectivamente) (Figura 1d). Assim, seis ângulos foram calculados ao final da análise das radiografias: ângulo C2-C7 da LCce, ângulo C2-C7 da LCpe e ângulo C2-C7 da LCsp; e ângulo C3-C7 da LCce, ângulo C3-C7 da LCpe e ângulo C3-C7 da LCsp.

## 2.2 Desenvolvimento dos modelos de predição: Etapa 1a

O tamanho da amostra para essa etapa foi calculado com base na família de testes F e com base no teste estatístico de Regressão Múltipla, assumindo: um tamanho de efeito de 0,35 (grande); 80% do poder; um nível de significância de 5%; e um preditor. Portanto, foram necessárias 25 radiografias para desenvolver os modelos de predição. Essas 25 radiografias foram selecionadas a partir da amostra total de forma aleatória. Para isso foi criada uma linha de números aleatórios em uma planilha no *Microsoft Excel* a partir da função “aleatórioentre”.

Os ângulos C2-C7 e C3-C7 calculados a partir da LCce, da LCpe (eixo y) e da LCsp (eixo x) dessas 25 radiografias foram plotados em gráficos de dispersão de onde foram obtidos os modelos de predição por meio de Regressão Linear Simples. O  $r^2$ , que é uma medida de ajuste, foi calculado para cada modelo. Quanto maior o  $r^2$ , mais explicativo é o modelo, ou seja, melhor ela se ajusta à amostra. O  $r^2$  identifica quanto a variação da variável dependente (ângulo

C2-C7 e C3-C7 da LCce e da LCpe) é explicada a partir da variável independente (ângulo C2-C7 e C3-C7 da LCsp).

### **2.3 Desenvolvimento dos modelos de predição: Etapa 1b**

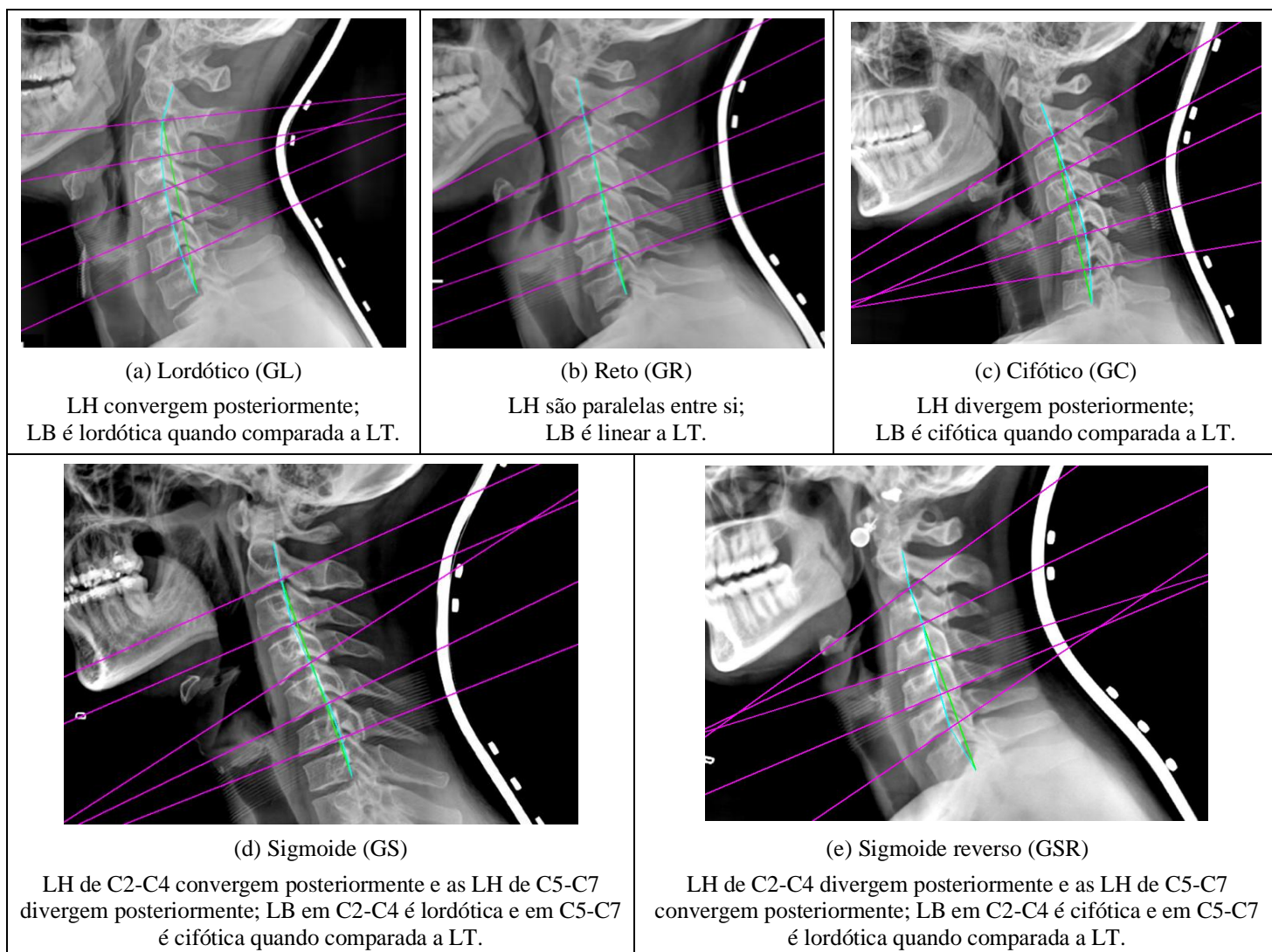
Para essa etapa a amostra total foi dividida em 5 grupos, de acordo com o tipo de alinhamento da coluna cervical: lordótico (GL), reto (GR), cifótico (GC), sigmoide (GS), e sigmoide reverso (GSR). Para isso foram utilizados os métodos de Herbst, (1980) e de Takeshima *et al.*, (2002). Ambos métodos dependem da interpretação visual qualitativa do avaliador e foram escolhidos por não utilizarem medidas lineares em suas metodologias, pois as radiografias do banco de dados não continham escala.

No método de Herbst, (1980) são traçadas linhas que passam pelos cantos inferior-anterior e inferior-posterior dos corpos vertebrais. Foram traçadas linhas de C2 a C6 (LH). No método de Takeshima *et al.*, (2002) é traçada uma linha que conecta o canto posterior-inferior do corpo vertebral de C2 ao de C7 (LT). Essa linha serve como referência de alinhamento e o comportamento das bordas posteriores dos corpos vertebrais de C2 a C7 (LB) é analisado a partir dessa linha.

Para a análise do alinhamento da coluna cervical foi desenvolvida uma rotina em ambiente MATLAB (*MATrix LABoratory, MathWorks Inc, R2012b*) que traçava as linhas LH, LT e LB nas radiografias a partir da digitalização dos pontos de interesse. A Figura 2 descreve como foi feita a classificação em cada grupo de acordo com a interpretação das linhas desenhadas nas radiografias.



**Figura 2.** Classificação do alinhamento da cervical.



**Legenda:** LH = linhas horizontais (rosa); LB = linha traçada nas bordas posteriores dos corpos vertebrais (azul); LT = linha de Takeshima (verde).

Ambos os métodos foram utilizados para realizar a classificação do alinhamento da coluna cervical nos 5 grupos. Quando houve discordância na conclusão do avaliador através de cada método, o avaliador utilizou sua experiência para definir a classificação.

Dois avaliadores independentes (L.R.P. e I.C.S.) realizaram o processo de classificação das radiografias em grupos de acordo com o tipo de alinhamento cervical para verificar a confiabilidade inter-avaliador. Uma semana depois, um dos avaliadores (L.R.P) repetiu todo o procedimento de classificação para verificar a confiabilidade intra-avaliador, sem ter acesso às informações da primeira avaliação. Os resultados foram analisados por meio do Coeficiente Kappa e do percentual de concordância e estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Resultados da confiabilidade inter e intra-avaliador da classificação das radiografias pelo tipo de alinhamento da cervical (n = 55).

	Confiabilidade Inter-avaliador			Confiabilidade Intra-avaliador		
	% de concordância	Kappa	p	% de concordância	Kappa	p
Método de Takeshima	43,6	0,332	< 0,001	89,1	0,838	< 0,001
Método de Herbst	52,7	0,404	< 0,001	85,5	0,809	< 0,001
Ambos métodos	67,3	0,584	< 0,001	85,5	0,807	< 0,001

A classificação final das radiografias nos 5 grupos, foi realizada através do consenso entre os dois avaliadores (L.R.P. e I.C.S.).

O avaliador L.R.P. era fisioterapeuta há 3 anos e o avaliador I.C.S. era estudante de fisioterapia. Ambos receberam treinamento prévio de 12 horas, que envolveu a identificação dos pontos anatômicos de interesse nas radiografias, familiarização com o MATLAB e com os métodos de Herbst, (1980) e Takeshima *et al.*, (2002).

Após a divisão da amostra nos 5 grupos, os ângulos C2-C7 e C3-C7 calculados a partir da LCce, da LCpe (eixo y) e da LCsp (eixo x) de cada grupo foram plotados em gráficos de dispersão de onde foram obtidos os modelos de predição por meio de Regressão Linear Simples e os  $r^2$  foram calculados.

## 2.4 Validação dos modelos de predição: Etapa 2

Nessa etapa do estudo o tamanho da amostra foi calculado com base na família de testes exatos e utilizando o teste estatístico de correlação para um modelo normal bivariado e com os seguintes parâmetros: duas caudas; valor da hipótese nula de 0,40; poder de 80%; e nível de significância de 5% para detectar um valor r de 0,8. Portanto, 20 radiografias foram necessárias para a validação de cada modelo. Essas radiografias não foram as mesmas utilizadas no desenvolvimento de cada modelo (etapa 1b) e elas foram selecionadas de forma aleatória da amostra total sem as radiografias utilizadas no desenvolvimento do modelo. Para isso foi criada

uma linha de números aleatórios em uma planilha no *Microsoft Excel* a partir da função “aleatórioentre”.

Os modelos de predição desenvolvidos na etapa 1 em que (1) o ajuste do modelo sem o previsor foi diferente do ajuste com o previsor (hipótese alternativa da ANOVA da Regressão Linear Simples), e (2) os  $r^2$  foram maiores que 0,4, passaram para essa etapa. Os modelos foram utilizados para estimar os ângulos calculados a partir da LCce ou da LCpe (centroides dos corpos vertebrais e processos espinhosos, respectivamente), com base no ângulo calculado a partir da LCsp (superfície da pele).

A validação dos modelos foi avaliada utilizando: (1) Coeficiente de Correlação Produto-Momento de Pearson; (2) Erro RMS (*Root Mean Square Error*); e (3) Análise de Bland e Altman. Essas análises foram realizadas entre os valores angulares estimados a partir das equações e os valores reais obtidos a partir da análise das radiografias.

O Coeficiente de Correlação Produto-Momento de Pearson foi interpretado da seguinte forma:  $\leq 0,25$  correlação muito baixa;  $0,26 - 0,49$  correlação baixa;  $0,50 - 0,69$  correlação moderada;  $0,70 - 0,89$  correlação alta; e  $\geq 0,90$  correlação muito alta.

Para o modelo ser considerado válido, (1) o Coeficiente de Correlação Produto-Momento de Pearson deveria ser alto ou muito alto; (2) o Erro RMS deveria ser menor do que 10% do valor do ângulo real; e na Análise Gráfica de Bland e Altman, (3) a hipótese nula do Teste t Simples em que não há diferença entre zero e a média das diferenças entre o ângulo real e o estimado não deveria ser rejeitada ( $p > 0,05$ ), (4) as diferenças e as médias dos ângulos real e estimado deveriam encontrar-se dispersos e entre os limites de concordância na análise gráfica, e (5) a hipótese nula da ANOVA da Regressão Linear Simples em que não há associação entre a média dos ângulos reais e estimados com a diferença entre eles não deveria ser rejeitada ( $p > 0,05$ ).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Descrição da amostra

O banco de dados era composto por 60 radiografias da coluna cervical no plano sagital de indivíduos saudáveis de ambos os sexos, 55 radiografias preencheram os critérios de elegibilidade e foram utilizadas no presente estudo. 58,2% dos indivíduos eram do sexo feminino e 41,8% do sexo masculino, tinham idade média de 36,6 (DP 13,9) anos, massa corporal média de 75,7 (DP 17,7) quilogramas e estatura média de 170,3 (DP 9,9) centímetros.

A Tabela 3 apresenta os valores médios dos ângulos C2-C7 e C3-C7 calculados para LCce, LCpe e para LCsp separados em grupos (GL, GR, GS, GSR e GC) e para a amostra total (n = 55).

**Tabela 3.** Resultados descritivos do ângulo C2-C7 e C3-C7 dos grupos e da amostra total (n = 55).

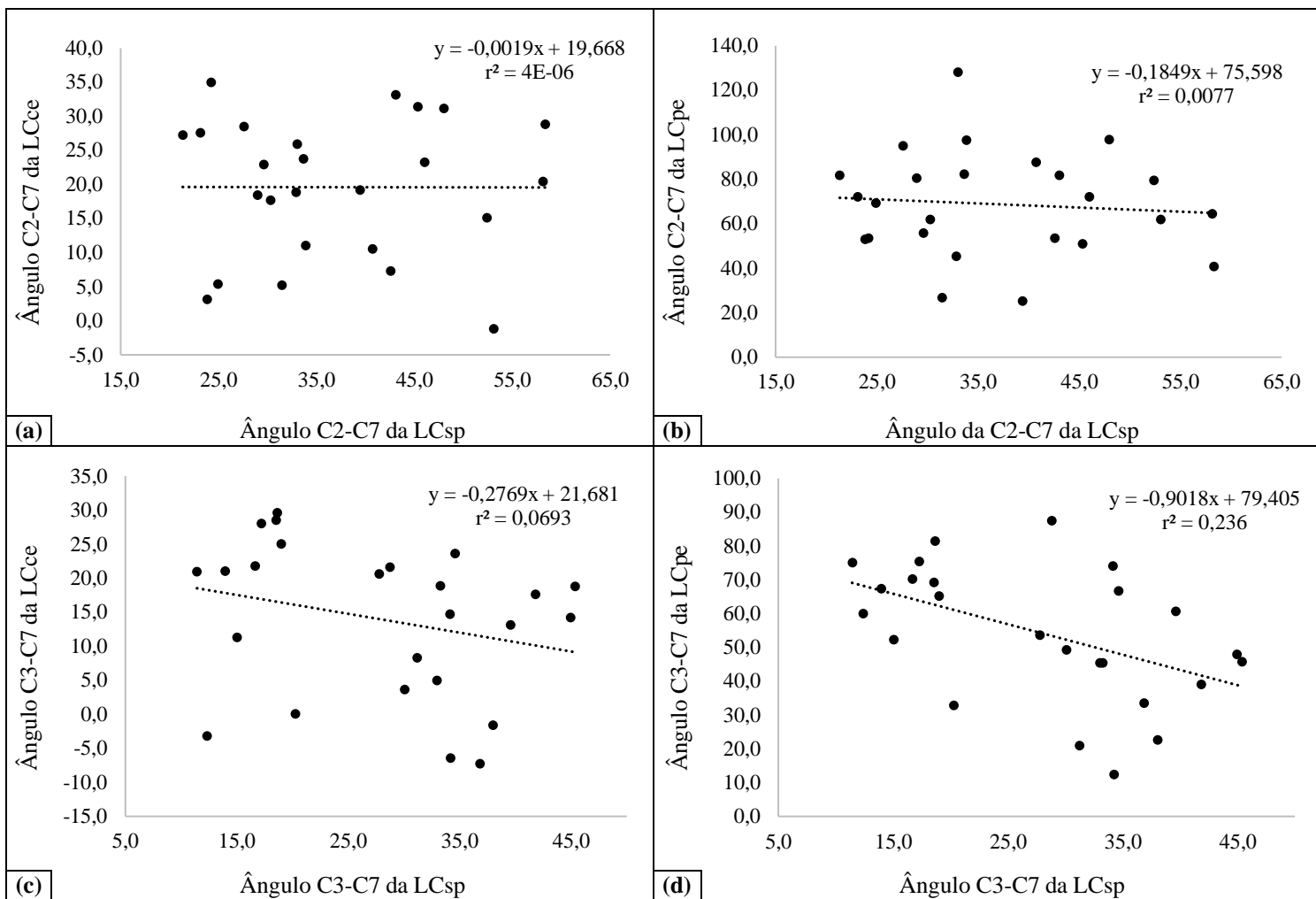
Tipo de alinhamento	Número de casos (%)	Ângulo C2-C7 (°)			Ângulo C3-C7 (°)		
		LCce média (DP)	LCpe média (DP)	LCsp média (DP)	LCce média (DP)	LCpe média (DP)	LCsp média (DP)
GL	20 (36,4)	27,6 (4,6)	68,6 (29,3)	36,1 (10,8)	22,4 (3,9)	64,7 (14,3)	27,0 (10,5)
GR	11 (20,0)	14,7 (6,3)	65,1 (21,4)	38,2 (7,1)	7,9 (5,6)	47,2 (14,6)	29,2 (6,5)
GS	5 (9,1)	9,8 (6,8)	42,2 (13,3)	35,4 (7,9)	-0,5 (6,1)	34,5 (17,8)	28,1 (10,3)
GSR	8 (14,5)	16,5 (3,6)	62,1 (23,2)	42,9 (15,7)	14,4 (6,2)	49,6 (13,0)	30,7 (12,6)
GC	11 (20,0)	1,9 (9,4)	68,1 (23,2)	35,1 (11,0)	-5,6 (8,2)	39,4 (13,5)	26,9 (7,2)
<b>Total</b>	55 (100)	16,7 (11,4)	64,4 (25,0)	37,2 (10,8)	10,7 (12,3)	51,2 (17,8)	28,0 (9,3)

**Legenda:** DP = desvio padrão; GL = grupo lordótico; GR = grupo reto; GS = grupo sigmoide; GSR = grupo sigmoide reverso; GC = grupo cifótico; LCce = linha cervical a partir dos centroides dos corpos vertebrais; LCpe = linha cervical a partir dos processos espinhosos; LCsp = linha cervical a partir da superfície da pele.

É possível observar que, em média: os ângulos C3-C7 são menores que os ângulos C2-C7; os ângulos C2-C7 e C3-C7 da LCce são menores que os ângulos da LCsp, que são menores que os ângulos da LCpe; os ângulos C2-C7 e C3-C7 da LCpe apresentam os maiores valores; os ângulos C2-C7 da LCce e LCpe apresentam diferença média de 47,1°, enquanto que os ângulos C2-C7 da LCsp e LCce e da LCsp e LCpe apresentam diferença média de 23,5° e 23,7°, respectivamente; os ângulos C3-C7 da LCce e LCpe apresentam diferença média de 39,4°, enquanto que os ângulos C3-C7 da LCsp e LCce e da LCsp e LCpe apresentam diferença média de 20,7° e 18,7°, respectivamente.

### 3.2 Desenvolvimento dos modelos de predição: Etapa 1a

Para a etapa 1a, 25 radiografias foram analisadas. Os Gráficos 1a e 1c mostram a dispersão dos ângulos C2-C7 e C3-C7 da LCce sobre os mesmos ângulos da LCsp, respectivamente, e os Gráficos 1b e 1d mostram a dispersão dos ângulos C2-C7 e C3-C7 da LCpe sobre os mesmos ângulos da LCsp, respectivamente, além dos modelos de predição e os  $r^2$ . A Tabela 4 mostra os resultados da Regressão Linear Simples.



**Gráfico 1.** Etapa 1a: dispersão dos ângulos C2-C7 e C3-C7 da LCce (a e c) e LCpe (b e d) sobre LCsp, os modelos de predição e os Coeficientes de Determinação ( $r^2$ ) (n = 25).

**Tabela 4.** Resultados da Regressão Linear Simples da etapa 1a (n = 25).

	LCce x LCsp	LCpe x LCsp
<b>Ângulo C2-C7</b>	$F_{[1,23]} < 0,001$ ; $p = 0,988$ ; $r^2 < 0,001$	$F_{[1,23]} = 0,178$ ; $p = 0,677$ ; $r^2 = 0,008$
<b>Ângulo C3-C7</b>	$F_{[1,23]} = 1,712$ ; $p = 0,204$ ; $r^2 = 0,069$	$F_{[1,23]} = 7,081$ ; $p = 0,014^*$ ; $r^2 = 0,235$

**Legenda:** \* = significância estatística; LCce = linha cervical a partir dos centroides dos corpos vertebrais; LCpe = linha cervical a partir dos processos espinhosos; LCsp = linha cervical a partir da superfície da pele;  $r^2$  = Coeficiente de Determinação.

É possível observar que o ângulo C3-C7 da LCsp prevê o ângulo C3-C7 da LCpe ( $F_{[1,23]} = 7,081$ ;  $p = 0,014$ ). No entanto, o modelo explica apenas 24% da variância do ângulo C3-C7 da LCpe (Gráfico 1d) (Tabela 4).

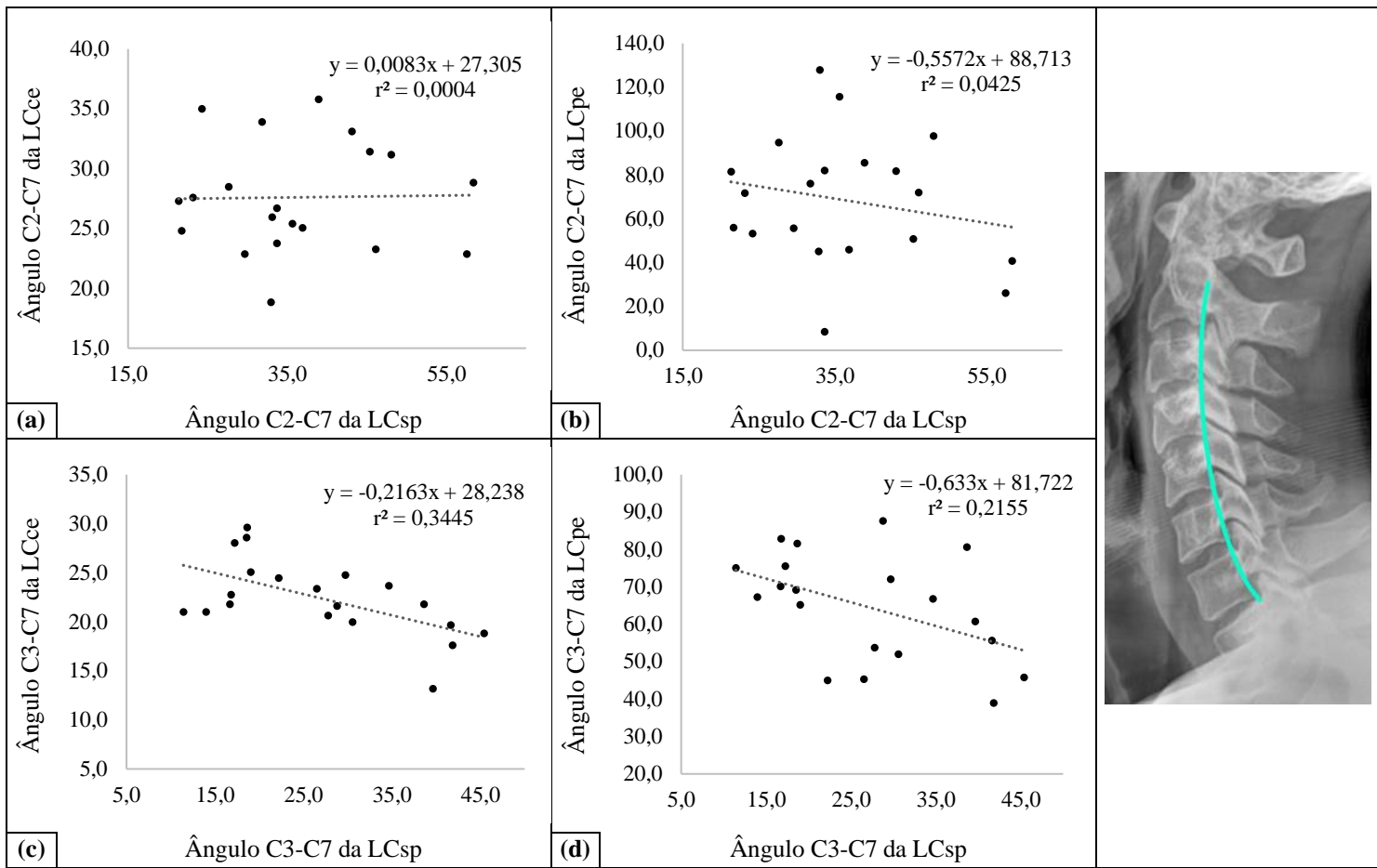
Em relação aos demais resultados, os modelos apresentaram  $r^2 < 0,4$  e os ajustes sem o previsor foram iguais aos ajustes com o previsor (Gráficos 1a, 1b e 1c) (Tabela 4).

### 3.3 Desenvolvimento dos modelos de predição: Etapa 1b

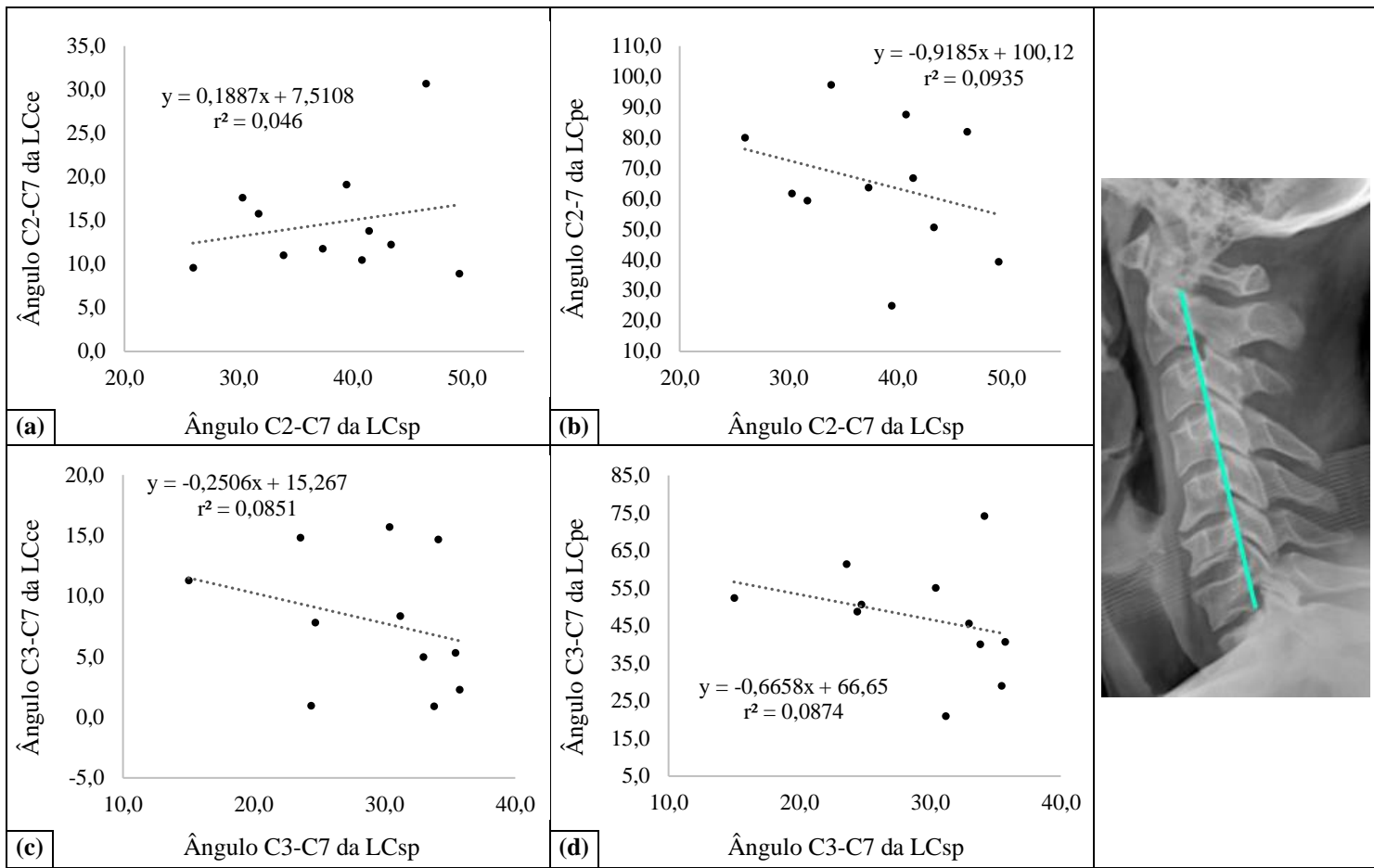
Para essa etapa, a amostra foi dividida em 5 grupos de acordo com o alinhamento da coluna cervical: 36,4% da amostra apresentou alinhamento lordótico da cervical; 20% apresentou alinhamento reto; 20% apresentou alinhamento cifótico; 14,5% apresentou alinhamento sigmoide reverso; e 9,1% apresentou alinhamento sigmoide (Tabela 3).

Como não foi possível obter bons modelos de predição na etapa 1a, novos modelos foram testados, um específico para cada grupo (GL, GR, GS, GSR e GC).

Os Gráficos 2 a 6 mostram a dispersão dos ângulos C2-C7 e C3-C7 da LCce e da LCpe sobre os ângulos C2-C7 e C3-C7 da LCsp nos diferentes grupos, além dos modelos de predição e os  $r^2$ . A Tabela 5 mostra os resultados da Regressão Linear Simples.

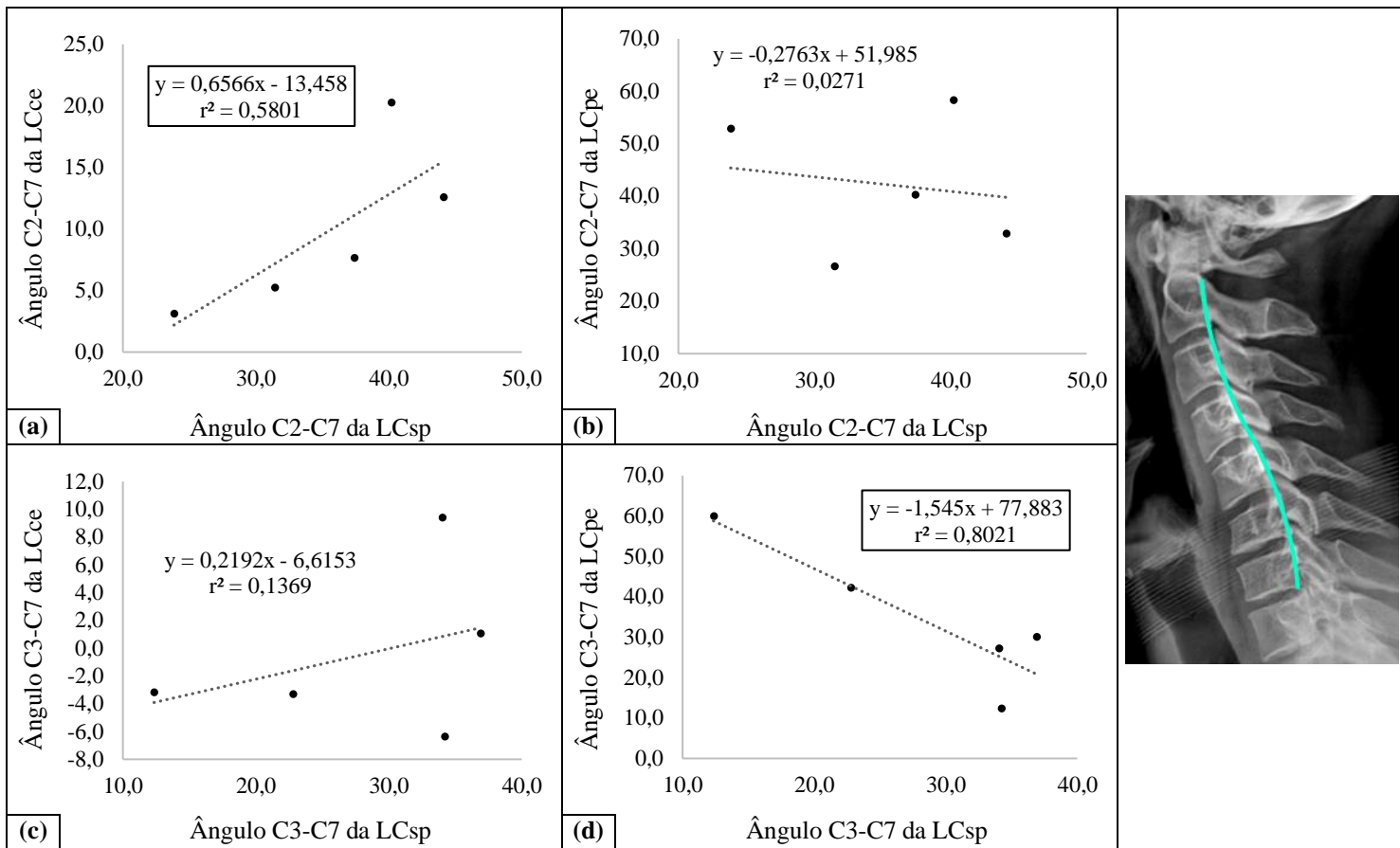


**Gráfico 2.** Etapa 1b: dispersão dos ângulos C2-C7 e C3-C7 da LCce e LCpe sobre LCsp, os modelos de predição e os Coeficientes de Determinação ( $r^2$ ) do grupo lordótico (GL) (n = 20).

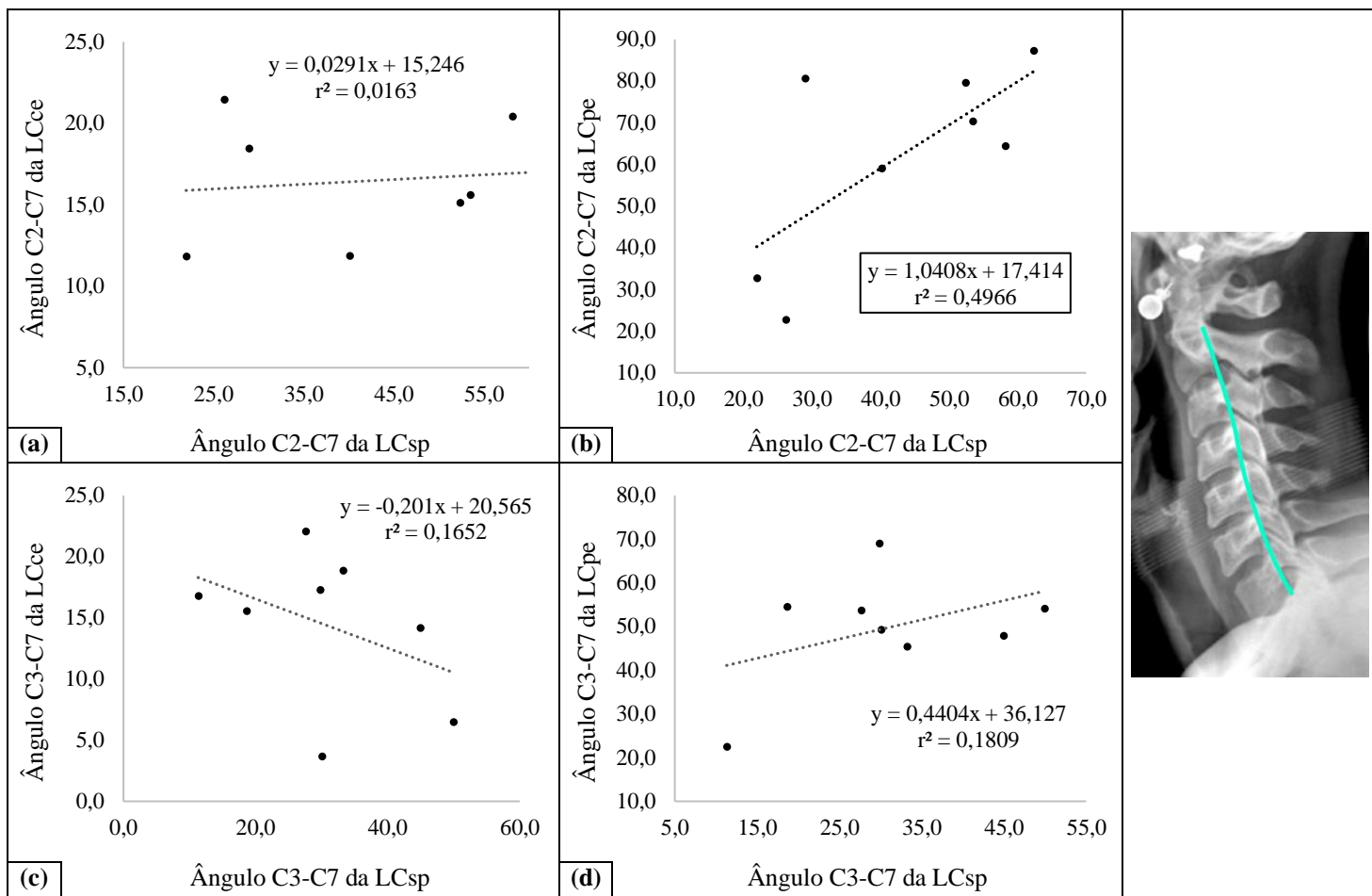


**Gráfico 3.** Etapa 1b: dispersão dos ângulos C2-C7 e C3-C7 da LCce e LCpe sobre LCsp, os modelos de predição e os Coeficientes de Determinação ( $r^2$ ) do grupo reto (GR) ( $n = 11$ ).

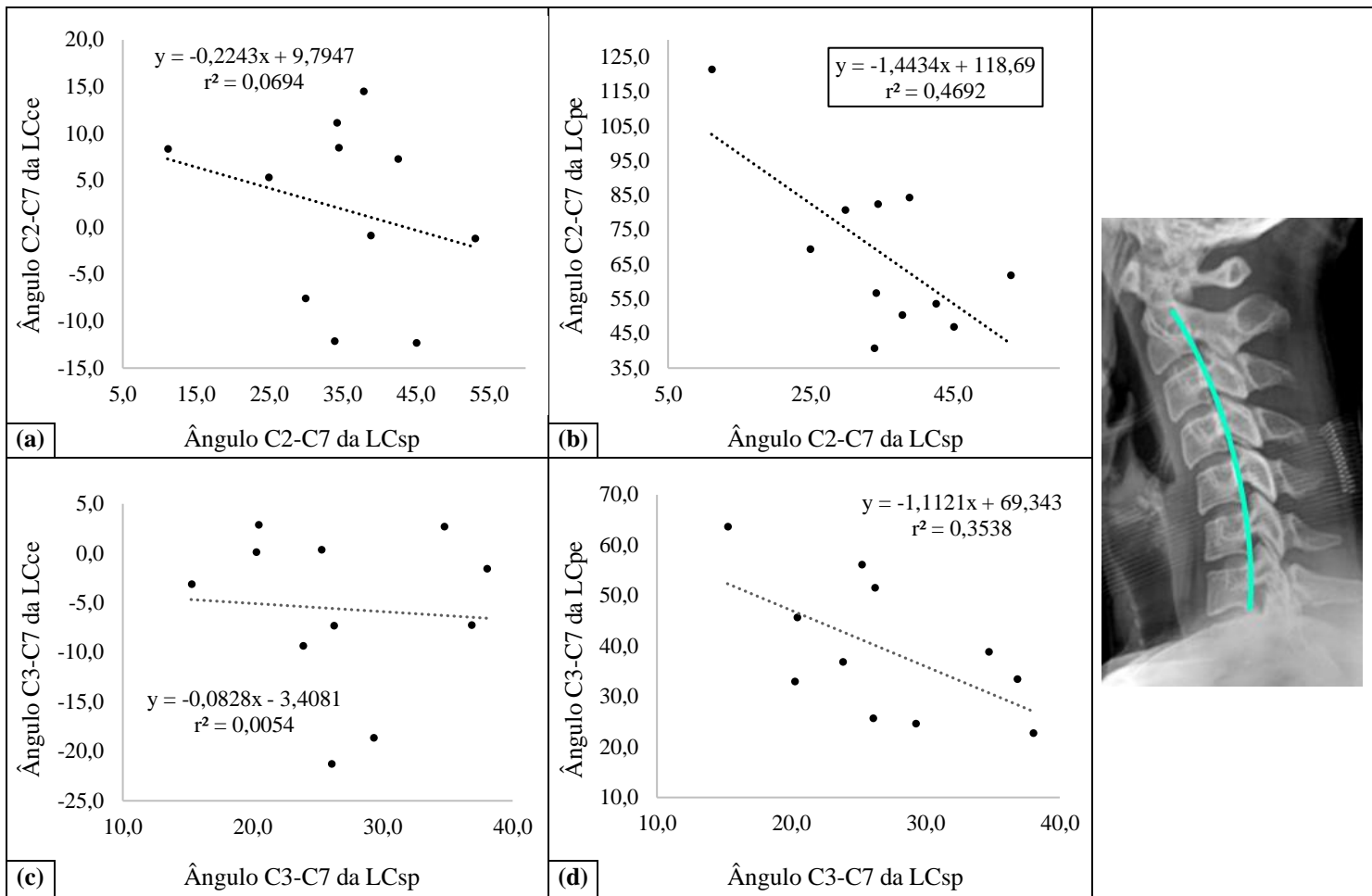




**Gráfico 4.** Etapa 1b: dispersão dos ângulos C2-C7 e C3-C7 da LCce e LCpe sobre LCsp, os modelos de predição e os Coeficientes de Determinação ( $r^2$ ) do grupo sigmóide (GS) (n = 5).



**Gráfico 5.** Etapa 1b: dispersão dos ângulos C2-C7 e C3-C7 da LCce e LCpe sobre LCsp, os modelos de predição e os Coeficientes de Determinação ( $r^2$ ) do grupo sigmóide reverso (GSR) ( $n = 8$ ).



**Gráfico 6.** Etapa 1b: dispersão dos ângulos C2-C7 e C3-C7 da LCce e LCpe sobre LCsp, os modelos de predição e os Coeficientes de Determinação ( $r^2$ ) do grupo cifótico (GC) (n = 11).

**Tabela 5.** Resultados da Regressão Linear Simples da etapa 1b.

Tipo de alinhamento	Ângulo C2-C7		Ângulo C3-C7	
	LCce x LCsp	LCpe x LCsp	LCce x LCsp	LCpe x LCsp
<b>GL</b> (n = 20)	F <sub>[1,18]</sub> = 0,006; p = 0,939; r <sup>2</sup> < 0,001	F <sub>[1,18]</sub> = 0,799; p = 0,383; r <sup>2</sup> = 0,043	F <sub>[1,18]</sub> = 9,517; p = 0,006*; r <sup>2</sup> = 0,345	F <sub>[1,18]</sub> = 4,954; p = 0,039*; r <sup>2</sup> = 0,216
<b>GR</b> (n = 11)	F <sub>[1,9]</sub> = 0,441; p = 0,523; r <sup>2</sup> = 0,046	F <sub>[1,9]</sub> = 0,922; p = 0,362; r <sup>2</sup> = 0,094	F <sub>[1,9]</sub> = 0,842; p = 0,383; r <sup>2</sup> = 0,085	F <sub>[1,9]</sub> = 0,855; p = 0,379; r <sup>2</sup> = 0,087
<b>GS</b> (n = 5)	F <sub>[1,3]</sub> = 4,172; p = 0,134; r <sup>2</sup> = 0,580	F <sub>[1,3]</sub> = 0,082; p = 0,793; r <sup>2</sup> = 0,027	F <sub>[1,3]</sub> = 0,478; p = 0,539; r <sup>2</sup> = 0,137	F <sub>[1,3]</sub> = 12,160; p = 0,040*; r <sup>2</sup> = 0,802
<b>GSR</b> (n = 8)	F <sub>[1,6]</sub> = 0,092; p = 0,772; r <sup>2</sup> = 0,016	F <sub>[1,6]</sub> = 5,941; p = 0,051; r <sup>2</sup> = 0,497	F <sub>[1,6]</sub> = 1,201; p = 0,315; r <sup>2</sup> = 0,165	F <sub>[1,6]</sub> = 1,327; p = 0,293; r <sup>2</sup> = 0,181
<b>GC</b> (n = 11)	F <sub>[1,9]</sub> = 0,666; p = 0,435; r <sup>2</sup> = 0,069	F <sub>[1,9]</sub> = 7,977; p = 0,020*; r <sup>2</sup> = 0,469	F <sub>[1,9]</sub> = 0,048; p = 0,832; r <sup>2</sup> = 0,005	F <sub>[1,9]</sub> = 4,888; p = 0,054; r <sup>2</sup> = 0,354

**Legenda:** \* = significância estatística; GL = grupo lordótico; GR = grupo reto; GS = grupo sigmoide; GSR = grupo sigmoide reverso; GC = grupo cifótico; LCce = linha cervical a partir dos centroides dos corpos vertebrais; LCpe = linha cervical a partir dos processos espinhosos; LCsp = linha cervical a partir da superfície da pele; r<sup>2</sup> = Coeficiente de Determinação.

É possível observar que o ângulo C3-C7 da LCsp prevê o ângulo C3-C7 da LCce (F<sub>[1,18]</sub> = 9,517; p = 0,006) e, também, o ângulo C3-C7 da LCpe (F<sub>[1,18]</sub> = 4,954; p = 0,039) do GL. No entanto, os modelos explicam apenas 35% da variância do ângulo C3-C7 da LCce (Gráfico 2c) e 22% da LCpe (Gráfico 2d) (Tabela 5).

O ângulo C3-C7 da LCsp prevê o ângulo C3-C7 da LCpe (F<sub>[1,3]</sub> = 12,160; p = 0,040), e o modelo explica 80% da variância do ângulo C3-C7 da LCpe do GS (Gráfico 4d) (Tabela 5).

Ainda, o ângulo C2-C7 da LCsp prevê o ângulo C2-C7 da LCpe (F<sub>[1,9]</sub> = 7,977; p = 0,020), e o modelo explica 47% da variância do ângulo C2-C7 da LCpe do GC (Gráfico 6b) (Tabela 5).

Também pode-se observar que o ângulo C2-C7 da LCsp explica 58% o ângulo C2-C7 da LCce do GS (Gráfico 4a), e o ângulo C2-C7 da LCsp explica 50% o ângulo C2-C7 da LCpe do GSR (Gráfico 5b). No entanto, as Regressões Lineares Simples mostraram que o ângulo C2-C7 da LCsp não explica o ângulo C2-C7 da LCce do GS (F<sub>[1,3]</sub> = 4,172; p = 0,134), e o ângulo

C2-C7 da LCsp não explica o ângulo C2-C7 da LCpe do GSR ( $F_{[1,6]} = 5,941$ ;  $p = 0,051$ ) (Tabela 5).

Em relação aos demais resultados, os modelos apresentaram  $r^2 < 0,4$  e o ajuste do modelo sem o predictor foi igual ao ajuste com o predictor (Gráficos 2a, 2b, 3a, 3b, 3c, 3d, 4b, 4c, 5a, 5c, 5d, 6a, 6c e 6d) (Tabela 5).

### 3.4 Validação dos modelos de predição: Etapa 2

Apenas dois modelos passaram para essa etapa (Gráfico 4d e 6b), a partir dos critérios estabelecidos: (1) ajuste do modelo sem o predictor diferente do ajuste com o predictor, e (2)  $r^2 > 0,4$ . Os resultados de validação podem ser observados nas Tabelas 6 e 7 e no Gráfico 7.

**Tabela 6.** Resultados de validação dos modelos de predição ( $n = 20$ ).

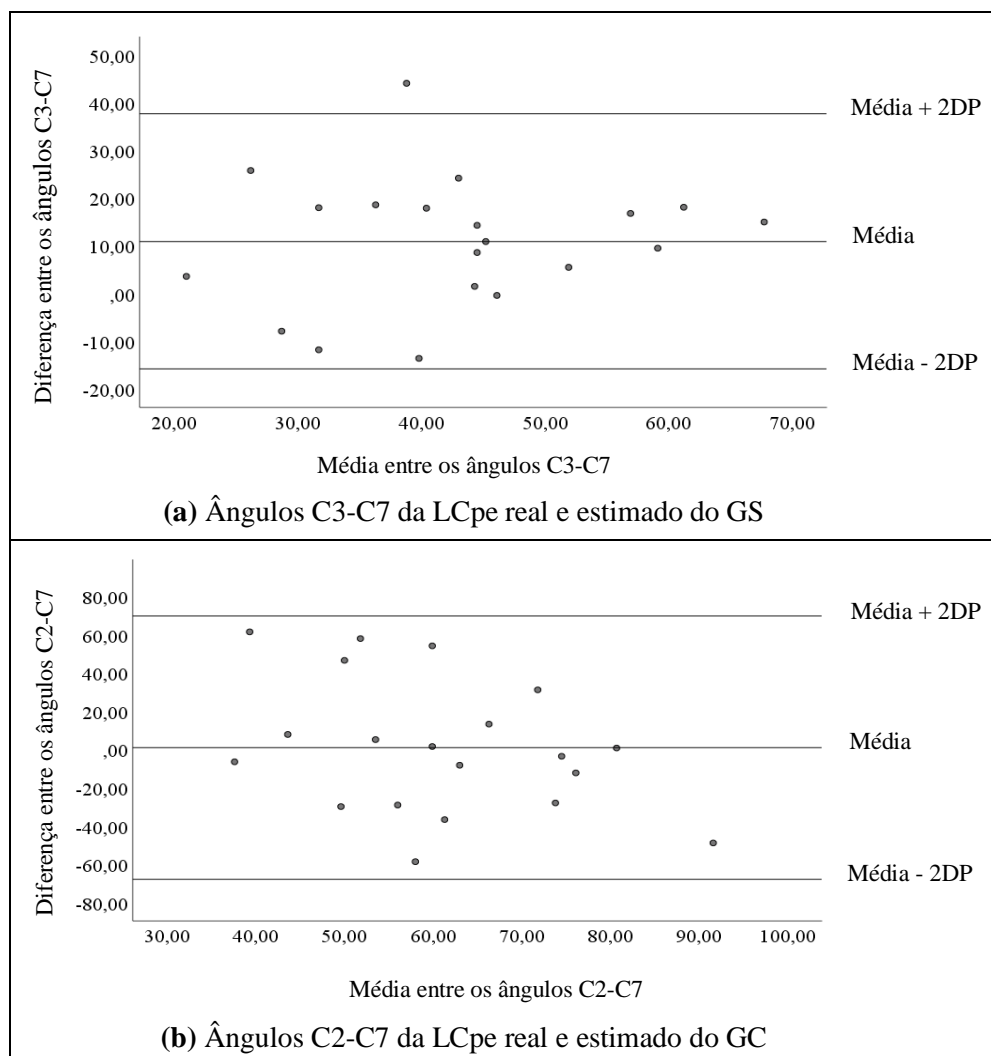
Tipo de alinhamento	Ângulo	Ângulo real média (DP)	Ângulo estimado média (DP)	r, p	Erro RMS
GS	C3-C7 LCpe	48,4° (14,7°)	37,5° (13,1°)	0,521; 0,019*	17,2°
GC	C2-C7 LCpe	60,4° (26,3°)	61,4° (18,0°)	-0,229; 0,332	34,2°

**Legenda:** \* = significância estatística; r = correlação de Pearson; DP = desvio padrão; GS = grupo sigmoide; GC = grupo cifótico; LCpe = linha cervical a partir dos processos espinhosos; RMS = *root mean square*.

**Tabela 7.** Resultados da Análise de Bland e Altman ( $n = 20$ ).

Tipo de alinhamento	Ângulo	Test t Simples, p	Média das diferenças (DP)	Limite inferior – Limite superior	ANOVA Médias x diferenças
GS	C3-C7 LCpe	3,578; 0,002*	10,9° (13,7°)	-15,8° – 37,7°	$F_{[1,18]} = 0,330$ ; $p = 0,573$
GC	C2-C7 LCpe	0,136; 0,893	1,1° (35,1°)	-67,7° – 69,9°	$F_{[1,18]} = 2,863$ ; $p = 0,108$

**Legenda:** \* = significância estatística; DP = desvio padrão; GS = grupo sigmoide; GC = grupo cifótico; LCpe = linha cervical a partir dos processos espinhosos.



**Gráfico 7.** Etapa 2: Análises Gráficas de Bland e Altman entre os valores reais e estimados ( $n = 20$ ).

É possível observar que o modelo criado a partir do GC que estima o ângulo C2-C7 da LCpe (Gráfico 6d) apresentou os melhores resultados de validação: a média das diferenças entre o ângulo real e o estimado pelo modelo foi similar a zero ( $t = 0,136$ ;  $p = 0,893$ ); as diferenças e as médias dos ângulos real e estimado encontram-se dispersos e entre os limites de concordância na Análise de Bland e Altman ( $-67,7^\circ - 69,9^\circ$ ); e não houve associação entre o comportamento da média dos ângulos reais e estimados com a diferença entre eles ( $F_{[1,18]} = 2,863$ ;  $p = 0,108$ ) (Tabela 7) (Gráfico 7b). No entanto, os valores do ângulo real e do estimado apresentaram correlação muito baixa ( $r = -0,229$ ;  $p = 0,332$ ) e o erro RMS foi alto ( $34,2^\circ$ ) (Tabela 6).

Em relação aos resultados do modelo criado a partir do GS que estima o ângulo C3-C7 da LCpe (Gráfico 4d) foi possível observar que não houve associação entre o comportamento da média dos ângulos reais e estimados com a diferença entre eles ( $F_{[1,18]} = 0,330$ ;  $p = 0,573$ ) (Tabela 7). No entanto, os valores do ângulo real e do ângulo estimado pelo modelo apresentaram correlação moderada ( $r = 0,521$ ;  $p = 0,019$ ); o erro RMS foi alto ( $17,2^\circ$ ) (Tabela 6); a média das diferenças entre o ângulo real e o estimado pelo modelo não foi similar a zero ( $t = 3,578$ ;  $p = 0,002$ ); e as diferenças e as médias dos ângulos real e estimado não encontram-se dispersos e entre os limites de concordância na Análise de Bland e Altman ( $-15,8^\circ - 37,7^\circ$ ) (Tabela 7) (Gráfico 7a).

#### 4. DISCUSSÃO

A prática clínica comum de avaliar a postura da coluna vertebral no plano sagital, a partir da superfície da pele, é baseada na suposição de que a curvatura da superfície reflete de forma consistente a curvatura subjacente da coluna vertebral. Os resultados do presente estudo não suportam essa suposição para a coluna cervical.

Os resultados do presente estudo mostraram que não foi possível desenvolver modelos válidos que predizem o ângulo C2-C7 ou o ângulo C3-C7, calculados a partir da linha cervical dos centroides dos corpos vertebrais e da linha cervical dos processos espinhosos, com base nesses mesmos ângulos, calculados a partir da linha cervical da superfície da pele, ou seja, não foi possível desenvolver e validar um modelo de predição da coluna cervical no plano sagital, a partir da superfície da pele de adultos.

Refshauge *et al.*, (1994) investigaram o grau em que medidas na superfície da pele do alinhamento cervical refletem o alinhamento do corpo vertebral subjacente, em radiografias sagitais de 24 indivíduos saudáveis de ambos os sexos com idade média de 27,4 anos. Os resultados mostraram coeficientes de correlação (Coeficiente de Correlação Produto-Momento de Pearson) de 0,32 a 0,82 ( $p < 0,001$ ) e diferenças estatisticamente significativas no Teste t Pareado ( $p < 0,001$ ), entre os valores angulares calculados, a partir de pontos marcados na superfície da pele, e a partir de pontos marcados nos corpos vertebrais subjacentes. Os autores apontam que os seus resultados não sustentam a suposição de que a curvatura da superfície da pele é a mesma que a curvatura vertebral.

Os resultados do presente estudo corroboram com os achados de Refshauge *et al.*, (1994), uma vez que não foi possível prever os valores angulares calculados a partir de pontos marcados nos corpos vertebrais, com base em valores angulares calculados a partir de pontos marcados na superfície da pele, por meio de uma amostra de 25 indivíduos saudáveis de ambos os sexos com idade média de 36,6 (DP 13,9) (Gráfico 1) (Tabela 4).

Esses achados podem ser explicados por diversos fatores. Um deles está relacionado aos diferentes alinhamentos que a curvatura cervical no plano sagital pode apresentar (CHIBA *et al.*, 2006; OHARA *et al.*, 2006; TAKESHIMA *et al.*, 2002; YU *et al.*, 2015). Na tentativa de investigar melhor esse fator, a amostra foi dividida a partir dos diferentes alinhamentos da curvatura cervical. Pode-se observar (Tabela 3) que os ângulos C2-C7 e C3-C7 da LCce do GL apresentaram os maiores valores (27,6° (DP 4,6°) e 22,4° (DP 3,9°), respectivamente), do GC apresentaram os menores (1,9° (DP 9,4°) e -5,6° (DP 8,2°), respectivamente), e dos outros grupos (GR, GS, GSR) apresentaram valores intermediários, ou seja, o GL apresentou curvaturas mais lordóticas, o GC apresentou curvaturas menos lordóticas. No entanto, o mesmo comportamento não foi observado para os ângulos da LCpe e da LCsp. Isso mostra que a configuração dos corpos vertebrais não acompanha a configuração dos processos espinhosos e da superfície da pele entre os diferentes grupos.

Apesar de dois modelos desenvolvidos a partir da amostra dividida em grupos terem passado para a etapa 2 (Gráfico 4d e 6b), o tamanho das amostras dos grupos era pequeno e essa é uma limitação do presente estudo. Jenkins e Quintana-Ascencio, (2020) recomendam tamanhos amostrais maiores ou iguais a 25 para regressões. Os autores ainda apontam que modelos de predição criados a partir de tamanhos amostrais pequenos podem gerar resultados inconclusivos ou contraditórios. Nesse sentido, é fundamental que novos estudos com tamanhos amostrais adequados sejam conduzidos, e os resultados do presente estudo sejam interpretados com cautela.

Embora a posição de sedestação não seja a mais aconselhável para diagnósticos posturais, nesse estudo as radiografias foram realizadas com os indivíduos nessa posição. No entanto, todas as medições de cada indivíduo foram realizadas na mesma radiografia com o indivíduo na posição sentada.

Outro fator que pode explicar os achados do presente estudo, é a morfologia dos processos espinhosos da coluna cervical. Como exemplo, Nissan e Gilad, (1984) descreveram um modelo antropométrico da vértebra humana usando parâmetros medidos em radiografias



sagittais da região cervical e lombar de 157 homens saudáveis com nenhuma deformidade na coluna ou patologia conhecida. Os resultados desse estudo mostraram que há uma diferença de 16 milímetros entre o comprimento do processo espinho mais longo (C7) e do mais curto (C4) da coluna cervical. Enquanto essa diferença para a coluna lombar foi de 5,4 milímetros.

Panjabi *et al.*, (1992) e Panjabi *et al.*, (1991) realizaram medições tridimensionais em 12 espécimes de vértebras da região lombar e cervical, respectivamente, e corroboram com os achados de Nissan e Gilad, (1984). Eles encontraram uma diferença de 17,2 milímetros entre o comprimento do processo espinho mais longo (C7) e do mais curto (C5) da coluna cervical (PANJABI *et al.*, 1991). Enquanto essa diferença para a coluna lombar foi de apenas 4 milímetros (PANJABI *et al.*, 1992). A partir dos achados desses estudos (NISSAN; GILAD, 1984; PANJABI *et al.*, 1991, 1992) é possível observar que a diferença entre o comprimento dos processos espinhosos na coluna cervical é maior quando comparada ao comprimento dos processos espinhosos da coluna lombar.

Nesse sentido, por mais que o alinhamento da coluna cervical, que leva em consideração referências nos corpos vertebrais, seja cifótico, os processos espinhosos e a superfície da pele mantem um comportamento lordótico. No presente estudo, foi possível observar que os ângulos C2-C7 e C3-C7 da LCce foram, em média, menores que os ângulos da LCsp, que foram menores que os ângulos da LCpe; ou seja, a LCpe é mais lordótica quando comparada à LCce e a LCsp, e a LCsp é mais lordótica quando comparada à LCce (Tabela 3). Refshauge *et al.*, (1994) também encontraram resultados que mostram que a superfície da pele é mais lordótica do que os corpos vertebrais subjacentes. Os autores, da mesma forma, argumentam que os seus achados podem ser explicados pela diferença no comprimento dos processos espinhosos na região cervical, combinada com a profundidade dos tecidos moles sobrejacentes e a variabilidade individual.

A coluna cervical possui muitos elementos anatômicos passíveis de variação anatômica, como o tamanho do disco intervertebral, a forma do corpo vertebral, o tamanho dos pedículos, o tamanho do forame vertebral, a inclinação e espaçamento das facetas, o comprimento, a inclinação e o formato do processo espinhoso, entre outros. Nesse sentido, a avaliação da curvatura da coluna cervical é difícil de ser realizada com qualquer instrumento, dada a variabilidade individual. Avaliar essa região tão heterogênea anatomicamente já é um desafio, mesmo para metodologias de avaliação consideradas padrão ouro.

Importante salientar que utilizando os mesmos ângulos calculados, tanto a partir dos centroides dos corpos vertebrais e dos processos espinhosos, quanto a partir da superfície da pele, não foi possível desenvolver bons modelos de predição das estruturas internas (corpos vertebrais e processos espinhosos) a partir da estrutura externa (superfície da pele) por meio de Regressão Linear Simples. Nesse sentido, novos estudos precisam ser conduzidos a fim de testar outras formas de predizer a coluna cervical no plano sagital.

## 5. CONCLUSÃO

Foi possível observar que, em média, o comportamento dos ângulos C2-C7 e C3-C7 calculados a partir dos centroides dos corpos vertebrais e dos processos espinhosos são diferentes do comportamento desses mesmos ângulos calculados a partir da superfície da pele da coluna cervical. Nesse sentido, conclui-se que não foi possível desenvolver um modelo válido que prediz a curvatura da coluna cervical no plano sagital (ângulo C2-C7 e C3-C7 da LCce e LCpe) a partir da superfície da pele (ângulo C2-C7 e C3-C7 da LCsp).

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, Priscila Maria Nascimento Martins de *et al.* Concordance and reliability of photogrammetric protocols for measuring the cervical lordosis angle: A systematic review of the literature. **Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics**, v. 41, n. 1, p. 71–80, 2018.
- CHIBA, Kazuhiro *et al.* Long-term results of expansive open-door laminoplasty for cervical myelopathy: Average 14-year follow-up study. **Spine**, v. 31, n. 26, p. 2998–3005, 2006.
- DUNK, Nadine M.; LALONDE, Jennifer; CALLAGHAN, Jack 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, 2005.
- FURLANETTO, Tássia Silveira *et al.* Photogrammetry as a tool for the postural evaluation of the spine: A systematic review. **World Journal of Orthopedics**, v. 7, n. 2, p. 136, 2016.
- FURLANETTO, Tassia Silveira *et al.* Development and validation of prediction equations for spinal curve angles based on skin surface measurements. **Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics**, v. 40, n. 9, p. 692–699, 2017.
- FURLANETTO, Tássia Silveira *et al.* Concurrent validity of Digital Image-based Postural Assessment as a method for measuring thoracic kyphosis: A cross-sectional study of healthy adults. **Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics**, v. 43, n. 2, p. 93–99, 2020.
- HERBST, Roger W. **Gonstead chiropractic Science & art: The chiropractic methodology of Clarence S. Gonstead, D. C.** Sci-Chi, 1980.
- JENKINS, David G.; QUINTANA-ASCENCIO, Pedro F. A solution to minimum sample size for regressions. **PLoS ONE**, v. 15, n. 2, p. 1–15, 2020.
- LEROUX, Michel A. *et al.* A noninvasive anthropometric technique for measuring kyphosis and lordosis. **Spine**, v. 25, n. 13, p. 1689–94, 2003.
- MOONS, Karel G. M. *et al.* Transparent reporting of a multivariable prediction model for individual prognosis or diagnosis (TRIPOD): Explanation and elaboration. **Annals of Internal Medicine**, v. 162, n. 1, 2015.
- NISSAN, Moshe; GILAD, Issachar. The cervical and lumbar vertebrae. An anthropometric model. **Engineering in Medicine**, v. 13, n. 3, p. 111–14, 1984.
- OHARA, Akira *et al.* Reliabilities of and correlations among five standard methods of assessing the sagittal alignment of the cervical spine. **Spine**, v. 31, n. 22, p. 2585–91, 2006.
- PANJABI, Manohar M. *et al.* Cervical human vertebrae. Quantitative three-dimensional anatomy of the middle and lower regions. **Spine**, v. 16, n. 6, p. 861–869, 1991.

PANJABI, Manohar M. *et al.* Human lumbar vertebrae. Quantitative three-dimensional anatomy. **Spine**, v. 17, n. 3, p. 299–306, 1992.

PIVOTTO, Luiza Rampi; NAVARRO, Isis Juliene Rodrigues Leite; CANDOTTI, Cláudia Tarragô. Radiography and photogrammetry-based methods of assessing cervical spine posture in the sagittal plane: A systematic review with meta-analysis. **Gait & Posture**, (article under review), 2020.

RAUPP, Eduardo G. *et al.* The validity and reproducibility of the flexicurve in the evaluation of cervical spine lordosis. **Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics**, v. 40, n. 7, p. 501–510, 2017.

REFSHAUGE, Kathryn M.; GOODSSELL, Michalene; LEE, Michael. The relationship between surface contour and vertebral body measures of upper spine curvature. **Spine**, v. 19, n. 19, p. 2180–2185, 1994.

SACCO, Isabel de Camargo Neves *et al.* Confiabilidade da fotogrametria em relação a goniometria para avaliação postural de membros inferiores. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, v. 11, n. 5, p. 411–17, 2007.

SMITH, Anne; O’SULLIVAN, Peter; STRAKER, Leon. Classification of sagittal thoracolumbo-pelvic alignment of the adolescent spine in standing and its relationship to low back pain. **Spine**, v. 33, n. 19, p. 2101–7, 2008.

TAKESHIMA, Toshichika *et al.* Sagittal alignment of cervical flexion and extension: Lateral radiographic analysis. **Spine**, v. 27, n. 15, p. 348–355, 2002.

WATSON, Anthony W. S. Procedure for the production of high quality photographs suitable for the recording and evaluation of posture. **Revista Fisioterapia da Universidade de São Paulo**, v. 5, n. 1, p. 20–6, 1998.

YU, Miao *et al.* Analysis of cervical and global spine alignment under Roussouly sagittal classification in Chinese cervical spondylotic patients and asymptomatic subjects. **European Spine Journal**, v. 24, n. 6, p. 1265–1273, 2015.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A coluna cervical é uma estrutura complexa e sua avaliação requer, entre muitos elementos, acurácia e precisão. Esse trabalho foi fundamental para o aprofundamento das investigações sobre a avaliação da postura da coluna cervical no plano sagital em radiografia e fotogrametria.

A partir dos resultados encontrados no **Capítulo 1**, que tinha como objetivo identificar quais métodos baseados em radiografia e fotogrametria usados para avaliar a postura da coluna cervical no plano sagital são válidos e/ou confiáveis, foi possível apresentar uma visão geral dos métodos usados para avaliar a coluna cervical e as respectivas informações de validade e confiabilidade. Esse panorama facilita a escolha dos métodos baseados em radiografia e fotogrametria para avaliação da postura da coluna cervical no plano sagital. Também foi possível identificar uma escassez de estudos de validação de métodos de avaliação baseados em fotogrametria, o que incentiva pesquisadores da área a seguirem buscando opções metodológicas para a avaliação da coluna cervical.

Nesse contexto, com o intuito de iniciar a investigação que embasaria o desenvolvimento de uma avaliação acurada da postura da coluna cervical no plano sagital em fotogrametria, o **Capítulo 2** foi desenvolvido. Os resultados desse estudo, que tinha como objetivo desenvolver e validar um modelo para estimar a curvatura da coluna cervical no plano sagital a partir da superfície da pele de adultos, mostraram que a configuração dos corpos vertebrais e dos processos espinhosos da coluna cervical são diferentes da configuração da superfície da pele subjacente. Por isso, não foi possível desenvolver um modelo válido que prediz a curvatura da coluna cervical no plano sagital a partir da superfície da pele de adultos, através do cálculo de ângulos similares em ambas as estruturas e através de Regressão Linear Simples. Nesse sentido, novos estudos precisam ser conduzidos a fim de testar outras formas de prever a coluna cervical no plano sagital.

## **DIFICULDADES E LIMITAÇÕES**

O processo de desenvolvimento desse trabalho apresentou algumas dificuldades e limitações que precisam ser enfatizadas.

Uma das limitações está relacionada a disponibilidade de informações nos estudos incluídos na revisão sistemática com meta-análise do Capítulo 1. A meta-análise foi conduzida com os valores do Coeficiente de Correlação Intraclasse (ICC) dos métodos que foram investigados por mais de um estudo, uma vez que, os valores absolutos utilizados para os cálculos do ICC não eram fornecidos. No entanto, os valores de ICC são dependentes da população na qual foram determinados. Por isso, os resultados da meta-análise precisam ser interpretados com cautela, uma vez que a generalização dos achados é limitada.

Por fim, a principal dificuldade está relacionada à utilização de um banco de dados no Capítulo 2, ao invés da condução de uma nova coleta de dados. Apesar do uso de bancos de dados ser recomendado, principalmente quando uma nova avaliação envolve a exposição da amostra a um determinado risco e, nesse caso, o risco é a exposição à radiação durante a realização das radiografias; a disponibilidade de dados de forma limitada e o tamanho amostral do banco de dados geraram dificuldades ao longo da construção e do desenvolvimento do trabalho.

## **PERSPECTIVAS**

Após a finalização desse trabalho, entende-se como necessária a divulgação dos avanços obtidos sobre a avaliação da postura da coluna cervical no plano sagital de adultos. Para isso, os resultados encontrados serão divulgados no meio científico, através da publicação de artigos científicos e da apresentação do trabalho em congressos e eventos científicos da área. O Capítulo 1 já se encontra em vias de publicação na revista *Gait & Posture*, e o Capítulo 2 também será submetido nessa revista.



## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, Priscila Maria Nascimento Martins de *et al.* Concordance and reliability of photogrammetric protocols for measuring the cervical lordosis angle: A systematic review of the literature. **Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics**, v. 41, n. 1, p. 71–80, 2018.
- BAGNALL, K. M.; HARRIS, P. F. The development of the secondary cervical curvature. **Journal of Anatomy**, v. 123, n. 3, p. 777–82, 1977.
- COBB, John Robert. **Outlines for the study of scoliosis**. Ann Arbor: MI, 1948.
- CUCCIA, Antonio Marco; CAROLA, Caradonna. The measurement of craniocervical posture: A simple method to evaluate head position. **International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology**, v. 73, n. 12, p. 1732–6, 2009.
- DUNK, Nadine M.; LALONDE, Jennifer; CALLAGHAN, Jack 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, 2005.
- FURLANETTO, Tássia Silveira *et al.* Photogrammetry as a tool for the postural evaluation of the spine: A systematic review. **World Journal of Orthopedics**, v. 7, n. 2, p. 136, 2016.
- FURLANETTO, Tássia Silveira *et al.* Development and validation of prediction equations for spinal curve angles based on skin surface measurements. **Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics**, v. 40, n. 9, p. 692–699, 2017.
- FURLANETTO, Tássia Silveira *et al.* Concurrent validity of Digital Image-based Postural Assessment as a method for measuring thoracic kyphosis: A cross-sectional study of healthy adults. **Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics**, v. 43, n. 2, p. 93–99, 2020.
- GARRETT, Tom R.; YODAS, James W.; MADSON, Timothy J. Reliability of measuring forward head posture in a clinical setting. **Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**, v. 17, n. 3, p. 155–60, 1993.
- GORE, Donald R.; SEPIC, Susan B.; GARDNER, Gena M. Roentgenographic finding of the cervical spine in asymptomatic people. **Spine**, v. 11, n. 6, p. 521–24, 1986.
- GREENDALE, Gail 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**, v. 22, n. 6, p. 1897–1905, 2011.
- HARRISON, Deed Eric *et al.* Cobb method or Harrison posterior tangent method. Which to choose for lateral cervical radiographic analysis. **Spine**, v. 25, n. 16, p. 2072–2078, 2000.
- ISHIHARA, A. Roentgenographic studies on the normal pattern of the cervical curvature. **Nihon Seikeigeka Gakkai Zasshi**, v. 42, n. 11, p. 1033–44, 1968.

- LAU, Herman Mun Cheung; CHIU, Thomas Tai Wing; LAM, Tai-Hing. Measurement of craniovertebral angle with Electronic Head Posture Instrument: Criterion validity. **The Journal of Rehabilitation Research and Development**, v. 47, n. 9, p. 911, 2010.
- LEROUX, Michel A. *et al.* A noninvasive anthropometric technique for measuring kyphosis and lordosis. **Spine**, v. 25, n. 13, p. 1689–94, 2003.
- MORRISSY, Raymond T. *et al.* Measurement of the Cobb angle on radiographs of patients who have scoliosis. Evaluation of intrinsic error. **The Journal of Bone and Joint Surgery**, v. 27, n. 3, p. 320–7, 1990.
- NAIDICH Thomas P. *et al.* **Imaging of the Spine: Expert Radiology Series, Expert Consult**. Saunders, ed. 1, 2010.
- NISSAN, Moshe; GILAD, Issachar. The cervical and lumbar vertebrae. An anthropometric model. **Engineering in Medicine**, v. 13, n. 3, p. 111–14, 1984.
- OHARA, Akira *et al.* Reliabilities of and correlations among five standard methods of assessing the sagittal alignment of the cervical spine. **Spine**, v. 31, n. 22, p. 2585–91, 2006.
- PANJABI, Manohar M. *et al.* Cervical human vertebrae. Quantitative three-dimensional anatomy of the middle and lower regions. **Spine**, v. 16, n. 6, 1991.
- PIVOTTO, Luiza Rampi; NAVARRO, Isis Juliene Rodrigues Leite; CANDOTTI, Cláudia Tarragô. Radiography and photogrammetry-based methods of assessing cervical spine posture in the sagittal plane: A systematic review with meta-analysis. **Gait & Posture**, v. 7, n. 84, p. 357-67, 2021.
- SACCO, Isabel de Camargo Neves *et al.* Confiabilidade da fotogrametria em relação a goniometria para avaliação postural de membros inferiores. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, v. 11, n. 5, p. 411–17, 2007.
- SEDREZ, Juliana Adami *et al.* Non-invasive postural assessment of the spine in the sagittal plane: A systematic review. **Motricidade**, v. 12, n. 2, p. 140–54, 2016.
- SMITH, Anne; O’SULLIVAN, Peter; STRAKER, Leon. Classification of sagittal thoracolumbo-pelvic alignment of the adolescent spine in standing and its relationship to low back pain. **Spine**, v. 33, n. 19, p. 2101–7, 2008.
- TAYYAB, Neil 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. 451–459, 2007.
- TURNER-SMITH, Alan R. *et al.* A method for analysis of back shape in scoliosis. **Journal of Biomechanics**, v. 21, p. 497–509, 1988.
- WATSON, Anthony W. S. Procedure for the production of high quality photographs suitable for the recording and evaluation of posture. **Revista Fisioterapia da Universidade de São Paulo**, v. 5, n. 1, p. 20–6, 1998.

ZABJEK, Karl F. *et al.* Evaluation of segmental postural characteristics during quiet standing in control and idiopathic scoliosis patients. **Clinical Biomechanics**, v. 20, n. 5, p. 483–90, 2005.

## ANEXO 1 – Carta de autorização



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA, FISIOTERAPIA E DANÇA

### CARTA DE AUTORIZAÇÃO PARA UTILIZAÇÃO DE BANCO DE DADOS

Eu, Cláudia Tarragô Candotti, professora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no papel de coordenadora do Grupo de Investigação da Mecânica do Movimento e responsável pelo Banco de Dados de radiografias sagitais da coluna cervical de crianças e adultos, AUTORIZO que a mestranda **Luiza Rampi Pivotto**, para desenvolver seu projeto de mestrado intitulado “**Desenvolvimento e validação de modelos de predição da coluna cervical de adultos a partir de medições na superfície da pele**”, tenha acesso as radiografias desse Banco de Dados.

Informo que as radiografias serão disponibilizadas à mestranda sem qualquer tipo de identificação dos indivíduos avaliados, garantindo o anonimato dos participantes, e somente após a aprovação do referido projeto de mestrado no Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 23 de abril de 2019.

Profa. Dra. Cláudia Tarragô Candotti