

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

**Bruna Nichele da Rosa**

AVALIAÇÃO FOTOGAMÉTRICA DO ALINHAMENTO SAGITAL DO JOELHO:  
VALIDADE E REPRODUTIBILIDADE

Porto Alegre

2023

**Bruna Nichele da Rosa**

**AVALIAÇÃO FOTOGRAFOMETRICA DO ALINHAMENTO SAGITAL DO JOELHO:  
VALIDADE E REPRODUTIBILIDADE**

Tese de doutorado apresentada 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 para obtenção do título de doutora.

Orientadora: Prof. Dra. Cláudia Tarragô Candotti

Porto Alegre

2023

### CIP - Catalogação na Publicação

da Rosa, Bruna Nichele  
Avaliação fotogramétrica do alinhamento sagital do  
joelho: validade e reprodutibilidade / Bruna Nichele  
da Rosa. -- 2023.  
132 f.  
Orientadora: Cláudia Tarragô Candotti.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul, Escola de Educação Física, Programa de  
Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano, Porto  
Alegre, BR-RS, 2023.

1. Fotogrametria. 2. Reprodutibilidade dos Testes.  
3. Joelho. 4. Postura. I. Candotti, Cláudia Tarragô,  
orient. II. Título.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais, Karen e João, por sempre me incentivarem com muito amor, apoiarem as minhas escolhas e fazer tudo o que fosse possível para que eu alcançasse meus objetivos.

À minha irmã Débora, por estar comigo em todos os momentos e ser uma grande amiga e parceira.

Ao Bruno, meu companheiro de longa jornada, por sempre me incentivar, me alegrar e me amparar.

À minha orientadora Cláudia, que me acolheu no segundo semestre da graduação e que sempre foi um exemplo de orientadora, dentro e fora da Universidade. Sempre esteve presente para tirar alguma dúvida, dar as melhores dicas, acolher abraçar a todos que precisassem. É meu exemplo e referência como professora desde que decidi que esse seria o caminho que eu escolheria para trilhar.

Aos colegas e professores que fazem parte do grupo BIOMEK da UFRGS, que ao longo desses onze anos em que faço parte, me ensinaram diariamente, e sempre foram uma grande rede de apoio para coletar, analisar, pesquisar e comemorar. Em especial ao professor Jefferson e aos colegas Edgar, Eduardo, Marcelle, Paula, Ingrid, Fernanda e Marina, que participaram diretamente da construção desse trabalho e foram fundamentais em todo o processo.

E por último, mas não menos importante, a Deus, que colocou todas essas pessoas em meu caminho.

## RESUMO

**Justificativa:** A presente tese visa contribuir com o desenvolvimento e o aprimoramento do protocolo e *software Digital Image-based Postural Assessment (DIPA©)*, que consiste em um protocolo de avaliação postural global por fotogrametria, e está em constante desenvolvimento pelo Grupo de Investigação da Mecânica do Movimento® (BIOMECH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). O DIPA© fornece informações quantitativas da postura, além de um diagnóstico clínico postural, segundo critérios existentes na literatura. **Objetivos:** Identificar se as alterações ocorridas no plano transversal (rotações da coxa e da perna) têm efeitos no cálculo do alinhamento do joelho no plano sagital, testado a partir de três métodos de avaliação pela fotogrametria; testar a validade e as reprodutibilidades intra e interavaliador de três métodos de avaliação da postura do joelho no plano sagital, compatíveis com a fotogrametria. **Métodos:** Foram realizadas pesquisas bibliográficas (para identificar os principais métodos de avaliação do alinhamento do joelho no plano sagital por fotogrametria) e experimentais. Foi primeiramente testado, em um modelo construído por caibros, se as rotações (interna e externa) da coxa e da perna influenciam na mensuração do alinhamento do joelho no plano sagital. Posteriormente, 33 participantes foram submetidos a avaliações fotogramétricas para testar as reprodutibilidades intra avaliador e interavaliador. Para testar a reprodutibilidade intra-avaliador, os participantes foram submetidos a duas avaliações, realizadas pela mesma avaliadora, com intervalo mínimo de 1 dia e máximo de 7 dias. Para testar a reprodutibilidade interavaliador, os participantes foram avaliados por duas avaliadoras independentes, de forma sucessiva. Por fim, 21 participantes foram submetidos a uma avaliação por meio de radiografia panorâmica dos membros inferiores (MMII) e, sucessivamente, à avaliação fotogramétrica, para testar a validade concorrente dos métodos fotogramétricos. Os três métodos de avaliação do alinhamento do joelho no plano sagital por fotogrametria foram: (a) ângulo posterior das linhas que unem o trocânter maior do fêmur (TMF), côndilo lateral do fêmur (CLF) e maléolo lateral (ML), denominado “Ângulo Côndilo (AC)”; (b) ângulo posterior das linhas que unem o TMF, cabeça da fíbula (CF) e ML, denominado “Ângulo Cabeça da Fíbula (ACF)”; e (c) ângulo posterior da intersecção de duas linhas, uma que une o TCM e o CLF e outra que une a CF e o ML, denominado “Ângulo 4 Pontos (A4P)”. As reprodutibilidades foram testadas por meio do índice de correlação intraclasse (ICC). A validade concorrente foi testada por meio da correlação e concordância entre a fotogrametria e a radiografia e pelo erro RMS, testando tanto os métodos fotogramétricos com seus valores brutos (AC, ACF e A4P) quanto corrigidos (ACcorr, ACFcorr e A4Pcorr) pelos valores encontrados no estudo simulando as rotações de coxa e perna com os caibros. **Resultados:** Identificou-se, a partir do estudo com o modelo de caibros, simulando as rotações de coxa e de perna, que as rotações de coxa e de perna influenciam na mensuração do alinhamento do joelho no plano sagital, aumentando o ângulo do joelho na presença de rotações internas e diminuindo nas rotações externas. No estudo de reprodutibilidade, os três métodos testados apresentaram excelentes reprodutibilidades intra e interavaliador (ICCs acima de 0,8). No estudo de validade, os métodos corrigidos pela presença de rotações da coxa e da perna (ACcorr) e (A4Pcorr) foram os que apresentaram melhores índices de validade (ACcorr:  $r=0,746$ ;  $r^2$  ajustado= $0,533$ ; erro RMS= $2,9^\circ$ ; A4Pcorr:  $r=0,733$ ;  $r^2$  ajustado= $0,513$ ; erro RMS= $3^\circ$ ). **Conclusão:** Identificou-se que as rotações de coxa e de perna influenciam a mensuração do alinhamento do joelho no plano sagital por meio da fotogrametria, e que essa informação deve ser levada em consideração ao se escolher um método fotogramétrico. Dentre os métodos testados, os que apresentaram melhores índices de validade concorrente com a radiografia panorâmica dos MMII foram os métodos ACcorr e A4Pcorr, métodos que utilizam a correção de seus valores pelas rotações de coxa e de perna. Esses métodos também apresentaram excelentes índices de reprodutibilidade intra e interavaliador, sendo os mais indicados para avaliar o alinhamento do joelho no plano sagital por fotogrametria.

**Palavras-chave:** Fotogrametria; Reprodutibilidade dos Testes; Joelho; Postura.

## ABSTRACT

**Background:** This thesis aims to contribute with the development and with the upgrading of protocol and software Digital Image-based Postural Assessment (DIPA©), which consists in a photogrammetry protocol of postural assessment, and it is in constantly development by BIOMECH group from Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). The DIPA© provides quantitative information about the posture and a postural clinical diagnostic, following the literature criteria. **Aims:** To identify if the alterations occurred on transversal plane (thigh and/or leg rotation) have effects on the knee sagittal alignment calculation, tested using three photogrammetry methods; to test the validity and the intra-rater and interrater reliabilities of three methods to assess the knee posture on sagittal plane, compatible with photogrammetry. **Methods:** Bibliographic research was performed (to identify the most used methods to assess the sagittal knee alignment using the photogrammetry) followed by experimental research. First, using a model built using rafters, was tested if the thigh and leg rotation (internal and external) affects the measurement of knee alignment on sagittal plane. Then, 33 participants were assessed, using the photogrammetry, to test the intra-rater and the interrater reliability of three photogrammetric methods. To test the intra-rater reliability, the participants were assessed twice, by the same rater, with a minimum interval of 1 day and a maximum of 7 days. To test the interrater reliability, the participants were assessed by two independent raters, successively. Lastly, 21 participants were assessed by a panoramic radiography of the lower limbs and, successively, by photogrammetry to test the concurrent validity of three photogrammetric methods. The three photogrammetric methods tested were: (a) posterior angle of lines joining the greater trochanter of the femur (GTF), lateral femoral condyle (LFC) and lateral malleolus (LM), named “Condyle Angle (CA)”; (b) posterior angle of lines joining the GTF, fibula head (FH) and LM, named “Fibula Head Angle (FHA)”; and (c) posterior angle of intersection of two lines, one joining the GTF and the LFC, and another joining the HF and LM, named “4 Points Angle (4PA)”. The reliabilities were tested using the intraclass correlation coefficient (ICC). The concurrent validity was assessed throughout the correlation and the agreement between the radiography and the photogrammetry, and with the RMS error, testing the photogrammetric methods using both their gross values (CA, FHA and 4PA), as well as their corrected values (CAcorr, FHAcrr and 4PAcorr) by the values found in the study simulating the thigh and leg rotation. **Results:** From the study with the model with rafters, we identified that the thigh and leg rotation affect the measurement of knee alignment on sagittal plane, increasing the knee angle in the presence of internal rotation and decreasing in the presence of external rotation. In reliability study, all three methods tested presented excellent intra-rater and interrater reliabilities (ICC above 0.8). In validity study, the methods corrected by the presence of thigh and/or leg rotation (CAcorr and 4PAcorr) presented the best validity indexes (CAcorr:  $r=0.746$ ;  $r^2=0.533$ ; RMS error= $2.9^\circ$ ; 4PAcorr:  $r=0.733$ ;  $r^2=0.513$ ; RMS error= $3^\circ$ ). **Conclusion:** The thigh and leg rotation affect the measurement of knee alignment on sagittal plane using the photogrammetry, and this information should be considered when choosing a photogrammetric method. Among the tested methods, the methods corrected by the thigh and leg rotation values CAcorr and 4PAcorr presented the best concurrent validity indexes, compared to the panoramic radiography of the lower limbs. These methods also presented excellent reliability indexes and are the most recommended to assess the knee alignment on sagittal plane using the photogrammetry.

**Keywords:** Photogrammetry; Reproducibility of Results; Knee; Posture.

## LISTA DE QUADROS, TABELAS E FIGURAS

### CAPÍTULO 1

<b>Quadro 1.</b> Estratégia de busca realizada na base de dados PubMed em outubro de 2022	p.19
<b>Figura 1.</b> Processo de seleção dos estudos conforme o Fluxograma PRISMA	p.22
<b>Tabela 1.</b> Métodos de mensuração do alinhamento do joelho e softwares utilizados	p. 23
<b>Tabela 2.</b> Informações sobre o procedimento de validade e reprodutibilidade dos estudos incluídos	p. 27
<b>Tabela 3.</b> Metanálises realizadas para avaliar as reprodutibilidades intra-avaliador e interavaliador	p. 29
<b>Tabela 4.</b> Avaliação da qualidade metodológica dos estudos incluídos	p. 32

### CAPÍTULO 2

<b>Figura 1.</b> Modelo construído com os caibros simulando a coxa e a perna direita e os marcadores plásticos reflexíveis correspondentes aos pontos anatômicos de referência. TMF: trocânter maior do fêmur; CLF: côndilo lateral do fêmur; CF: cabeça da fíbula; ML: maléolo lateral; TAT: tuberosidade anterior da tibia	p.44
<b>Figura 2.</b> Caibros simulando a coxa e a perna direita e o transferidor posicionado entre os dois caibros para medir as rotações simulando os posicionamentos da coxa e da perna: (a) desenho esquemático do modelo; (b) imagem no plano frontal	p.45
<b>Figura 3.</b> Ângulos do joelho no plano sagital obtidos por cada um dos protocolos de análise (AC: Ângulo Côndilo Femoral; ACF: Ângulo Cabeça da Fíbula; A4P: Ângulo 4 Pontos) em cada uma das rotações de coxa testadas (valores negativos correspondem à rotação interna, valores positivos correspondem à rotação externa)	p.47
<b>Figura 4.</b> Ângulos do joelho no plano sagital obtidos por cada um dos protocolos de análise (AC: Ângulo Côndilo Femoral; ACF: Ângulo Cabeça da Fíbula; A4P: Ângulo 4 Pontos) em cada uma das rotações de perna testadas (valores negativos correspondem à rotação interna, valores positivos correspondem à rotação externa)	p.48
<b>Tabela 1.</b> Médias das diferenças em relação à posição neutra encontradas conforme as rotações simuladas no modelo biomecânico	p.48

### CAPÍTULO 3

<b>Figura 1.</b> (a) Bússola digital contida em um altímetro digital utilizada para a realização do estudo; (b) determinação do valor R para cálculo das rotações de fêmur e de tibia, a partir do alinhamento da bússola com o fio de prumo	p.59
<b>Figura 2.</b> (a) Demarcação do ponto central entre os côndilos do fêmur, ponto utilizado como referência para a mensuração da rotação do fêmur; (b) mensuração com a bússola do valor F, utilizado para a mensuração do ângulo de rotação do fêmur	p.60
<b>Figura 3.</b> (a) Demarcação do ponto central entre os maléolos, ponto utilizado como referência para a mensuração da rotação da tibia; (b) mensuração com a bússola do valor T, utilizado para a mensuração do ângulo de rotação da tibia	p.61
<b>Figura 4.</b> Posicionamento do paciente para a mensuração das rotações de fêmur e de tibia utilizando a bússola digital	p.62
<b>Figura 5.</b> Processo de seleção dos estudos conforme o Fluxograma PRISMA	p.64
<b>Tabela 1.</b> Características dos estudos incluídos na revisão sistemática	p.65
<b>Tabela 2.</b> Descrição dos métodos de avaliação das rotações do fêmur e da tibia	p.66
<b>Tabela 3.</b> Resultados de reprodutibilidade interavaliador e intra-avaliador (ICC, IC95%, SEM e MDC)	p.68

## CAPÍTULO 4

<b>Figura 1.</b> Pontos anatômicos demarcados na avaliação fotogramétrica do joelho: trocânter maior do fêmur (TMF), côndilo lateral do fêmur (CLF), cabeça da fíbula (CF) e maléolo lateral (ML)	p.77
<b>Figura 2.</b> Ângulos sagitais do joelho calculados: (A) “Ângulo Côndilo” (AC); (B) “Ângulo Cabeça da Fíbula (ACF)”; (C) “Ângulo 4 Pontos” (A4P)	p.78
<b>Tabela 1.</b> Valores de ICC, SEM e MDC para teste das reprodutibilidades interavaliador e intra-avaliador dos três métodos de cálculo do ângulo sagital do joelho pela fotogrametria	p.80

## CAPÍTULO 5

<b>Figura 1.</b> Marcação dos pontos de referência para avaliação da presença de rotações na coxa (A) e na perna (B). Posicionamento do participante no momento da avaliação (C)	p.91
<b>Figura 2.</b> Pontos anatômicos demarcados na avaliação fotogramétrica do joelho: trocânter maior do fêmur (TMF), côndilo lateral do fêmur (CLF), cabeça da fíbula (CF) e maléolo lateral (ML) e posicionamento dos participantes para as avaliações com a fotogrametria e com a radiografia	p.92
<b>Figura 3.</b> Ângulos sagitais do joelho calculados pela fotogrametria (A) “Ângulo Côndilo” (AC); (B) “Ângulo Cabeça da Fíbula (ACF)”; (C) “Ângulo 4 Pontos” (A4P) e na radiografia (D)	p.93
<b>Quadro 1.</b> Valores utilizados para a correção dos ângulos sagitais do joelho na fotogrametria pela presença de rotações na coxa e/ou na perna	p.94
<b>Figura 4.</b> Fluxograma demonstrando as características dos participantes com relação à presença ou não de rotações na coxa e/ou na perna	p.95
<b>Tabela 1.</b> Média e DP (n=21), Coeficiente de Correlação de Pearson (r), Teste t de Student (t) e Erro RMS da fotogrametria em relação à radiografia	p.96
<b>Figura 5.</b> Análise gráfica de Bland-Altman avaliando a concordância entre a radiografia e os três métodos fotogramétricos brutos: (a) Ângulo Côndilo; (b) Ângulo Cabeça da Fíbula; e (c) Ângulo 4 Pontos. SD: <i>standard deviation</i>	p.97
<b>Figura 6.</b> Análise gráfica de Bland-Altman avaliando a concordância entre a radiografia e os três métodos fotogramétricos brutos: (a) Ângulo Côndilo corrigido; (b) Ângulo Cabeça da Fíbula corrigido; e (c) Ângulo 4 Pontos corrigido. SD: <i>standard deviation</i>	p.97
<b>Tabela 2.</b> Equações de predição da radiografia e coeficiente de determinação ( $r^2$ ajustado) de cada método fotogramétrico testado	p.98



## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2 CAPÍTULO 1 – Artigo de Revisão Sistemática.....</b>	<b>16</b>
2.1 Introdução.....	17
2.2 Materiais e Métodos.....	18
2.2.1 Desenho do estudo.....	18
2.2.2 Estratégias de busca.....	18
2.2.3 Critérios de elegibilidade.....	19
2.2.4 Seleção dos estudos e extração dos dados.....	19
2.2.5 Avaliação da qualidade metodológica.....	19
2.2.6 Análise estatística.....	19
2.3 Resultados.....	21
2.4 Discussão.....	33
2.5 Conclusão.....	35
2.6 Referências.....	36
<b>3 CAPÍTULO 2 – Artigo de Nota Técnica.....</b>	<b>41</b>
3.1 Introdução.....	42
3.2 Materiais e Métodos.....	43
3.3 Resultados.....	46
3.4 Discussão.....	49
3.5 Conclusão.....	50
3.6 Referências.....	51
<b>4 CAPÍTULO 3 – Estudo de desenvolvimento e de reprodutibilidade de um método clínico de avaliação das rotações do fêmur e da tíbia.....</b>	<b>54</b>
4.1 Introdução.....	55
4.2 Materiais e Métodos.....	56
4.2.1 Desenvolvimento do método de avaliação das rotações do fêmur e da tíbia a partir da bússola dgital.....	56
4.2.2 Reprodutibilidades do método de avaliação das rotações do fêmur e da tíbia a partir da bússola digital.....	58
4.3 Resultados.....	63
4.3.1 Desenvolvimento do método de avaliação das rotações do fêmur e da tíbia a partir da bússola dgital.....	63
4.3.2 Reprodutibilidades do método de avaliação das rotações do fêmur e da tíbia a partir da bússola digital.....	67
4.4 Discussão.....	68
4.5 Conclusão.....	71
4.6 Referências.....	71
<b>5 CAPÍTULO 4 – Estudo das reprodutibilidades intra-avaliador e interavaliador de três métodos fotogramétricos para a mensuração do alinhamento do joelho no plano sagital.....</b>	<b>73</b>
5.1 Introdução.....	74
5.2 Métodos.....	75
5.2.1 Amostra.....	75
5.2.2 Procedimento de coleta de dados.....	76
5.2.3 Procedimento de análise de dados.....	77
5.3 Resultados.....	79
5.4 Discussão.....	80
5.5 Conclusão.....	82
5.6 Referências.....	82
5.6 Referências.....	83
<b>6 CAPÍTULO 5 – Estudo validade concorrente de três métodos fotogramétricos para a mensuração do alinhamento do joelho no plano sagital.....</b>	<b>87</b>

6.1 Introdução.....	88
6.2 Métodos.....	89
6.2.1 Amostra.....	89
6.2.2 Procedimento de coleta de dados.....	90
6.2.3 Procedimento de análise de dados.....	92
6.2.4 Análise estatística.....	95
6.3 Resultados.....	96
6.4 Discussão.....	98
6.5 Conclusão.....	100
6.6 Referências.....	101
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>104</b>
<b>8 DIFICULDADES E LIMITAÇÕES.....</b>	<b>106</b>
<b>9 PERSPECTIVAS.....</b>	<b>107</b>
<b>10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA INTRODUÇÃO.....</b>	<b>108</b>
<b>11 APÊNDICE 1 – Artigo de Revisão Sistemática com Metanálise publicado na revista <i>Journal of Chiropractic Medicine</i>.....</b>	<b>112</b>

## APRESENTAÇÃO

A presente tese visa contribuir com o desenvolvimento e o aprimoramento do protocolo e *software Digital Image-based Postural Assessment (DIPA©)*, que consiste em um protocolo de avaliação postural global por fotogrametria, e está em constante desenvolvimento pelo Grupo de Investigação da Mecânica do Movimento® (BIOMECH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). O DIPA© fornece informações quantitativas da postura dos avaliados, além de um diagnóstico clínico postural, segundo critérios existentes na literatura.

O objetivo da pesquisa desenvolvida nesta tese é testar a validade e as reprodutibilidades intra e interavaliador de três métodos de avaliação da postura do joelho no plano sagital, a fim de aprimorar a avaliação deste segmento corporal específico no protocolo do software DIPA©. Até o momento, o protocolo de avaliação do joelho ainda não havia sido testado e poderia apresentar erros de medida associados. A partir dos resultados encontrados nesta tese, será possível incluir no software DIPA© o método que melhor avalia a postura do joelho no plano sagital, ou seja, aquele apresenta os melhores índices de validade e de reprodutibilidades intra e interavaliador.

Para o desenvolvimento desta tese, foram realizadas pesquisas experimentais, além de pesquisas bibliográficas, as quais se desenvolveram no Laboratório de Pesquisa do Exercício (LAPEX) da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Dança (ESEFID) da UFRGS, e em uma Clínica privada de radiologia localizada na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

O corpo desta tese está formatado com a seguinte configuração: (1) Introdução; (2) Capítulo 1, contendo uma revisão sistemática da literatura a fim de se destacar os métodos utilizados para avaliar a postura do joelho no plano sagital por meio da fotogrametria. Os resultados desse capítulo embasaram a escolha dos métodos a serem testados na parte experimental da tese; (3) Capítulo 2, contendo uma nota técnica a fim de testar os efeitos das rotações da coxa e da perna no alinhamento sagital do joelho; (4) Capítulo 3, contendo um estudo de desenvolvimento e de reprodutibilidade de um método clínico que possibilitasse avaliar as rotações do fêmur e da tíbia; (5) Capítulo 4, contendo o estudo de reprodutibilidades intra e interavaliador dos métodos testados para avaliação da postura do joelho no plano sagital por meio da fotogrametria; (6) Capítulo

5, contendo o estudo de validade dos métodos testados para avaliação da postura do joelho no plano sagital por meio da fotogrametria; (7) Considerações finais; (8) Dificuldades e limitações dos estudos; (9) Perspectivas; (10) Referências bibliográficas utilizadas na introdução; e (11) Apêndice, contendo um artigo de revisão sistemática com metanálise que identificou formas de calcular o ângulo do joelho em radiografia. Os Capítulos de 1 a 5 estão em formato de artigo, respeitando as normativas das respectivas revistas.

## 1 INTRODUÇÃO

A fotogrametria é tradicionalmente utilizada na área geoespacial (AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 2022; SACCO *et al.*, 2007). Contudo, tem ganhado espaço na área de avaliação postural, uma vez que é caracterizada como de baixo custo e de fácil acesso, comparado ao método padrão ouro (DILIAN *et al.*, 2022; DO ROSÁRIO, 2014; FORTIN *et al.*, 2011).

A maioria dos estudos desenvolvidos visando a validade e/ou reprodutibilidades da fotogrametria como instrumento para avaliar a postura corporal tem se focado na avaliação da coluna vertebral (AMICO; KINEL; RONCOLETTA, 2017; DE ALBUQUERQUE *et al.*, 2018; FURLANETTO *et al.*, 2020, 2012; NAVARRO *et al.*, 2020; PORTO; OKAZAKI, 2018). Dessa forma, são poucos os estudos que objetivam testar a validade e/ou reprodutibilidades da fotogrametria como método de avaliação de outros segmentos corporais, em especial os membros inferiores (CANDOTTI *et al.*, 2019; FERREIRA *et al.*, 2010; SACCO *et al.*, 2007; SOUZA *et al.*, 2011). Até onde se tem o conhecimento, a maioria dos estudos que envolve a avaliação da fotogrametria como um instrumento adequado para avaliar a postura dos membros inferiores, em especial a avaliação da postura dos joelhos, testou apenas os aspectos da reprodutibilidade deste método, não avaliando a concordância de seus resultados com o padrão ouro, ou seja, a sua validade concorrente (CANDOTTI *et al.*, 2019; FERREIRA *et al.*, 2010; GLANER *et al.*, 2012; PAUSIC; PEDISIC; DIZDAR, 2010; SACCO *et al.*, 2007).

Avaliar a postura do alinhamento dos joelhos é importante porque as alterações posturais encontradas nesse segmento corporal muitas vezes estão ligadas a condições reumatológicas ou ortopédicas (DO ROSÁRIO, 2014; MISSAOUI *et al.*, 2008; TROMBINI-SOUZA *et al.*, 2009). Ao avaliar o plano sagital, pode-se identificar se esse segmento corporal encontra-se em seu alinhamento fisiológico, ou seja, em extensão completa. Nessa posição, permite o suporte de peso sem gastar energia muscular constante, sendo peça importante para a manutenção do equilíbrio em ortostase (CHENG *et al.*, 2016; HASEGAWA *et al.*, 2017). Quando ocorre o desalinhamento em flexão, por exemplo, há um aumento da ativação do quadríceps para auxiliar na estabilidade do joelho durante a descarga de peso, além de aumentar as forças

compressivas nas articulações patelofemoral e tíbiofemoral durante o ortostatismo, o que pode levar à dor patelofemoral e à osteoartrite de joelho (CHENG *et al.*, 2016; ERKULA *et al.*, 2002; HARATO *et al.*, 2008). Além disso, esse tipo de desalinhamento ainda gera consequências funcionais na marcha, como a redução da velocidade da marcha e do comprimento do passo (CERNY; PERRY; WALKER, 1994).

O padrão ouro para avaliação do alinhamento do joelho é o cálculo do ângulo do joelho a partir da determinação dos eixos mecânicos do fêmur e da tíbia (HINMAN; MAY; CROSSLEY, 2006). Nessa perspectiva, o instrumento que permite essa mensuração é a radiografia panorâmica dos membros inferiores com descarga de peso, uma vez que é necessária a visualização de estruturas anatômicas desde o quadril até o tornozelo (COLYN *et al.*, 2016). Contudo, essa avaliação nem sempre é viável, devido ao alto custo e à necessidade de equipamento especializado (SHEEHY *et al.*, 2015). Além disso, pode expor o indivíduo a grandes índices de radiação, o que não é indicado, principalmente na fase de crescimento, problema que pode ser maximizado pela exposição à radiação na região das gônadas (PAZIN *et al.*, 2007; SABHARWAL; KUMAR, 2008).

Ao passo que o padrão ouro utiliza estruturas internas e não palpáveis dos membros inferiores, como o centro da cabeça femoral, o centro da articulação do joelho e o centro da articulação do tornozelo, por exemplo (CEBULSKI-DELEBARRE *et al.*, 2016; COLYN *et al.*, 2016), a fotogrametria, possível instrumento alternativo para avaliação do alinhamento do joelho, utiliza pontos que são palpáveis na superfície da pele (CANDOTTI *et al.*, 2019; FERREIRA *et al.*, 2010; FURLANETTO *et al.*, 2012; PAUSIC; PEDISIC; DIZDAR, 2010; SACCO *et al.*, 2007). Dessa forma, ao serem métodos que utilizam pontos e formas distintas de mensurar o alinhamento do joelho, é importante conhecer as possíveis diferenças existentes entre esses métodos e os possíveis erros de medida do instrumento alternativo. Nessa perspectiva, ao não se ter disponível na literatura estudos que objetivam testar a validade da fotogrametria para avaliação da postura dos joelhos, vê-se a dificuldade de identificar os significados clínicos dos valores fornecidos pelos instrumentos disponíveis, uma vez que não se tem o conhecimento se o instrumento realmente mede o alinhamento do joelho, que é o que se propõe a medir (MOKKINK *et al.*, 2010).

Ademais, a artrocinemática do joelho engloba rolamento, deslizamento e rotação (HIRSCHMANN; MÜLLER, 2015), o que oferece seis graus de liberdade de

movimento nessa articulação: (a) movimentos rotacionais em flexão-extensão, rotação interna-externa, e valgo-varo; e (b) movimentos translacionais nas direções anterior-posterior, medial-lateral, e compressão-distração (HIRSCHMANN; MÜLLER, 2015). Assim, os desalinhamentos na articulação tibiofemoral podem ocorrer nos três planos: no plano sagital (acarretando nas alterações do joelho em geno flexo ou recurvatum) (CEBULSKI-DELEBARRE *et al.*, 2016), no plano frontal (acarretando nas alterações do joelho em geno valgo ou varo) (MAINI *et al.*, 2015), e no plano transversal pelos desalinhamentos rotacionais (em rotação interna ou externa desses ossos) (FERGUSON; FERNANDES, 2016; ITO *et al.*, 2019). Portanto, a fotogrametria, ao utilizar pontos palpáveis na superfície da pele, pode sofrer com erros de medida no que tange ao deslocamento desses pontos, dependendo de alterações ocorridas em outros planos, em especial no plano transversal. A exemplo disso estão os pontos correspondentes ao côndilo lateral do fêmur e à cabeça da fíbula, pontos bastante utilizados nos métodos de avaliação do alinhamento do joelho no plano sagital pela fotogrametria (CANDOTTI *et al.*, 2019; FERREIRA *et al.*, 2010; FURLANETTO *et al.*, 2012; PAUSIC; PEDISIC; DIZDAR, 2010; SACCO *et al.*, 2007). Ao ocorrer desalinhamentos rotacionais no fêmur ou na tíbia, especula-se que esses pontos (côndilo lateral do fêmur ou cabeça da fíbula) podem sofrer deslocamentos anteriores ou posteriores, conforme ocorrem rotações internas ou externas nesses ossos. Esses deslocamentos podem acarretar em uma avaliação errônea do alinhamento do joelho no plano sagital. Isso porque os erros medida, decorrentes da interação entre os planos de movimento e análise, podem afetar o cálculo do ângulo do joelho no plano sagital, o que faz com que a fotogrametria, por ser uma avaliação em 2D, não seja sensível o suficiente.

Diante do exposto, a presente tese tem como objetivos: (1) identificar se as alterações ocorridas no plano transversal (rotações da coxa e da perna) têm efeitos no cálculo do alinhamento do joelho no plano sagital, testado a partir de três métodos de avaliação pela fotogrametria; (2) testar as reprodutibilidades intra e interavaliador de três métodos de avaliação do alinhamento do joelho no plano sagital pela fotogrametria; e (3) testar a validade de três métodos de avaliação do alinhamento do joelho no plano sagital pela fotogrametria. Os três métodos escolhidos para serem testados nessa tese são oriundos de uma revisão sistemática que identificou os métodos utilizados para avaliação do alinhamento do joelho no plano sagital pela fotogrametria (Capítulo 1). A partir da conclusão dessa tese espera-se aperfeiçoar a avaliação do alinhamento do

joelho no plano sagital utilizando a fotogrametria, especificamente no protocolo de avaliação postural do software DIPA©, que é de distribuição livre na internet.



PAUSIC, Jelena; PEDISIC, Zeljko; DIZDAR, Drazan. Reliability os a Photographic Method for Assessing Standing Posture of Elementary School Students. **Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics**, v. 33, n. 6, p. 425–431, 2010.

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.

SACCO, ICN *et al.* Confiabilidade da fotogrametria em relação a goniometria para avaliação postural de membros inferiores. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, v. 11, n. 5, p. 411–417, 2007.

TAMARI, Kotaro *et al.* Validity and Reliability of Existing and Modified Clinical Methods of Measuring Femoral and Tibiofibular Torsion in Healthy Subjects: Use of Different Reference Axes May Improve Reliability. **Clinical Anatomy**, v. 55, n. November 2003, p. 46–55, 2005.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta tese teve como objetivos (1) identificar se as alterações ocorridas no plano transversal (rotações da coxa e da perna) têm efeitos no cálculo do alinhamento do joelho no plano sagital, testado a partir de três métodos de avaliação pela fotogrametria; (2) testar as reprodutibilidades intra e interavaliador de três métodos de avaliação do alinhamento do joelho no plano sagital pela fotogrametria; e (3) testar a validade de três métodos de avaliação do alinhamento do joelho no plano sagital pela fotogrametria. Em relação ao primeiro objetivo, a partir do Capítulo 2 desta tese foi possível identificar que as rotações presentes na coxa e na perna têm efeitos no cálculo do alinhamento sagital do joelho. Observou-se que o ângulo do joelho se altera para mais ou para menos, conforme o grau e o tipo de rotação (interna ou externa) de coxa e de perna, devido aos deslocamentos dos pontos anatômicos utilizados como referências para o cálculo, o que pode ser fonte das inconsistências nos resultados oriundos da fotogrametria, ao utilizar pontos anatômicos de referência palpáveis na superfície da pele que podem se deslocar quando ocorrem as rotações nesses segmentos avaliados.

Em relação ao segundo objetivo, a partir do Capítulo 4 desta tese, foi possível atestar as reprodutibilidades intra e interavaliador de três métodos de mensurar o ângulo sagital do joelho pela fotogrametria: o “Ângulo Côndilo” (AC), o “Ângulo Cabeça da Fíbula” (ACF) e o “Ângulo 4 Pontos” (A4P). Foram identificados excelentes valores de ICC (acima de 0,8), além de baixos valores de erro padrão de medida (SEM) (abaixo de 2°) e de mínima mudança detectável (MDC) (máximo de 3,5°), tanto para a reprodutibilidade intra-avaliador quanto para interavaliador para todos os métodos testados. Esses achados atestam a confiabilidade e dão a segurança do uso de qualquer um destes três métodos em protocolos de fotogrametria que objetivam avaliar o ângulo sagital do joelho, por um mesmo avaliador, ou por diferentes avaliadores em um possível acompanhamento.

Referente ao último objetivo, os achados do Capítulo 5 demonstram que dois métodos fotogramétricos apresentaram bons resultados de validade concorrente: o AC corrigido e o A4P corrigido. Estes são métodos cujos ângulos mensurados foram corrigidos utilizando valores oriundos dos resultados do Capítulo 2 desta tese, a partir da identificação da presença de rotações na coxa e/ou na perna dos participantes avaliados. Assim, conclui-se que, ao se avaliar o joelho no plano sagital pela fotogrametria, seja realizada juntamente a avaliação da presença de rotações na coxa e

na perna, a fim de se levar em consideração os valores de correção para calcular o ângulo sagital do joelho. Ademais, sugere-se a escolha de um desses dois métodos para ser implementado em protocolos de avaliação sagital do joelho pela fotogrametria, ou o “Ângulo Côndilo” ou o “Ângulo 4 Pontos”.

## 8 DIFICULDADES E LIMITAÇÕES

Uma das principais limitações deste estudo está no tamanho amostral. No desenvolvimento do projeto desta tese, a expectativa era de ter um tamanho amostral maior. Contudo, devido à pandemia do COVID-19, todas as atividades presenciais foram suspensas, o que levou a um atraso no cronograma das atividades para realização destes estudos. Ademais, como uma das etapas de coleta de dados foi realizada em uma clínica de radiologia privada, o acesso a esse espaço também ficou restrito devido à pandemia. Assim, a alternativa encontrada foi de recalcular e reduzir o tamanho amostral.

Esse tamanho amostral reduzido levou à limitação no estudo de validação desenvolvido no Capítulo 5, uma vez que a intenção seria de compor a amostra tentando deixar o número de participantes com as características de membros inferiores (com relação às rotações de coxa e de perna) o mais próximo possível, para abranger todo o espectro de alterações. Contudo, devido ao pequeno tamanho amostral, houve uma discrepância nas características dos participantes, havendo apenas um participante com a característica de rotação externa de coxa e um com rotação interna de perna.

Outra limitação está na avaliação da presença de rotações de coxa e perna. Tentou-se utilizar uma forma quantitativa de avaliar a presença de rotações, contudo, conforme apresentado no estudo do Capítulo 3, não foi encontrado nenhum método válido ou reproduzível. No projeto original desta tese tinha-se como instrumento a cinematria 3D para avaliar as rotações e, assim, cada participante teria as rotações mensuradas e esses seriam os valores a serem aplicados para as correções dos ângulos fotogramétricos. Contudo, também em decorrência da pandemia, essa parte da coleta de dados teve que ser retirada do protocolo, devido à quantidade de pessoas que deveriam ser envolvidas na equipe de coleta e pelas restrições às atividades presenciais. Assim, a alternativa encontrada foi de realizar o estudo com o modelo biomecânico (Capítulo 2), e utilizar valores “padrões” para todas as pessoas que apresentassem as mesmas características em relação às rotações.

## **9 PERSPECTIVAS**

Com relação às perspectivas dos estudos envolvidos nesta tese é que eles sejam submetidos e publicados nos periódicos indicados em cada um dos capítulos desta tese. Assim, os resultados encontrados podem ser publicizados e utilizados em futuros estudos com a temática da fotogrametria e da avaliação sagital do joelho.

Além disso, espera-se que esses resultados sejam utilizados para alimentar o protocolo do *software* DIPA©, que é um software gratuito, de livre distribuição na internet. Assim, pode auxiliar tanto nas pesquisas que utilizarem esse protocolo, quanto na prática de todos os profissionais da saúde que utilizarem a avaliação postural como parte de suas rotinas de avaliação, uma vez que utilizarão um protocolo e um *software* de fotogrametria que seja válido e reproduzível.

## 10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA INTRODUÇÃO

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING. **The imagin and geospatial information society**, 2022.

AMICO, Moreno D.; KINEL, Edyta; RONCOLETTA, Piero. Normative 3D opto-electronic stereo- photogrammetric posture and spine morphology data in young healthy adult population. **PLOS ONE**, p. 1–31, 2017.

CANDOTTI, Cláudia Tarragô *et al.* Repeatability and Reproducibility of Postural Variables by Photogrammetry. **Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics**, v. 42, n. 5, p. 372–378, 2019.

CEBULSKI-DELEBARRE, A. *et al.* Correlation between primary flat foot and lower extremity rotational misalignment in adults. **Diagnostic and Interventional Imaging**, v. 97, n. 11, p. 1151–1157, 2016.

CERNY, Kay; PERRY, Jacquelin; WALKER, Joan M. Adaptations during the stance phase of gait for simulated flexion contractures at the knee. **Orthopedics**, v. 17, n. 6, p. 501–513, 1994.

CHENG, Xiaofei *et al.* Spontaneous Improvement of Compensatory Knee Flexion After Surgical Correction of Mismatch Between Pelvic Incidence and Lumbar Lordosis. **Spine**, v. 41, n. 16, p. 1303–1309, 2016.

COLYN, William *et al.* How does lower leg alignment differ between soccer players, other athletes, and non-athletic controls? Knee Surgery, **Sports Traumatology, Arthroscopy**, v. 24, n. 11, p. 3619–3626, 2016.

DE ALBUQUERQUE, Priscila Maria Nascimento Martins *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.

DILIAN, Omer *et al.* Can We Quantify Aging-Associated Postural Changes Using Photogrammetry? A Systematic Review. **Sensors**, v. 22, n. 17, p. 1–10, 2022.

DO ROSÁRIO, José Luís Pimentel. Photographic analysis of human posture: A literature review. **Journal of Bodywork and Movement Therapies**, v. 18, n. 1, p. 56–61, 2014.

ERKULA, Gürkan *et al.* Hamstring shortening in healthy adults. **Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation**, 2002.

FERGUSON, David O.; FERNANDES, James A. Lower limb alignment. **Orthopaedics and Trauma**, v. 30, n. 6, p. 539–546, 2016.

FERREIRA, Elizabeth Alves G. *et al.* Postural assessment software (PAS/SAPO): Validation and reliability. **Clinics**, v. 65, n. 7, p. 675–681, 2010.

FORTIN, Carole *et al.* Clinical methods for quantifying body segment posture: a literature review. **Disability and Rehabilitation**, v. 33, n. 5, p. 367–383, 2011.

FURLANETTO, Tássia S. *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.

FURLANETTO, Tássia Silveira *et al.* Validating a postural evaluation method developed using a Digital Image-based Postural Assessment (DIPA) software. **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, v. 108, n. 1, p. 203–212, 2012.

GLANER, Maria Fátima *et al.* Fotogrametria: Fidedignidade e falta de objetividade na avaliação postural. **Motricidade**, v. 8, n. 1, p. 78–85, 2012.

HARATO, Kengo *et al.* Knee flexion contracture will lead to mechanical overload in both limbs: A simulation study using gait analysis. **The Knee**, v. 15, n. 6, p. 467–472, 2008.

HASEGAWA, Kazuhiro *et al.* Standing sagittal alignment of the whole axial skeleton with reference to the gravity line in humans. **Journal of Anatomy**, v. 230, p. 619–630, 2017.

HINMAN, Rana S.; MAY, Rachel L.; CROSSLEY, K. A. Y. M. Is There an Alternative to the Full-Leg Radiograph for Determining Knee Joint Alignment in Osteoarthritis? **Arthritis and Rheumatism**, v. 55, n. 2, p. 306–313, 2006.

HIRSCHMANN, Michael T.; MÜLLER, Werner. Complex function of the knee joint: the current understanding of the knee. **Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy**, v. 23, n. 10, p. 2780–2788, 2015.

ITO, Cynthia Baldim *et al.* Causes, consequences and treatment of the knee and hip osteoarthritis: A systematic review. **Arquivos do MUDI**, v. 23, n. 3, p. 455–466, 2019.

MAINI, Lalit *et al.* Radiographic analysis of the axial alignment of the lower extremity in Indian adult males. **Journal of Arthroscopy and Joint Surgery**, v. 2, n. 3, p. 128–131, 2015.

MISSAOUI, B. *et al.* Posture and equilibrium in orthopedic and rheumatologic diseases. **Neurophysiologie Clinique**, v. 38, n. 6, p. 447–457, 2008.

MOKKINK, Lidwine B. *et al.* The COSMIN study reached international consensus on taxonomy, terminology, and definitions of measurement properties for health-related patient-reported outcomes. **Journal of Clinical Epidemiology**, v. 63, n. 7, p. 737–745, 2010.

NAVARRO, Isis J. R. L. *et al.* Validation of the Measurement of the Angle of Trunk Rotation in Photogrammetry. **Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics**, v. 43, n. 1, p. 50–56, 2020.

PAUSIC, Jelena; PEDISIC, Zeljko; DIZDAR, Dražan. Reliability of a Photographic Method for Assessing Standing Posture of Elementary School Students. **Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics**, v. 33, n. 6, p. 425–431, 2010.

PAZIN, Adriana *et al.* Medidas clínicas da coxa e da perna por meio de reparos anatómicos e correlação. **Acta Fisiatria**, v. 14, n. 2, p. 95–99, 2007.

PORTO, Alessandra B.; OKAZAKI, Victor H. A. Thoracic Kyphosis and Lumbar Lordosis Assessment by Radiography and Photogrammetry: A Review of Normative Values and Reliability. **Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics**, v. 41, n. 8, p. 712–723, 2018.

SABHARWAL, Sanjeev; KUMAR, Ajay. Methods for assessing leg length discrepancy. **Clinical Orthopaedics and Related Research**, v. 466, n. 12, p. 2910–2922, 2008.

SACCO, ICN *et al.* Confiabilidade da fotogrametria em relação a goniometria para avaliação postural de membros inferiores. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, v. 11, n. 5, p. 411–417, 2007.



SHEEHY, L. *et al.* Standardized standing pelvis-to-floor photographs for the assessment of lower-extremity alignment. **Osteoarthritis and Cartilage**, v. 23, n. 3, p. 379–382, 2015.

SOUZA, Juliana Alves *et al.* Biophotogrammetry: reliability of measurements obtained with a posture assessment software (SAPO). **Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum**, v. 13, n. 4, p. 299–305, 2011.

TROMBINI-SOUZA, Francis *et al.* Correlações entre as estruturas dos membros inferiores. **Fisioterapia e Pesquisa**, v. 16, n. 3, p. 205–210, 2009.

## 11 APÊNDICE 1 – Artigo de Revisão Sistemática com Metanálise publicado na revista *Journal of Chiropractic Medicine*

Uma das etapas iniciais do projeto desta tese foi realizar uma revisão sistemática a fim de identificar as principais formas de mensurar o alinhamento do joelho por meio da radiografia, nos planos frontal e sagital, para auxiliar na análise de dados do Capítulo 5 (estudo de validação). Este estudo foi publicado recentemente na *Journal of Chiropractic Medicine* (<https://doi.org/10.1016/j.jcm.2022.03.005>) e, por isso, está apresentado aqui como um apêndice.

### **Radiographic measures for the assessment of frontal and sagittal knee alignments and the associated normality values: A meta-analysis**

Bruna Nichele da Rosa, Eduardo Nunes Camargo, Cláudia Tarragô Candotti

#### **Abstract**

*Objectives:* To identify knee alignment assessment methods using radiography in the sagittal and frontal planes and to identify normality values for classifying knee alignment using these methods.

*Methods:* A systematic review with a meta-analysis was conducted. The eligibility criterion was studies that performed radiographic examinations to assess the knee alignment of adults without a history of hip or knee prosthesis surgery. The methodological qualities of the included studies were assessed using the QUADAS-2 tool. A meta-analysis was performed to measure the normality values of knee alignment in the frontal plane.

*Results:* The hip-knee-ankle (HKA) angle was the measure most frequently used to assess knee alignment. Only a meta-analysis of HKA normality values was possible. Thereby, we found normality values of the HKA angle for the overall population, males, and females.

*Conclusions:* The normality values of knee alignment for healthy adults that were found in this study were as follows: overall sample (male and female) HKA angle =  $-0.2^{\circ}$  ( $-2.8^{\circ}$  to  $2.41^{\circ}$ ), male HKA angle =  $0.77^{\circ}$  ( $-2.91^{\circ}$  to  $7.94^{\circ}$ ), and female HKA angle =  $-0.67^{\circ}$  ( $-5.32^{\circ}$  to  $3.98^{\circ}$ ). We suggest HKA angles ranging from  $-3^{\circ}$  to  $3^{\circ}$  as the cutoff for classifying knee alignment in the frontal plane, in accordance with the normality limits found in the meta-analysis.

**Keywords:** Knee, Radiography, Meta-analysis

## 11.1 Introduction

Postural assessment of the lower limbs (LL) is important not only in the diagnosis of misalignment and imbalance but also because these conditions could be linked to orthopedical or rheumatological issues.(MISSAOUI *et al.*, 2008; ROSÁRIO, 2014; TROMBINI-SOUZA *et al.*, 2009) Knowledge of the relationship between misalignment and injuries is important, especially for knee assessment because knee alignment in both the frontal and sagittal planes can indicate or predispose to musculoskeletal injuries.

In the frontal plane, knee alignment is a determining factor of load distribution (SHARMA *et al.*, 2001). Valgus or varus misalignment generates overload on the medial and lateral compartments, respectively (BROUWER *et al.*, 2007; COLYN *et al.*, 2016a; EBERBACH *et al.*, 2016). Moreover, the misalignment is correlated to increased tension on the anterior cruciate ligament, collateral ligaments, and joint capsule, and to meniscal injury, patellofemoral pain syndrome, and iliotibial band syndrome (COLYN *et al.*, 2016a; SHON; PARK; KIM, 2017; STICKLEY *et al.*, 2018).

In the sagittal plane, knee alignment occurs when the joint is on complete extension, allowing weight-bearing without constant energy expenditure, and is an important part of maintaining balance during standing (CHENG *et al.*, 2016; HASEGAWA *et al.*, 2017). When a misalignment in flexion occurs, the activation of the quadriceps muscle is increased to help maintain knee stability during weight-bearing (CHENG *et al.*, 2016; HARATO *et al.*, 2008). This overactivation can lead to patellofemoral pain and knee osteoarthritis (CHENG *et al.*, 2016; ERKULA *et al.*, 2002; HARATO *et al.*, 2008). In addition, this misalignment generates functional consequences on gait, such as decreased walking speed and step length (CERNY; PERRY; WALKER, 1994). Similarly, the misalignment in hyperextension can lead to increased tension on structures of the posterior compartment of the knee, such as the posterior cruciate ligament (KERRIGAN; DEMING; HOLDEN, 1996).

Assessment of knee alignment is a fundamental procedure in clinical practice owing to the important function of knee alignment in supporting and maintaining the standing posture. The gold standard examination modality to assess knee alignment in the frontal and sagittal planes is full-leg standing radiography. With the results of the examination, knee mechanical axis (HINMAN; MAY; CROSSLEY, 2006), composed

of the femoral mechanical axis (FMA) and tibial mechanical axis (TMA), can be analyzed (CEBULSKI-DELEBARRE *et al.*, 2016; COLYN *et al.*, 2016a).

Knowledge of the classification of knee alignment is also important because misalignment can generate clinical consequences (MISSAOUI *et al.*, 2008; ROSÁRIO, 2014; TROMBINI-SOUZA *et al.*, 2009). Thus, identifying the normality parameters of knee alignment can provide relevant information to health professionals. However, reports in the literature are inconsistent, even those on the gold standard measurement. For example, the hip-knee-ankle (HKA) angle is an appropriately used measure (COLYN *et al.*, 2016a; HINMAN; MAY; CROSSLEY, 2006). However, no cutoff points have been established to classify varus or valgus knees. Thus, the normality values of knee alignment have not been standardized yet (VICTOR *et al.*, 2014).

Therefore, the aims of this systematic review were to identify knee alignment assessment methods using radiography in the sagittal and frontal planes and to identify the normality values for classifying knee alignment using these methods.

## 11.2 Methods

This systematic review followed the PRISMA (preferred reporting items for systematic review and meta-analysis) recommendations, (MOHER *et al.*, 2009) and the protocol was registered in PROSPERO (CRD42020154061) of the Centre for Reviews and Dissemination at the University of York (<http://www.crd.york.ac.uk/PROSPERO>).

### 11.2.1 Eligibility criteria

The eligibility criteria followed the PICOS approach (LIBERATI *et al.*, 2009), using items related to population (P), outcomes (O), study design (S) (LIBERATI *et al.*, 2009), and the condition studied. We included all studies that assessed knee alignment using radiography. The population included adults aged 19 to 65 years who had no history of hip or knee prosthesis surgery. The condition studied was knee alignment, assessed using full-leg standing radiography in both in the frontal and sagittal planes.

Studies were included if they described the methods used to assess knee alignment, such as anatomical reference points for calculations, the angles measured, the type of radiography used, and patient positioning. The primary outcome was the knee alignment assessment method. The cutoff points and normality values for

classifying knee alignment in the frontal and sagittal planes were the secondary outcomes. Only studies written in English, Spanish, or Portuguese were included.

### *11.2.2 Search strategy and screening*

A systematic search was performed in the PubMed, Scopus, Web of Science, and Embase databases in April 2020. A standard protocol was used for the systematic search, using terms related to the population and condition studied. The terms related to the population were “adult” or “middle-aged” and their synonyms. The terms related to the condition were “posture,” “knee,” or “radiography” and their synonyms. Table 1 presents the details of the full electronic search strategy used. Whenever possible, controlled terms (MeSH and Emtree terms) were used in addition to the synonymous terms. The search covered all studies published until April 2020. The reference lists of potential eligible studies were manually searched for studies not identified in the systematic search.

Study screening, which involved assessing titles and abstracts, was performed by two independent reviewers (B.N.R. and E.N.C.). Potential eligible studies were selected for the full-text analysis by the two independent reviewers. In this stage, studies that met the eligibility criteria were included. Disagreement between the reviewers was resolved by discussion or, if necessary, by the intervention of a third reviewer (C.T.C.). All study procedures from the study screening and inclusion to the data extraction were performed using the EndNote X7 software.

### *11.2.3 Data extraction and analysis*

Two blinded and independent reviewers extracted descriptive data from the included studies by using a standard form developed by the present authors. Information about the year and location of the study, population data (age, sex, and size), knee alignment assessment method, reference anatomical points used for calculations, type of radiography used, patient positioning during assessment, knee alignment values, cutoff points for knee alignment classification, and assessment plane (frontal or sagittal) were extracted. We included all eligible studies and all information needed. For additional information, we contacted the authors of the studies by e-mail.

Studies that fulfilled the inclusion criteria were assessed by the two independent reviewers regarding methodological quality by using QUADAS-2 (WHITTING *et al.*,

2011). The QUADAS-2 tool assesses four domains in terms of risk of bias, namely patient selection, index test, reference standard, and flow and timing. In addition, it assesses concerns about applicability using the first three domains (WHITTING *et al.*, 2011).

For risk-of-bias assessment, the signaling questions were answered “yes” (low risk of bias), “no” (potential risk of bias), or “unclear” (insufficient data reported). Furthermore, “not applied” (NA) was indicated when the signaling question was not applicable to the study design and the question was not used to assess the risk of bias or applicability. The risk of bias was judged as “low” when the answer to all signaling questions for a domain was “yes.” When any signaling question of a domain was answered “no,” potential risk of bias existed, and the risk of bias was judged as “high”(WHITTING *et al.*, 2011). Studies judged as having “low risk of bias” in all four domains were also judged as having “low concern regarding applicability.” When a study was judged as having a “high risk of bias” or “unclear risk of bias” in one or more domains, it was also judged as having “high concern regarding applicability” (ZWERUS *et al.*, 2018).

The data were meta-analyzed using the MAJOR package of the Jamovi 1.2.27 software. The summary measures used were means and 95% confidence intervals. Only data from the studies that included healthy participants were extracted because we aimed to calculate normality values (SIEGEL; MURAD; CHU, 2020). Means and variances were extracted from the included studies, and the means and 95% confidence intervals of knee alignment (for the overall population, males, and females) were calculated using the restricted maximum likelihood model (SIEGEL; MURAD; CHU, 2020). The statistical heterogeneity between the studies was calculated using the Inconsistence test ( $I^2$ ). The results were interpreted as follows: an  $I^2$  value close to 0% indicates no heterogeneity among the studies; close to 25%, low heterogeneity; close to 50%, moderate heterogeneity; and close to 75%, high heterogeneity among the studies (HIGGINS *et al.*, 2003). Publication bias was assessed using funnel plots and the Egger test (PAGE; HIGGINS; STERNE, 2020).

### 11.3 Results

In the initial search, 3825 studies were screened, of which 52 were potentially eligible. After the full-text analysis, 18 studies fulfilled all the eligibility criteria. Figure 1 presents the study selection flowchart (MOHER *et al.*, 2009).

Table 2 presents the knee measurements extracted from the 18 studies included in the qualitative synthesis. Only one study assessed knee alignment in the sagittal plane (MINODA *et al.*, 2008). Of the 17 studies that assessed knee alignment in the frontal plane, 15 used HKA angle measurements. The other two methods used to assess knee alignment in the frontal plane were the measurements of the weight-bearing line and femorotibial angle (ANDREWS *et al.*, 1996; NAKANO *et al.*, 2016). All the studies used panoramic radiography with full-leg visualization and bilateral weight-bearing (in the frontal plane) or unilateral support (in the sagittal plane).

Table 3 presents a sample description (size and characteristics) of the studies included in the qualitative synthesis, the knee alignment values (in the frontal and sagittal planes), and the cutoff points used for classifying knee alignment in the studies. HKA angle was the measure most frequently used to assess knee alignment in the frontal plane in the included studies. Two studies used values around  $180^\circ$  as cutoff points (MORELAND; BASSETT; HANKER, 1987; TANG; ZHU; CHIU, 2000). The other studies used values around  $0^\circ$  to classify the knee alignment normality in the frontal plane. However, the values were divergent, as some studies used cutoff points between  $-3^\circ$  and  $3^\circ$  (BELLEMANS *et al.*, 2012; LIN *et al.*, 2018; VICTOR *et al.*, 2014) and others used values between  $-2^\circ$  and  $2^\circ$  (BENNETT *et al.*, 2018). Other studies also classified knee alignment using positive and negative values (CLÉMENT *et al.*, 2018; COLYN *et al.*, 2016a; COOKE *et al.*, 1997, 2002; KRAJNC; DROBNIČ, 2019; VANWANSEELE; PARKER; COOLICAN, 2009). Even if the HKA angle is a widely used measure to assess knee alignment, discrepancies among the cutoff points used were found.

Figure 2 presents the risk-of-bias analysis of the included studies. Most studies presented low risk of bias regarding flow and timing and the reference standard used to assess knee alignment. Regarding the patient selection domain, most studies presented unclear risk of bias and concerns regarding applicability. Of the 18 included studies,

only three presented low risk of bias related to patient selection (Table 4). Thus, most studies had a limitation related to the generalization of results.

Table 5 presents the meta-analysis results from seven studies included in the quantitative analysis. Only a meta-analysis of the normality values of the HKA angle was possible. The normality values of knee alignment of healthy adults were calculated, resulting in the following three values: overall sample (male and female) HKA angle =  $-0.2^{\circ}$  ( $-2.8^{\circ}$  to  $2.41^{\circ}$ ), male HKA angle =  $0.77^{\circ}$  ( $-2.91^{\circ}$  to  $7.94^{\circ}$ ), and female HKA angle =  $-0.67^{\circ}$  ( $-5.32^{\circ}$  to  $3.98^{\circ}$ ). The funnel plots (Fig 3) and Egger test results (Table 5) suggest no publication bias in the meta-analysis outcome.

#### 11.4 Discussion

The primary outcome was the identification of the radiographic methods used to assess knee alignment in the frontal and sagittal planes. The systematic review revealed that knee alignment assessment is widely performed in the frontal plane but rarely performed in the sagittal plane. Only one of the 18 included studies assessed knee alignment in the sagittal plane (MINODA *et al.*, 2008) in only 10 men.

Knee alignment assessment in the frontal plane is clinically relevant. Varus or valgus misalignment can be a predisposing factor to knee osteoarthritis (VICTOR *et al.*, 2014), which is one of the most common types of arthrosis and causes of disability (SHARMA *et al.*, 2001). However, knee alignment in the sagittal plane is also an important clinical measure because it contributes to the “economy cone” and to body balance in the sagittal plane (CHENG *et al.*, 2016; HASEGAWA *et al.*, 2017). Moreover, it is related to functional issues such as speed of gait and step length (CERNY; PERRY; WALKER, 1994) and to standing and walking abilities (CHENG *et al.*, 2016).

Therefore, a knowledge gap exists in the literature related to radiographic methods for the assessment of knee alignment in the sagittal plane. The visualization of anatomical structures needed to assess knee alignment in the sagittal plane is difficult because of the difference in the intensity of the X-ray beams required to visualize the femoral head and knee (MINODA *et al.*, 2008). To visualize the femoral head, the X-ray beam intensity needed is higher than that for visualization of the knee, and when a



higher intensity is used, the knee is displayed as a black signal area (MINODA *et al.*, 2008). Similarly, when an adequate intensity is used to visualize the knee, the femoral head is shown as a white signal area (MINODA *et al.*, 2008). This difficulty can be one of the causes for the lack of research using radiography to assess knee alignment in the sagittal plane. However, owing to its clinical relevance, the development of future research that enables this assessment is expected in the future.

On the another hand, knee alignment assessment in the frontal plane is widely used in musculoskeletal studies mainly to assess the clinical conditions of knee osteoarthritis (BROUWER *et al.*, 2007). Apparently, a consensus has been reached about the utilization of the HKA angle in the assessment of knee alignment in the frontal plane, as 12 of the 18 included studies used this measurement. The HKA angle consists of the angle formed by the FMA and TMA (CEBULSKI-DELEBARRE *et al.*, 2016; COLYN *et al.*, 2016b). This measurement uses the centers of the hip, knee, and ankle as anatomical references (COLYN *et al.*, 2016b). However, discrepant results related to the anatomical structures used to determine the knee and ankle centers were obtained as shown in Table 2. This discrepancy did not affect the HKA angle calculation because the heterogeneity among the studies included in the meta-analysis for calculation of the normality values of the HKA angle was 0% (Table 5).

The normality values of the HKA angle could only be determined using meta-analysis (Table 5). The normality values of the HKA angle for the overall population, males, and females were calculated using the seven included studies. When we used the cutoff point indicated in some studies that classified knees as varus if the HKA angle was negative and as valgus if the HKA angle was positive (CLÉMENT *et al.*, 2018; COLYN *et al.*, 2016b; COOKE *et al.*, 2002), the classification of normal alignment for females was different from that for males. The men presented a HKA angle of  $0.77^\circ$  ( $-2.91^\circ$  to  $7.94^\circ$ ), which is classified as valgus, and the women presented a HKA angle of  $-0.67^\circ$  ( $-5.32^\circ$  to  $3.98^\circ$ ), which is classified as varus. Thus, in our understanding, classification of knee alignment based only on positive or negative values can result in misclassification. Bellemans *et al.* (2012) reported that a proportion of the healthy population in their study presented a varus alignment of up to  $3^\circ$ , which they called “constitutional varus.” (BELLEMANS *et al.*, 2012). The present meta-analysis revealed the same finding by using the lower and upper limits of the normality values found. Thus, on the basis of the meta-analysis for the overall sample (Table 5), adopting the

normality values ranging from  $-3^{\circ}$  to  $3^{\circ}$ , which were derived from all the included studies, as cutoff points are more prudent (Table 3).

#### 11.4.1 Limitations

Some limitations should be considered when interpreting our results. The major limitation is the language restriction applied in the study selection. Only studies in Portuguese, English, and Spanish were included in the systematic review. This restriction might have excluded potential eligible studies published in other languages. In addition, in the generalization of the results of these studies, the risk of bias related to patient selection was unclear in most studies. Nevertheless, the funnel plots (Fig 3) suggested no publication bias in the meta-analysis of the normality values of the HKA angle. In spite of the few studies included in the quantitative synthesis, the studies were symmetrically distributed (PAGE; HIGGINS; STERNE, 2020). This result was confirmed by the Egger test (Table 5).

### 11.5 Conclusion

This systematic review identified three methods using panoramic radiography for the assessment of knee alignment in the frontal plane and only one method for the assessment of knee alignment in the sagittal plane of LLs. The HKA angle was the most frequently used measurement, and the normality values of the HKA angle were obtained for the overall population, males, and females in the meta-analysis. In accordance with the normality limits obtained from the meta-analysis, we suggest the utilization of HKA angles ranging from  $-3^{\circ}$  to  $3^{\circ}$  as cutoff points for classifying knee alignment in the frontal plane.

### 11.6 References

ANDREWS, M. *et al.* Lower limb alignment and foot angle are related to stance phase knee adduction in normal subjects: A critical analysis of the reliability of gait analysis data. **Journal of Orthopaedic Research**, v. 14, n. 2, p. 289–295, 1996.

BELLEMANS, Johan *et al.* The chitranjan Ranawat Award. Is Neutral Mechanical Alignment Normal for All Patients? The Concept of Constitutional Varus. **Clinical**

**Orthopaedics and Related Research**, v. 470, n. 1, p. 45–53, 2012.

BENNETT, Hunter J. *et al.* Frontal Plane Tibiofemoral Alignment is Strongly Related to Compartmental Knee Joint Contact Forces and Muscle Control Strategies during Stair Ascent. **Journal of Biomechanical Engineering**, v. 140, n. 6, 2018.

BROUWER, G. M. *et al.* Association Between Valgus and Varus Alignment and the Development and Progression of Radiographic Osteoarthritis of the Knee. **Arthritis and Rheumatism**, v. 56, n. 4, p. 1204–1211, 2007.

CEBULSKI-DELEBARRE, A. *et al.* Correlation between primary flat foot and lower extremity rotational misalignment in adults. **Diagnostic and Interventional Imaging**, v. 97, n. 11, p. 1151–1157, 2016.

CERNY, Kay; PERRY, Jacquelin; WALKER, Joan M. Adaptations during the stance phase of gait for simulated flexion contractures at the knee. **Orthopedics**, v. 17, n. 6, p. 501–513, 1994.

CHENG, Xiaofei *et al.* Spontaneous Improvement of Compensatory Knee Flexion After Surgical Correction of Mismatch Between Pelvic Incidence and Lumbar Lordosis. **Spine**, v. 41, n. 16, p. 1303–1309, 2016.

CLÉMENT, Julien *et al.* Healthy 3D knee kinematics during gait: Differences between women and men, and correlation with x-ray alignment. **Gait and Posture**, v. 64, p. 198–204, 2018.

COLEBATCH, Alexandra N. *et al.* Effective measurement of knee alignment using AP knee radiographs. **Knee**, v. 16, n. 1, p. 42–45, 2009.

COLYN, William *et al.* How does lower leg alignment differ between soccer players, other athletes, and non-athletic controls? **Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy**, v. 24, n. 11, p. 3619–3626, 2016.

COOKE, B. Y. Derek *et al.* Axial lower-limb alignment: comparison of knee geometry in normal volunteers and osteoarthritis patients. **Osteoarthritis and Cartilage**, v. 5, p. 39–47, 1997.

COOKE, Derek T. *et al.* Analysis of limb alignment in the pathogenesis of osteoarthritis: A comparison of Saudi Arabian and Canadian cases. **Rheumatology International**, v. 22, n. 4, p. 160–164, 2002.

DRAGANICH, Louis *et al.* The effectiveness of self-adjustable custom and off-the-shelf bracing in the treatment of varus gonarthrosis. **The Journal of Bone and Joint Surgery (American)**, v. 88-A, n. 12, p. 2645–2653, 2006.

EBERBACH, Helge *et al.* Geometry of the Valgus Knee. Contradicting the Dogma of a Femoral-Based Deformity. **The American Journal of Sports Medicine**, v. 45, n. 4, p. 909–914, 2016.

ERKULA, Gürkan *et al.* Hamstring shortening in healthy adults. **Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation**, 2002.

HARATO, Kengo *et al.* Knee flexion contracture will lead to mechanical overload in both limbs: A simulation study using gait analysis. **The Knee**, v. 15, n. 6, p. 467–472, 2008.

HASEGAWA, Kazuhiro *et al.* Standing sagittal alignment of the whole axial skeleton with reference to the gravity line in humans. **Journal of Anatomy**, v. 230, p. 619–630, 2017.

HIGGINS, Julian P. T. *et al.* Measuring inconsistency in meta-analyses. **BMJ : British Medical Journal**, v. 327, n. 7414, p. 557–560, 2003.

HINMAN, Rana S.; MAY, Rachel L.; CROSSLEY, K. A. Y. M. Is There an Alternative to the Full-Leg Radiograph for Determining Knee Joint Alignment in Osteoarthritis? **Arthritis and Rheumatism**, v. 55, n. 2, p. 306–313, 2006.

KERRIGAN, D. Casey; DEMING, Lynn C.; HOLDEN, Maureen K. Knee recurvatum in gait: A study of associated knee biomechanics. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, v. 77, n. 7, p. 645–650, 1996.

KRAJNC, Zmago; DROBNIČ, Matej. Radiographic analysis of lower limb alignment in professional football players. **Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery**, v. 139, n. 12, p. 1771–1777, 2019.

LIBERATI, Alessandro *et al.* The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: explanation and elaboration. **BMJ (Clinical research ed.)**, v. 339, 2009.

LIN, Yu Hsien *et al.* Mismatch between femur and tibia coronal alignment in the knee joint: Classification of five lower limb types according to femoral and tibial mechanical

- alignment. **BMC Musculoskeletal Disorders**, v. 19, n. 1, p. 1–9, 2018.
- MINODA, Yukihide *et al.* Sagittal alignment of the lower extremity while standing in Japanese male. **Arch Orthop Trauma Surg**, v. 128, p. 435–442, 2008.
- MISSAOUI, B. *et al.* Posture and equilibrium in orthopedic and rheumatologic diseases. **Neurophysiologie Clinique**, v. 38, n. 6, p. 447–457, 2008.
- MOHER, David *et al.* Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. **PLoS Medicine**, v. 6, n. 7, 2009.
- MORELAND, J. R.; BASSETT, L. W.; HANKER, G. J. Radiographic Axial Analysis of the Lower of the Extremity. **The Journal of Bone and Joint Surgery (American)**, v. 69, n. 5, p. 745–749, 1987.
- NAKANO, Naoki *et al.* Coronal lower limb alignment in normal knees - A radiographic analysis of 797 normal knee subjects. **Knee**, v. 23, n. 2, p. 209–213, 2016.
- PAGE, Matthew J.; HIGGINS, Julian PT; STERNE, Jonathan AC. Chapter 13: Assessing risk of bias due to missing results in a synthesis. *In*: HIGGINS, JPT *et al.* (org.). **Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions**. *E-book*. Disponível em: [www.training.cochrane.org/handbook](http://www.training.cochrane.org/handbook).
- ROSÁRIO, José Luís Pimentel do. Biomechanical assessment of human posture: A literature review. **Journal of Bodywork and Movement Therapies**, v. 18, n. 3, p. 368–373, 2014.
- SEGAL, Neil A. *et al.* Effects of Concurrent Use of an Ankle Support with a Laterally Wedged Insole for Medial Knee Osteoarthritis. **PM&R**, v. 1, n. 3, p. 214–222, 2009.
- SHARMA, Leena *et al.* The Role of Knee Alignment in Disease Progression and Functional Decline in Knee Osteoarthritis. **JAMA**, v. 286, n. 2, 2001.
- SHON, Oog-Jin; PARK, Jae-Woo; KIM, Beum-Jung. Current Concepts of Posterolateral Corner Injuries of the Knee. **Knee Surgery & Related Research**, v. 29, n. 4, p. 256–268, 2017.
- SIEGEL, Lianne; MURAD, M. Hassan; CHU, Haitao. Estimating the reference range from a meta-analysis. **Research Synthesis Methods**, n. March, p. 1–13, 2020.
- STICKLEY, Christopher D. *et al.* Dynamic varus and the development of iliotibial band

syndrome. **Journal of Athletic Training**, v. 53, n. 2, p. 128–134, 2018.

TANG, W. M.; ZHU, Y. H.; CHIU, K. Y. Axial Alignment of the Lower Extremity in Chinese Adults. **Journal of Bone and Joint Surgery**, v. 82, n. 11, p. 1603–1608, 2000.

TROMBINI-SOUZA, Francis *et al.* Correlações entre as estruturas dos membros inferiores. **Fisioterapia e Pesquisa**, v. 16, n. 3, p. 205–210, 2009.

VANWANSEELE, Benedicte; PARKER, David; COOLICAN, Myles. Frontal knee alignment: Three-dimensional marker positions and clinical assessment. **Clinical Orthopaedics and Related Research**, v. 467, n. 2, p. 504–509, 2009.

VICTOR, Jan M. K. *et al.* Constitutional Varus Does Not Affect Joint Line Orientation in the Coronal Plane. **Clinical Orthopaedics and Related Research**, v. 472, p. 98–104, 2014.

WHITTING, Penny F. *et al.* QUADAS-2: A Revised Tool for the Quality Assessment of Diagnostic Accuracy Studies. **Annals of Internal Medicine**, v. 155, n. 8, p. 529–536, 2011.

ZWERUS, Elisa L. *et al.* Physical examination of the elbow, what is the evidence? A systematic literature review. **British Journal of Sports Medicine**, v. 52, n. 19, p. 1253–1260, 2018.

Table 1 – Full electronic search conducted in the PubMed\*

#1	Adult [MeSH] OR Adult OR Adults OR “Middle Aged” [MeSH] OR “Middle Aged” OR “Middle Age”
#2	Posture [MeSH] OR Posture OR Postures OR Alignment AND Knee [MeSH] OR Knee OR “Knee Joint” [MeSH] OR Knee Joint” OR “Joint, Knee” OR “Joints, Knee” OR “Knee Joints” AND Radiography [MeSH] OR Radiography OR “Diagnostic X-Ray” OR “Diagnostic X Ray” OR “Diagnostic X-Rays” OR “X-Rays, Diagnostic” OR “Roentgenography” OR “X-Ray Radiology, Diagnostic” OR “X Ray Radiology, Diagnostic” OR “Radiology, Diagnostic X-Ray” OR “Radiology, Diagnostic X Ray” OR “X-Ray, Diagnostic” OR “X Ray, Diagnostic” OR “Diagnostic X-Ray Radiology” OR “Diagnostic X Ray Radiology”
#3	#1 AND #2

\*The search was conducted using the title/abstract/study keywords

Table 2 – Description (measure, anatomical reference points used, and positioning during X-rays exam) of knee alignment measurement methods in included studies

Study	Country	Measure	Plane	Reference points	Measure description	Patient positioning during radiography	
Andrews <i>et al</i> , 1996	USA	Weight bearing (WBL)	line	Frontal 1	FHC and center of the ankle mortise	The location where the line intersects the tibial plateau and is expressed as a percentage of tibial width (m/t X 100%)	Double stance, full-length anteroposterior radiographs showing both lower limbs from the femoral heads to the ankle joints
Bellemans <i>et al</i> , 2012	Belgium	Hip-knee-ankle angle (HKA)	angle	Frontal 1	FHC. KC: the intersection of the midline between the tibial spines and the midline between the femoral condyles and tip of the tibiae. AC: mid-width of the talus.	Angle formed by FMA (from FHC to KC) and by TMA (from CK to CA)	Weightbearing full-leg radiographs, standing barefoot and the feet together while the patellae were oriented forward.
Bennet <i>et al</i> , 2018	USA	HKA		Frontal 1	HC, KC, and AC	Medial angle between line formed by HC – KC and the line formed by KC – AC	Anteroposterior full-leg radiography
Clement <i>et al</i> , 2018	Canada	HKA		Frontal	HC, KC, and AC	Medial angle between	Double stance, full-length



				1		line formed by HC – KC and the line formed by KC – AC	anteroposterior radiography
Colebatch 2009	<i>et al</i> ,	United Kingdo m	HKA	Fronta 1	FHC, midpoint of the tibial spines, midpoint of the talus	Angle between the line formed by FHC, by midpoint of the tibial spines, and by midpoint of the talus	Full-limb radiographs, the subject stood without footwear, with tibial tubercles facing forward with the X-ray beam centred at the knee
Colyn <i>et al</i> , 2016		Belgiu m	HKA	Fronta 1	FHC. KC: mid-point of the tibial spines halfway between the intercondylar notches. AC: mid-width of the talus	Angle formed by FMA (FHC – KC) and by TMA (KC – AC)	Weight-bearing full-leg radiographs with the subjects standing barefoot and the knees in full extension and patellae facing forward with the X-ray beam centered at the knee
Cooke <i>et al</i> , 1997		Canada	HKA	Fronta 1	HC, KC, and AC	Medial angle formed by FMA (HC – KC) and by TMA (KC – AC)	Standardized according QUESTOR
Cooke <i>et al</i> , 2002		Saudi Arabia	HKA	Fronta 1		Angle formed by FMA and by TMA	Full-leg radiography
Draganich 2006	<i>et al</i> ,	USA	HKA	Fronta 1		Intersection between FMA and TMA	Full-leg radiography
Kranjc; 2019	Drobnic,	Sloveni a	Mechanical axis	Fronta 1	HC. KC: intersection of the	Angle between FMA (HC – KC) and TMA	Bilateral full-length anteroposterior weight-bearing radiographs, in standing position with the back against

				midline between the femoral condyles and the intercondylar eminences of tibia.  AC: mid-width of the talar dome.	(KC – AC)	the radiographic table, the whole lower limb from femoral head to the ankle mortise should be included, and both knees are in full extension with patellae facing forward
Lin <i>et al</i> , 2018	Taiwan	HKA	Frontal		Angle formed by FMA and TMA	Full-leg radiograph with both knees in full extension with patellae facing forward
Minoda <i>et al</i> , 2008	Japan	Knee angle	flexion Sagittal	Great trochanter of femur (GTF), lateral femoral epicondyle (LFE), fibular head (FH), lateral malleolus (LM)	Angle between a line drawn from the midpoint of the greater trochanter to the lateral femoral epicondyle and a line drawn from the center of the fibular head to the center of the lateral malleolus	Sagittal radiographs under weight-bearing condition with the knee in extension
Moreland <i>et al</i> , 1987	USA	Angle A	Frontal	HC. KC: midpoint between 5 anatomical structures <sup>a</sup> . AC: midpoint between 3 anatomical structures <sup>b</sup> .	Angle formed by FMA (HC – KC) and TMA (KC – AC)	Anteroposterior radiograph, made with the subject standing and wearing normal footwear, with patellae facing forward.
Nakano <i>et al</i> , 2016	Japan	Femorotibial angle	Frontal	GTF, intercondylar notch of the femur; tip of the	Angle between two lines: FI (GTF – intercondylar	Bilateral standing radiographic according QUESTOR

				tibial plateau, mid-malleolar point	notch of the femur) and PT (tip of the tibial plateau – mid-malleolar point)	
Segal <i>et al</i> , 2009	USA	HKA	Frontal	HC. KC: mid-point of the tibial spines. AC.	Angle between HC – KC – AC	Standing anterior posterior radiographs of both lower limbs, including the hips, knees, and ankles. The interval between the heels was 28 cm
Tang <i>et al</i> , 2000	China	HKA	Frontal	HC. KC: midpoint between 5 anatomical structures <sup>a</sup> . AC: midpoint between 3 anatomical structures <sup>b</sup> .	Angle formed by FMA (HC – KC) and TMA (KC – AC)	Anteroposterior radiograph, made with the subject standing and wearing normal footwear, with patellae facing forward.
Vanwaseele <i>et al</i> , 2009	Australia	Mechanical axis	Frontal	FHC. KC: mid-point of the tibial spines. AC: mod-point of talus.	Angle between FHC – mid-point of the tibial spines – mid-point of talus.	Standard weightbearing posteroanterior long-leg radiographs of both legs according to the protocol of Moreland et al.
Victor <i>et al</i> , 2014	Belgium	HKA	Frontal	FHC. KC: center of the femoral condyles. AC: center of the superior facet of the		Weightbearing full-leg radiographs were obtained with patients standing barefoot with both feet together and patellae facing forward.

---

talus.

---

FHC: femoral head center; KC: knee center; AC: ankle center; FMA: femoral mechanical axis; TMA: tibial mechanical axis; HC: hip center; <sup>a</sup>five anatomical points: the center of the soft tissue at the level of the cartilaginous space, the center of the tibia, the center of the femoral condyles at the level of the top of the intercondylar notch, the center of the tips of the tibial spines, and the center of the femoral intercondylar notch; <sup>b</sup>mid-point of three measured points: the center of the soft tissue just proximal to the level of the cartilaginous space, the center of the external surface of the malleoli just proximal to the level of the cartilaginous space (center of bones), and the center of the talus.

Table 3 – Sample description, knee alignment values, and cutoff points used to classify the knee alignment in included studies.

Study	Sample size	Sample (characteristics)	Values	Cut-off points
Andrews <i>et al</i> , 1996	11	Healthy adults. Age between 23 and 42 years. Both genders.	35.7% <sup>a</sup> (15% – 60%)	Varus: LAP < 50% Valgus: LAP > 50%
Bellemans <i>et al</i> , 2012	250 (500 knees)	Healthy adults. Age between 20 and 27 years. Both genders.	Overall sample: $-1.33^\circ \pm 2.34^\circ$ Male: $-1.87^\circ \pm 2.42^\circ$ Female: $-0.79^\circ \pm 2.13^\circ$	Normal: HKA range from $-3^\circ$ to $3^\circ$ Varus: HKA < $-3^\circ$ Valgus: HKA > $3^\circ$
Bennet <i>et al</i> , 2018	20	Healthy adults. 10 varus, 10 valgus	Varus: $-6^\circ \pm 1.6^\circ$ Valgus: $3.6^\circ \pm 1$	Normal: HKA range from $-2^\circ$ to $2^\circ$ Varus: HKA < $-2^\circ$ Valgus: > $2^\circ$
Clement <i>et al</i> , 2018	90 (165 knees)	Both genders	Overall sample: $1.6^\circ \pm 3$ Male: $2.6^\circ \pm 3.1$ Female: $0.8^\circ \pm 2.6^\circ$	Varus: negative HKA Valgus: positive HKA
Colebatch <i>et al</i> , 2009	40 (80 knees)	Healthy women $53 \pm 8$ anos	$178.9^\circ \pm 2.1^\circ$	Varus: HKA < $180^\circ$ Valgus: HKA > $180^\circ$
Colyn <i>et al</i> , 2016	200	Healthy adults Age between 20 and 27 years	Male: $-2.1^\circ \pm 2.4^\circ$ Female: $-0.7^\circ \pm 2.1^\circ$	Varus: negative HKA Valgus: positive HKA
Cooke <i>et al</i> , 1997	79	Both genders $24 \pm 3$ years	Overall sample: $-0.96^\circ \pm 2.82^\circ$ Female: $-0.5^\circ \pm 2.6^\circ$ Male: $-1.5^\circ \pm 3^\circ$	Varus: negative HKA Valgus: positive HKA
Cooke <i>et al</i> , 2002	55 (39 Saudi, 16 Canadian)	Osteoarthritic knee patients under 50 years	Saudi Female: $-11.1^\circ$ Saudi Male: $-6.7^\circ$ Canadian Female: $-1.8^\circ$ Canadian Male: $-6^\circ$	Varus: negative HKA Valgus: positive HKA
Draganich <i>et al</i> , 2006	9	Adult patients with varus knee arthrosis $50.8 \pm 5.4$ years	$6.4^\circ \pm 3^\circ$	
Kranjc; Drobnic, 2019	24 (48 knees)	Adult asymptomatic professional football players $24.2 \pm 3.6$ years	$5.8^\circ \pm 3^\circ$	Varus: negative HKA Valgus: positive HKA
Lin <i>et al</i> , 2018	127	Healthy adults between 20 and 50 years	$0.5^\circ \pm 2.6^\circ$	Normal: HKA range from $-3^\circ$ to $3^\circ$ Varus: HKA < $-3^\circ$ Valgus: HKA > $3^\circ$
Minoda <i>et al</i> , 2008	10	Healthy men $27 \pm 2$ year	$0.8^\circ \pm 4.2^\circ$	
Moreland <i>et al</i> , 1987	25	Healthy men between 25 and 45 years	Right knee: $178.5^\circ \pm 2^\circ$ Left knee: $178.9^\circ \pm 2.1^\circ$	Normal: Angle = $180^\circ$ Varus: Angle < $180^\circ$ Valgus: Angle > $180^\circ$
Nakano <i>et al</i> , 2016	135	Healthy adults	Female: $175^\circ \pm 2.6^\circ$	

		between 40 and 54 years 106 women and 29 men	Male: $176.7^\circ \pm 2.7^\circ$	
Segal <i>et al</i> , 2009	14	Adults with unicompartmental medial knee osteoarthritis	$-1.6^\circ \pm 4.2^\circ$	
Tang <i>et al</i> , 2000	50	25 men between 22 and 30 years 25 women between 21 and 29 years Healthy adults	Male: $177.8^\circ \pm 2.7^\circ$ Female: $177.8^\circ \pm 2.5^\circ$	Normal: HKA = $180^\circ$ Varus: HKA < $180^\circ$ Valgus: HKA > $180^\circ$
Vanwaseele <i>et al</i> , 2009	11 (20 knees)	Adults with knee osteoarthritis	$0.7^\circ \pm 7.3^\circ$	Varus: negative HKA Valgus: positive HKA
Victor <i>et al</i> , 2014	532	Adults with knee osteoarthritis	$-6^\circ \pm 6.2^\circ$	Normal: HKA range from $-3^\circ$ to $3^\circ$ Varus: HKA < $-3^\circ$ Valgus: HKA > $3^\circ$

Table 4 – Risk of bias and applicability concerns assessment of included studies using QUADAS-2

Study	RISK OF BIAS				APPLICABILITY CONCERNS		
	PATIENT SELECTI ON	INDEX TEST	REFEREN CE STANDA RD	FLOW AND TIMIN G	PATIEN T SELECTI ON	INDEX TEST	REFEREN CE STANDA RD
Andrews <i>et al.</i> , 1996	?	NA	☺	☺	?	NA	☺
Bellemans <i>et al.</i> , 2012	⊖	NA	☺	☺	⊖	NA	☺
Bennet <i>et al.</i> , 2018	⊖	NA	☺	☺	⊖	NA	☺
Clement <i>et al.</i> , 2018	⊖	NA	☺	☺	⊖	NA	☺
Colebatch <i>et al.</i> , 2009	?	?	?	?	?	?	?
Colyn <i>et al.</i> , 2016	☺	NA	☺	⊖	☺	NA	☺
Cooke <i>et al.</i> , 2002	?	NA	☺	☺	?	NA	☺
Draganich <i>et al.</i> , 2006	☺	NA	☺	☺	☺	NA	☺
Kranjc, Drobnic, 2019	?	NA	☺	☺	?	NA	☺
Lin <i>et al.</i> , 2018	?	NA	☺	☺	?	NA	☺
Minoda <i>et al.</i> , 2008	?	NA	☺	☺	?	NA	☺
Moreland <i>et al.</i> , 1987	?	NA	☺	☺	?	NA	☺
Nakano <i>et al.</i> , 2016	?	NA	☺	☺	?	NA	☺
Segal <i>et al.</i> , 2009	☺	NA	☺	☺	☺	NA	☺
Tang <i>et al.</i> , 2000	?	NA	☺	?	?	NA	?
Vanwaseele <i>et al.</i> , 2009	?	?	?	?	?	?	?
Victor <i>et al.</i> , 2014	⊖	NA	☺	☺	⊖	NA	☺

☺ Low Risk   ⊖ High Risk   ? Unclear Risk   NA: Not applied

Table 5 – Meta-analysis of angular reference values of the knee alignment on frontal plane using HKA angle.

	Study	Sample (knees)	Mean	Lower limit	Upper limit
Overall sample	Bellemans et al (2002) <sup>29</sup>	500	-1.33	-5.92	3.26
	Clément et al (2018) <sup>31</sup>	165	1.6	-4.28	7.48
	Cooke et al (1997) <sup>34</sup>	79	-0.96	-6.49	4.57
	Lin et al (2018) <sup>38</sup>	127	0.5	-4.6	5.6
	Estimado	871	-0.2	-2.8	2.41
	$I^2=0\%$ (p=.864), Egger's Test=.600 (p=.584)				
Male	Bellemans et al (2012) <sup>29</sup>	250	-1.87	-13.99	10.25
	Clément et al (2018) <sup>31</sup>	75	2.6	-7.56	12.76
	Colyn et al (2016) <sup>33</sup>	100	-2.1	-11.7	7.5
	Cooke et al (1997) <sup>34</sup>	38	-1.5	-9.93	6.93
	Krajnc, Drobnc (2019) <sup>37</sup>	48	5.8	-3.13	14.73
	Minoda et al (2008) <sup>26</sup>	10	0.8	-6.34	7.94
	Estimado	521	0.77	-2.91	7.94
$I^2=0\%$ (p=.829), Egger's Test=-.205 (p=.837)					
Female	Bellemans et al (2012) <sup>29</sup>		-0.79	-12.16	10.58
	Clément et al (2018) <sup>31</sup>		-0.8	-10.53	8.93
	Colyn et al (2016) <sup>33</sup>		-0.7	-9.68	8.28
	Cooke et al (1997) <sup>34</sup>		-0.5	-8.5	7.5
	Estimado		-0.67	-5.32	3.98
$I^2=0\%$ (p=1.000), Egger's Test=-.046 (p=.963)					