

Diogo Henrique Magalhães Gonçalves

Reprodutibilidade da cinemática da escápula, úmero  
e tronco em adultos saudáveis, comparando as  
avaliações entre os avaliadores experiente e  
inexperiente

São Paulo  
2016

Diogo Henrique Magalhães Gonçalves

Reprodutibilidade da cinemática da escápula, úmero  
e tronco em adultos saudáveis, comparando as  
avaliações entre os avaliadores experiente e  
inexperiente

Dissertação apresentada à  
Universidade Nove de Julho, para  
obtenção do título de Mestre em  
Ciências da Reabilitação.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto  
Garcia Lucareli

Co-orientador: Prof. Dr. Fabiano  
Politti

São Paulo  
2016

Gonçalves, Diogo Henrique Magalhães.

Reprodutibilidade da cinemática da escápula, úmero e tronco em adultos saudáveis, comparando as avaliações entre avaliadores experiente e inexperiente. / Diogo Henrique Magalhães Gonçalves. 2016.

87 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2016.

Orientador (a): Prof. Dr. Paulo Roberto Garcia Lucareli.

1. Reprodutibilidade. 2. Cinemática. 3. Escápula. 4. Tronco. 5. Úmero. 6. Avaliadores.

I. Lucareli, Paulo Roberto Garcia. II. Título

CDU 615.8


São Paulo, 07 de dezembro de 2016.

**TERMO DE APROVAÇÃO**

Aluno(a): Diogo Henrique Magalhães Gonçalves

Título da Dissertação: "Reprodutibilidade da cinemática do complexo articular do ombro para avaliação dos movimentos escapulotorácico e escapuloumeral".

Presidente: PROF. DR. PAULO ROBERTO GARCIA LUCARELI



Membro: PROFA. DRA. FERNANDA DE CORDOBA LANZA



Membro: PROFA. DRA. PAULA REZENDE CAMARGO



## DEDICATÓRIA

A Deus, a minha noiva, a meus pais,  
amigos e familiares.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Senhor nosso Deus que sempre me guiou durante toda a minha vida.

A meus pais que nunca mediram esforços para que eu pudesse realizar os meus sonhos e atingir os meus objetivos, sempre me incentivando, apoiando as minhas decisões e orando por mim.

Ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Lucarelli, que acreditou em mim, me acolheu e sempre com muita humildade dividiu seu conhecimento comigo e todos os seus alunos, além ser nosso professor e orientador, ele se tornou um amigo, e essa amizade cultivarei pelo resto da minha vida.

Ao meu Co-orientador Prof. Dr. Fabiano Politti, que foi indispensável para a realização desse trabalho, sempre disposto a ajudar e dividir seu conhecimento conosco a Prof. Dra. Daniela Biasotto, sempre com ótimos conselhos e ideias, são amizades que também cultivarei.

Aos meus pais, não há palavras para agradecer tudo que eles fizeram e fazem por mim e por cada um dos seus filhos, aos meus irmãos Diego e Douglas por me incentivarem e me apoiarem durante toda a minha caminhada acadêmica, a minha cunhada Soraya pelo incentivo e apoio.

Aos meus amigos do laboratório, André Bley, Aline, Nayra, Luciana, Fernanda, Amir, André, Letícia e todos os outros que estiveram presentes durante esta jornada e me ajudaram, apoiaram e incentivaram sempre.

Aos meus amigos de infância, que mesmo com a distância nunca deixaram de me apoiar.

Aos meus familiares, tios, tias, avós e primos, sempre incentivando e orando por mim.

A minha noiva Samanta, que com muito amor e carinho, suportou esses dois anos em que me dediquei e fiquei distante, e mesmo com todas as adversidades sempre esteve do meu lado.

*“Ser feliz é deixar de ser vítima dos problemas e se tornar um autor da própria história. É atravessar desertos fora de si, mas ser capaz de encontrar um oásis no recôndito da sua alma. É agradecer a Deus a cada manhã pelo milagre da vida”*

*Augusto Cury*

# SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE ABREVIATURAS

RESUMO

<b>RESUMO.....</b>	<b>10</b>
1 Contextualização.....	18
1.1 Biomecânica do complexo articular do ombro .....	18
1.2 Cinemática	19
1.3 Reprodutibilidade .....	21
2 Justificativa e Relevância .....	22
3 Objetivos	22
3.1 Objetivos Específicos .....	23
4 Método	23
4.1 Desenho do estudo .....	23
4.2 Local da realização do estudo.....	23
4.3 Aspectos Éticos.....	24
4.4 Participantes	24
4.5 Critérios de inclusão.....	24
4.6 Critérios de exclusão.....	25
4.7 Procedimentos .....	26
4.8 Colocação dos marcadores.....	27
4.9 Cinemática Tridimensional .....	28
4.10 Familiarização dos voluntários com as atividades e equipamentos .....	28
4.11 Descrição da tarefa .....	29
4.12 Processamento dos dados.....	32
4.13 Variáveis avaliadas .....	40
4.14 Análise estatística .....	40
5 Resultados	41
6 Anexos	67



## PREFACIO

Essa dissertação de Mestrado aborda o tema referente a reprodutibilidade do complexo articular do ombro em pessoas saudáveis. A Universidade Nove de Julho possui algumas regras específicas para a elaboração da defesa da dissertação que, para melhor entendimento da banca, será explicada durante esse prefácio. Segundo essas regras o aluno deve dividir a dissertação em 5 partes: 1: Contextualização; 2: Justificativa; 3: Objetivos; 4: Métodos; 5: Resultados; 6: Discussão e 7: Conclusão.

No primeiro capítulo são apresentados um panorama geral da literatura a respeito do assunto abordado. No nosso caso foi abordado a biomecânica do complexo articular do ombro, a análise cinemática tridimensional, e a reprodutibilidade de diferentes métodos de avaliação do complexo articular do ombro, explorando algumas lacunas que ainda não foram totalmente preenchidas na literatura. Nos capítulos 2 e 3 são apresentados, ainda, a justificativa e os objetivos dessa dissertação que, segundo as regras da Universidade, devem ser respondidos em forma de artigo.

No quarto capítulo é apresentado os métodos utilizados para o desenho do estudo, localização, aspectos éticos, informações dos participantes, critérios de inclusão e exclusão, procedimentos, colocação dos marcadores, cinemática, familiarização dos voluntários e descrição das tarefas.

O quinto são os resultados da pesquisa obtidos durante a formação do aluno dentro da Universidade. Os resultados serão inseridos no artigo, que se encontra em anexo, após as considerações da banca e será submetido à uma revista de alto impacto na área, tão logo as considerações e as correções do aluno forem feitas.

O sexto capítulo é referente a discussão sobre os resultados obtidos no nosso estudo comparados com os de outros autores, discutindo o as amplitudes de movimentos, os dois avaliadores com diferentes níveis de experiência, uma única calibração, o modelo e os segmentos avaliados.

No sétimo capítulo após analisarmos, compararmos e discutirmos, concluímos todo estudo baseado nos resultados obtidos, respondendo a pergunta do estudo.

Em anexo há 1 manuscrito, aguardando considerações da banca de defesa para breve submissão.

## RESUMO

A reprodutibilidade da cinemática escapular já foi testada intra e inter-sessões e intra e inter-dias, porém essas avaliações foram realizadas apenas por avaliadores experientes e a maioria dos estudos com apenas um avaliador. A comparação entre avaliadores com diferentes níveis de experiência ainda não foi explorada, deixando dúvidas quanto a precisão dos resultados da avaliação se realizadas por diferentes avaliadores. O objetivo do presente estudo foi avaliar a reprodutibilidade inter e intra-avaliadores, com diferentes níveis de experiência, nos movimentos de flexão e abdução do braço para os segmentos da escápula, úmero e tronco. As capturas dos dados de cinemática foram realizadas utilizando um sistema de 8 câmeras e frequência de amostragem de 120Hz durante os movimentos de flexão e abdução do braço. Foram avaliados 20 voluntários saudáveis (10 homens e 10 mulheres) com idade média de 25.1 ( $\pm 1.1$ ) anos, que foram submetidos à 6 sessões de análise do movimento. Cada avaliador realizou três sessões, duas sessões realizadas no primeiro dia com intervalo de três horas entre elas e a terceira sessão foi realizada no segundo dia, 48 horas após o primeiro dia. Para cada sessão foram realizadas 5 repetições de cada movimento, abdução e flexão unilateral do braço. A análise estatística foi realizada por um avaliador independente, para distribuição dos dados, foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk, A reprodutibilidade da amplitude de movimento e dos valores angulares nos ângulos de 30°, 60°, 90° e 120° do braço foi verificada pelo coeficiente de correlação intraclassa (ICC) assim como o erro de medida padrão (SEM). Os valores obtidos nos ângulos de 30°, 60°, 90° e 120° intra-dia variaram de 0,67-0,98 e (0,58° à 5,64°) para o avaliador inexperiente e variaram de 0,67-0,98 e (0,64° à 6,17°) para o avaliador experiente, no movimento de flexão. Durante o movimento de abdução os valores obtidos nos ângulos de 30°, 60°, 90° e 120° intra-dia variaram de 0,75-0,96 e (0,51° à 4,93°) para o avaliador inexperiente e variaram de 0,62-0,97 e (0,66° à 6,58°) para o avaliador experiente. O modelo apresentou de boa a excelente reprodutibilidade, intra-dia para ambos os avaliadores nos movimentos de flexão e abdução do braço. Os valores obtidos

inter-dias na flexão variaram de 0,41 a 0,88 e (0,64° a 6,17) para o avaliador inexperiente e de 0,72 a 0,95 e (0,67° a 4,31°) para o avaliador experiente. No movimento de abdução inter-dias os valores variaram de 0,33 a 0,91 e (0,74° a 6,60°) para o avaliador inexperiente e de 0,72 a 0,98 e (0,73° a 5,01°) para o avaliador experiente. Apresentando a reprodutibilidade do avaliador inexperiente de fraca a excelente no movimento de flexão do braço e pobre a excelente na abdução do braço. A reprodutibilidade para o avaliador experiente foi de boa a excelente para a flexão e abdução do braço entre os segmentos da escápula, úmero e tronco em adultos saudáveis. Mostrando que não há diferença entre avaliadores nas avaliações intra-dia, porém inter-dias o avaliador experiente obteve melhores resultados de reprodutibilidade, mostrando que a diferença de níveis de experiência entre os avaliadores é de fundamental importância para se ter resultados reprodutíveis em diferentes dias. Entretanto devemos ressaltar a importância de mais estudos serem realizados, com diferentes movimentos e pacientes, realizados por dois ou mais avaliadores.

**Palavras-chave:** Reprodutibilidade, Cinemática, Escápula, Tronco, Úmero, Avaliadores, Experiente, Inexperiente.

## **Abstract**

The reproducibility of scapular kinematics has already been tested intra- and inter-sessions and intra- and inter-days, however, these evaluations were only performed by experienced evaluators and the majority of studies included only one evaluator. Thus, the comparison between evaluators with different levels of experience has not yet been explored, leaving doubts as to the accuracy of the evaluation results when performed by different evaluators. The objective of the present study was to evaluate the reproducibility inter and intra-rater, experienced and inexperienced, during flexion and abduction movements of the arm for the scapula, humerus, and trunk segments. Kinematic data were

captured during flexion and abduction movements of the arm using a system of 8 cameras and a sampling frequency of 120 Hz. In total, twenty healthy volunteers were evaluated (10 men and 10 women), with an average age of 25.1 (1.1) years, who underwent 6 sessions of movement analysis. Each evaluator carried out three sessions, two sessions on the first day, with a three-hour interval between them, and the third session on the second day, twenty-four hours after the first day. For each session, 5 repetitions of each movement, unilateral abduction and flexion of the arm, were performed. Statistical analysis was performed by an independent evaluator and the Shapiro-Wilk test was used for data distribution. The reproducibility of the range of motion and angular values at angles of 30°, 60°, 90°, and 120° was verified through the intraclass correlation coefficient (ICC) and standard measurement error (SEM). The values obtained for the angles 30°, 60°, 90°, and 120° intra-day ranged from 0.67-0.98 and (0.58° to 5.64°) for the inexperienced evaluator and from 0.67° to 0.98° and (0.64° to 6.17°) for the experienced evaluator in the flexion movement. During the abduction movement the values obtained at angles of 30°, 60°, 90°, and 120° intra-day ranged from 0.75° to 0.96° and (0.51° to 4.93°) for the inexperienced evaluator and from 0.62° to 0.97° and (0.66° to 6.58°) for the experienced evaluator. The model presented good to excellent intra-day reproducibility for both evaluators in the flexion and abduction movements of the arm. Inter-day values in flexion varied from 0.41° to 0.88° and (0.64° to 6.17°) for the inexperienced evaluator and 0.72° to 0.95° and (0.67° to 4.31°) for the experienced evaluator. In the inter-day abduction movement, values ranged from 0.33° to 0.91° and (0.74° to 6.60°) for the inexperienced evaluator and 0.72° to 0.98° and (0.73° to 5.01°) for the experienced evaluator. The reproducibility of the inexperienced evaluator presented from weak to excellent in the arm flexion movement and poor to excellent in abduction of the arm. The reproducibility for the experienced evaluator was good to excellent for flexion and abduction of the arm between the scapula, humerus, and trunk segments in healthy adults. The results showed that there is no difference between evaluators in the intra-day evaluations; however, on an inter-day basis the experienced evaluator obtained better reproducibility results, demonstrating that a difference in levels of experience between evaluators is of fundamental importance to obtain reproducible results on different days. However, we

emphasize the importance of performing further studies, with different movements and patients, performed by two or more evaluators.

**Key-words:** Reproducibility, Kinematics, Scapula, Humerus, Trunk, Evaluators, Experienced, Inexperienced.

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Valores representativos das amplitudes de movimento e média e desvio padrão do tronco, escápula e úmero durante a flexão do braço dominante inter-sessão.....	57
Gráfico 2 Valores representativos das amplitudes de movimento e média e desvio padrão do tronco, escápula e úmero durante a flexão do braço dominante intra-sessão.....	57
Gráfico 3 Valores representativos das amplitudes de movimento e média e desvio padrão do tronco, escápula e úmero durante a abdução do braço dominante inter-sessão.....	58
Gráfico 4 Valores representativos das amplitudes de movimento e média e desvio padrão do tronco, escápula e úmero durante a abdução do braço dominante intra-sessão.....	59

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - A (posterior), B (lateral) e C (anterior). Conjunto de marcadores para a realização das coletas estáticas (C7, T8, CLAV, STRN, LAngS, RAngS, LAngl, RAngl, LELB, RELB, LELB2, RELB2, LSC0, LSC1, LSC2, RSC0, RSC1, RSC2, LUM0, LUM1, LUM2 e RUM0, RUM1 e RUM2).....	27
Figura 2 - A (posterior), B (lateral) e C (anterior). Conjunto de marcadores para a realização das coletas dinâmicas de flexão (C7, T8, CLAV, STRN, LSC0, LSC1, LSC2, RSC0, RSC1, RSC2, LUM0, LUM1, LUM2 e RUM0, RUM1 e RUM2).....	30
Figura 3 - A (posterior), B (lateral) e C (anterior). Conjunto de marcadores para a realização das coletas dinâmicas de abdução (C7, T8, CLAV, STRN, LSC0, LSC1, LSC2, RSC0, RSC1, RSC2, LUM0, LUM1, LUM2 e RUM0, RUM1 e RUM2).....	30
Figura 4 - Fluxograma das coletas dos avaliadores inexperiente e experiente nos planos sagital e frontal. Abreviações: Aval. =Avaliador; Inex. =inexperiente; Exp.=experiente; FLX=Flexão; ABD=Abdução; Dir.=Direita. ....	31
Figura 5 Orientação dos eixos e sequências de rotações do tronco em relação ao laboratório. ....	35
Figura 6 Orientação dos eixos e sequências de rotações do braço em relação ao tronco. ....	37
Figura 7 Orientação dos eixos e sequências de rotações da escápula em relação ao tronco. ....	39
Figura 8 Orientação dos eixos e sequências de rotações da escápula baseado no modelo da Sociedade Internacional de Biomecânica.....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2 Valores de ICC e SEM intra e inter-dias para as variáveis escápula, úmero e tronco durante o movimento de flexão do braço dominante unilateral. .....	61
Tabela 3 Valores de ICC e SEM intra e inter-dias para as variáveis escápula, úmero e tronco durante o movimento de abdução do braço dominante unilateral.....	61



## LISTA DE ABREVIATURAS

**REU:** Ritmo escapuloumeral

**GU:** Glenoumeral

**ISB:** Sociedade Internacional de Biomecânica

**MCA:** Marcador de Cluster do Acrômio

**NAPAM:** Núcleo de Apoio à Pesquisa em Análise de Movimento

**C7:** Marcador da sétima vértebra cervical

**T8:** Marcador da oitava vértebra torácica

**IJ:** Marcador da incisura jugular

**PX:** Marcador do processo xifóide

**LTS:** Marcador do ângulo superior da escápula esquerda

**RTS:** Marcador do ângulo superior da escápula direita

**LAI:** Marcador do ângulo inferior da escápula esquerda

**RAI:** Marcador do ângulo inferior da escápula direita

**LEL:** Marcador do epicôndilo lateral esquerdo

**LEM:** Marcador do epicôndilo medial esquerdo

**REL:** Marcador do epicôndilo lateral direito

**REM:** Marcador do epicôndilo medial direito

**LSC0:** Marcador medial do cluster do acrômio esquerdo

**LSC1:** Marcador anterior do cluster do acrômio esquerdo

**LSC2:** Marcador posterior do cluster do acrômio esquerdo

**RSC0:** Marcador medial do cluster do acrômio direito

**RSC1:** Marcador anterior do cluster do acrômio direito

**RSC2:** Marcador posterior do cluster do acrômio direito

**LUM0:** Marcador medial do cluster do braço esquerdo

**LUM1:** Marcador superior do cluster do braço esquerdo

**LUM2:** Marcador anterior do cluster do braço esquerdo

**RUM0:** Marcador medial do cluster do braço direito

**RUM1:** Marcador superior do cluster do braço direito

**RUM2:** Marcador anterior do cluster do braço direito

**LEDs:** Diodo emissor de luz

**Ind:** Voluntários

**E:** esquerda

**D:** Direita

**A1:** Avaliador inexperiente

**A2:** Avaliador experiente

**ICC:** Coeficiente de correlação intraclasse

**SEM:** Erro de medida padrão

**SD:** Desvio padrão

**Ext:** Externo

**Int:** Interno

**Rot:** Rotação

**Post:** Posterior

**Ant:** Anterior

**ABD:** Abdução

**LAT:** Lateralização

**TCLE:** Termo de consentimento livre e esclarecido

**1º:** Primeira avaliação

**Após 1h:** Segunda avaliação

**Após 24h:** Terceira avaliação

**IMC:** Índice de massa corporal

**UNINOVE:** Universidade Nove de Julho

**(M/F):** Masculino / Feminino

**3D:** Tridimensional

**cm:** centímetros

**Hz:** Hertz

**Kg:** quilograma

**m:** metros

**mm:** milímetros

**s:** segundo

**°:** graus



## 1 Contextualização

### 1.1 Biomecânica do complexo articular do ombro

O complexo articular do ombro é composto pelos ossos da escápula, clavícula, úmero, esterno e costelas, que formam as articulações glenoumeral, acrômioclavicular, esternoclavicular, escapulotorácica e subacromial <sup>(1)</sup>, que se movimentam em resposta a ação dos músculos trapézio, elevador da escápula, supra-espinhal, infra-espinhal, redondo menor, redondo maior, sub-escapular, rombóides, serrátil anterior e deltóide. Essa composição de estruturas permite movimentos individuais de cada articulação que somente em conjuntos produzem os movimentos funcionais do ombro.

Os movimentos da escápula em relação ao tórax são essenciais para o funcionamento normal dos membros superiores<sup>(2)</sup>, os movimentos da escápula em relação ao tórax são rotação superior e inferior, rotação interna e externa e inclinação anterior e posterior<sup>(3)</sup>. Já entre o úmero e a escápula há movimentos coordenados, mecanicamente eficiente para o movimento do braço, permite o alinhamento da articulação glenoumeral (GU) e melhora a estabilidade de todo o complexo articular do ombro <sup>(4)</sup>.

Segundo Inman et. al. (1944)<sup>(5)</sup>, esse ritmo ocorre, devido ao conjunto de articulações que compõe o cingulo do membro superior e, o movimento do braço se dá pela sincronia de movimentos entre essas articulações. A elevação do braço nos planos sagital e frontal é acompanhada de forma simultânea pela escápula, que por sua vez se movimenta em relação ao tórax<sup>(5)</sup>.

Entre 30° a 170° de elevação do braço, há uma relação de 2:1 do úmero em relação a escápula<sup>(5)</sup>, a cada 15° de amplitude do braço, 10° ocorrem na articulação glenoumeral e 5° na articulação escapulotorácica. Isso sugere que o movimento escapulotorácico não é maior que 60°, não havendo necessidade de uma amplitude maior que 120° da articulação glenoumeral para avaliarmos os movimentos escapulares, tanto em relação ao tórax em indivíduos saudáveis e quanto ao úmero, evidenciando a interdependência das

articulações glenoumeral e escapulotorácica<sup>(6)</sup>. Entretanto Braman et. al. (2009)<sup>(6)</sup> apontam resultados diferentes, como 1,25:1 à 2,5:1 obtidos em outros estudos<sup>(3), (7)</sup>, posteriores ao de Inman, mostrando que o movimento escapular pode ser menor ou maior que 60° graus.

Ludewig et.al. (2009)<sup>(8)</sup> também afirmam que as articulações glenoumeral e escapulotorácica não podem ser consideradas individuais, devido ao fato do movimento escapular ser um componente vital na função do ombro e que durante a elevação do braço há um movimento significativo da escápula em relação ao tórax, em média são 2° de rotação externa, 39° de rotação para cima e 21° de inclinação posterior. Neste contexto a análise cinemática tridimensional é de fundamental importância <sup>(9)</sup>.

## 1.2 Cinemática

A cinemática é o estudo e descrição dos movimentos, sem levar em consideração as forças que agem sobre eles.

Dentre os métodos usados para mensurar a cinemática tridimensional destaca-se, o uso de sensores eletromagnéticos de superfície que são fixados à escápula, úmero e esterno, e tem sido usado para quantificar movimentos de pessoas saudáveis e/ou com disfunções do ombro <sup>(10), (11)</sup>. O sistema óptico-eletrônico implica na utilização de marcadores passivos para rastrear os movimentos de marcadores fixados a segmentos do corpo humano, em estudos clínicos do membro superior utilizamos para capturarmos seus movimentos, considerando a formação de ângulos virtuais entre o tronco, a escápula e o úmero, representando os movimentos do ombro.

As mensurações da cinemática do ombro fornecem informações relevantes para realizar diagnósticos funcionais, tratamentos de desordens clínicas <sup>(12)</sup>, avaliar técnicas de reabilitação <sup>(13)</sup>, desempenho esportivo <sup>(14)</sup> e prevenir lesões <sup>(15)</sup>.

Com base em outros estudos<sup>(16, 17)</sup>, o uso de um conjunto de marcadores fixados à uma base rígida posicionada na região do acrômio, o marcador de *cluster* do acrômio (MCA) é utilizado para localizar o movimento da escápula

tendo como referência marcadores durante a calibração estática do modelo da escápula e do acrômio <sup>(18)</sup>. Shaheen et. al. (2011) descrevem que a melhor posição para a colocação do MCA é sobre a parte plana do acrômio, pois é a região menos afetada pela deformação dos tecidos. Desta forma a movimentação do MCA leva em consideração a posição estática para estimar a posição da escápula durante o movimento. A colocação do marcador sobre a parte plana do acrômio <sup>(19)</sup> e o conjunto de marcadores que representam a escápula, podem ser diferentes, no entanto, segundo Mattson et. al. (2012)<sup>(20)</sup> e Schwartz et. al. (2013)<sup>(21)</sup>, o objetivo de mensurar o movimento da escápula é alcançado independentemente do método escolhido.

Outro importante segmento que deve ter seus movimentos observados é o úmero, o mesmo vem sendo estudado devido a sua relevância nos movimentos de membros superiores nas atividades diárias, profissionais e esportivas. O seu posicionamento e movimentos em relação a escápula<sup>(22)</sup> e ao tórax<sup>(23)</sup>, atualmente descrito por López-Pascual et. al. (2016)<sup>(23)</sup>, eles reafirmam a importância das informações obtidas pelos movimentos do úmero para a prática clínica.

A influência da posição do tronco em relação aos movimentos escapulares, afeta a rotação interna, rotação para cima e a inclinação, assim como compõem o final da amplitude de movimento de flexão e abdução do braço<sup>(24)</sup>. Sua mensuração concomitante aos movimentos da escápula e braço é importante clinicamente e necessária para a compreensão da mecânica do cingulo do membro superior.

Por recomendação da *International Society of Biomechanics* (ISB) os modelos biomecânicos podem usar um padrão de marcas anatômicas para avaliação dos membros superiores<sup>(21)</sup>. No entanto, é possível fazer variações para se obter o mesmo resultado ou para se adaptar a necessidade de cada estudo e aplicação clínica.

O método de uma única calibração e o conjunto de marcadores ou sensores eletromagnéticos no acrômio, foi o método mais utilizado para estimar rotações escapulares<sup>(16)</sup>. Durante a flexão de membros superiores, o método com marcadores teve uma precisão média de 5° entre as rotações, exceto para os estudos de Brochard et al. (2011b, 2011a)<sup>(25), (26)</sup> e Karduna et al. (2001)<sup>(17)</sup>

que encontraram valores durante a abdução do braço acima de 7° entre as rotações.

Recentemente, outros métodos têm sido descritos no intuito de reproduzir o movimento escapular, devido sua importância no complexo articular para os movimentos dos membros superiores, como os que utilizam sensores ativos fluoroscopia <sup>(27)</sup>, eletromagnéticos e inerciais <sup>(28)</sup>, <sup>(29)</sup>. Porém para que um modelo seja validado, independentemente do método utilizado, é necessário testar a sua reprodutibilidade.

### 1.3 Reprodutibilidade

Segundo Baker, (2013) <sup>(44)</sup> a reprodutibilidade é a capacidade de um modelo ser testado, retestado, aplicado sob as mesmas condições e observar como suas medidas variam quando se repetem. Com o objetivo de quantificar a variabilidade dos dados mediante a aplicação do modelo e sua relação com a interpretação clínica, verificando a dispersão dos dados coletados por um avaliador e entre ele e demais avaliadores. Em outras palavras a reprodutibilidade pode ser definida como a precisão entre medidas repetidas de uma variável nos mesmos voluntários, sob as mesmas condições avaliativas por diferentes avaliadores Montañés et. al. (2013) <sup>(30)</sup>.

Poucos são os estudos que testam a reprodutibilidade de seus modelos biomecânicos, embora estes, representem diferentes qualidade de medidas e métodos diferentes <sup>(31)-(18)</sup>, a falta de achados consistentes pode ser atribuída à dificuldade em mensurar a cinemática da escápula, principalmente porque durante os movimentos dos membros superiores a escápula desliza ao longo da parede torácica posterior, abaixo da superfície da pele e os marcadores usados perdem sua referência anatômica <sup>(32)</sup>.

Uma revisão sistemática realizada recentemente por Lempereur et. al. (2014) <sup>(16)</sup> descrevem estudos de reprodutibilidade e suas respectivas limitações em relação a precisão dos métodos realizados com marcadores passivos <sup>(26)-(18)</sup> e <sup>(33)-(34)</sup>, como resultado, o uso de apenas um avaliador experiente e a falta de avaliação do tronco, foram apontadas lacunas dentro deste contexto.



Sabemos que na prática clínica e em laboratórios de pesquisa a avaliação e reavaliação nem sempre são realizadas pelo mesmo avaliador e muitas vezes o avaliador tem experiência diferentes. É importante então, além da avaliação inter e intra-dias investigar se a experiência do avaliador, na colocação dos marcadores, deve ser levada em consideração.

Segundo Lucareli et. al. (2016)<sup>(35)</sup>, a colocação manual dos marcadores pode gerar diferenças significantes entre as coletas, sessões e avaliadores, podendo comprometer a interpretação dos resultados inter dias e inter avaliadores.

Estudos como os de Haik et. al. (2014)<sup>(36)</sup>, Lempereur et. al. (2014)<sup>(16)</sup>, Ludewig et. al. (2009)<sup>(37)</sup> e Prinold et. al. (2013)<sup>(38)</sup>, relatam boa reprodutibilidade da escápula inter e intra-sessões, utilizando sensores eletromagnéticos, no entanto alertam sobre a velocidade de execução dos movimentos do braço, que podem influenciar nos resultados da cinemática escapular e a determinação dos planos de movimento durante o processamento e interpretação dos dados.

## **2 Justificativa e Relevância**

Este estudo se justifica, pois, propõe uma análise da reprodutibilidade de um modelo de avaliação cinemática tridimensional da escápula, úmero e tronco, analisando possíveis diferenças entre avaliadores experiente e inexperiente e avaliação do tronco com movimentos de flexão e abdução do braço realizados unilateralmente. Que seja de nosso conhecimento até o momento, o uso da cinemática tridimensional por meio de câmeras e marcadores passivos não é consenso na literatura e pode ser de importância experimental e clínica para a compreensão do movimento humano e para a prática clínica.

## **3 Objetivos**

Avaliar a reprodutibilidade intra e inter-dias de um avaliador inexperiente e experiente para aquisição de valores da cinemática angular da escápula, úmero e tronco nos movimentos de flexão e abdução do braço em voluntários saudáveis à 30°, 60°, 90° e 120° de amplitude do movimento.

### **3.1 Objetivos Específicos**

Avaliar a reprodutibilidade dos valores da cinemática angular da escápula em relação ao tronco, do úmero em relação ao tronco e do tronco em relação ao espaço durante os movimentos de flexão e abdução do braço unilateral dominante, inter e intra-avaliadores experiente e inexperiente e inter e intra-dias.

## **4 Método**

### **4.1 Desenho do estudo**

Estudo de corte transversal.

### **4.2 Local da realização do estudo**

O trabalho foi desenvolvido no Núcleo de Apoio à Pesquisa em Análise de Movimento (NAPAM) do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, localizada na cidade

de São Paulo-SP. A coleta dos dados aconteceram entre julho de 2015 e abril de 2016 com voluntários que frequentavam a universidade e a comunidade local.

### **4.3 Aspectos Éticos**

Todos os voluntários assinaram o TCLE (Termo de Consentimento Livre e Esclarecido) (Anexo1). A presente pesquisa foi submetida e aprovada pelo Comitê de Ética e Pesquisa da Universidade Nove de Julho – UNINOVE (número do parecer 1.409.618). (Anexo 2).

### **4.4 Participantes**

Foram avaliados 10 homens e 10 mulheres saudáveis, com idade entre 18 a 40 anos, todos os participantes foram recrutados por convite verbal na comunidade local.

### **4.5 Critérios de inclusão**

Participaram deste estudo voluntários com idade entre 18 e 40 anos, saudáveis, que não apresentaram dor e lesões no ombro a menos de 6 meses e que não estivessem realizando qualquer tipo de tratamento que pudesse comprometer a avaliação. A mobilidade ativa de flexão e abdução do ombro deveria ter ao menos 120°, sem apresentar queixas (dor ou desconforto), e todos os testes clínicos negativos, conforme estudo de Michener et. al.

(2009)<sup>(39)</sup>, que pudessem contribuir para o diagnóstico de alterações do complexo articular do ombro:

- Teste de Neer (o avaliador eleva passivamente o braço, estabilizado a escápula para baixo e realiza sobre pressão no final da amplitude do movimento, observando a expressão facial e presença de dor)<sup>(39)</sup>;

- Teste de Hawkins-Kennedy (o braço é posicionado em 90° de flexão, em rotação neutra e passivamente o examinador realiza uma rotação medial até o fim da amplitude de movimento (ADM), com uma sobre pressão, observando a presença de dor)<sup>(39)</sup>;

- Teste de Jobe / lata vazia (o braço é posicionado em 90°, no plano escapular – 30-40° do plano frontal. em rotação medial – polegares direcionados para baixo, o examinador realiza uma resistência no sentido na adução e o paciente refere dor ao evitar o movimento)<sup>(39)</sup>;

- Teste de rotação lateral resistida (o avaliador resiste a força de rotação externa no ombro, na posição neutra e cotovelo flexionado 90°, é considerado positivo quando o terapeuta detecta dor e fraqueza)<sup>(39)</sup>;

- Arco doloroso (é solicitado para o paciente realizar uma elevação do ombro e é considerado positivo quando o paciente refere dor entre 60-120°)<sup>(39)</sup>.

#### **4.6 Critérios de exclusão**

Foram excluídos voluntários que após a inclusão, apresentaram dor, instabilidade articular do ombro, sintomas relacionados às afecções da coluna cervical ou lombar (reproduzidos com movimentos da coluna cervical e lombar), voluntários com diagnóstico médico de distúrbios psiquiátricos ou psicológicos e desordens neurológicas, fazendo uso de medicamentos psicoterapêuticos, que estivessem realizando tratamento para a dor no ombro nos últimos 6 meses, e que tivesse 1 resultado positivo nos testes clínicos apresentados anteriormente.

Voluntários com histórico de lesões ortopédicas ou neurológicas que possam comprometer as avaliações.

## 4.7 Procedimentos

Os voluntários foram avaliados por dois fisioterapeutas colaboradores, com especialização na área de ortopedia, um dos avaliadores com experiência clínica de 5 anos na colocação de marcadores na análise cinemática tridimensional e outro apenas com experiência clínica, sem nunca ter feito colocação de marcadores para análise cinemática. Os voluntários responderam a perguntas referentes a dados pessoais tais como nome, idade, data de nascimento e telefone.

Após serem incluídos e assinarem o termo de consentimento livre e esclarecido os voluntários foram agendados para a avaliação cinemática do complexo articular do ombro, no laboratório de movimento o Núcleo de Apoio em Pesquisa à Análise do Movimento (NAPAM).

Posteriormente cada participante foi submetido à 6 sessões de análise de movimento: três sessões conduzidas por cada um dos avaliadores de forma aleatorizada. No primeiro dia cada avaliador realizou duas sessões com intervalo de aproximadamente uma hora e no segundo dia, 48 horas após o primeiro, mais uma sessão com intuito de verificar a reprodutibilidade entre os dias.

Todos os marcadores aplicados no tronco e membros superiores dos participantes foram retirados e reaplicados a cada sessão. Ambos os avaliadores foram informados previamente por um Check-list sobre a localização do posicionamento dos marcadores nos voluntários de acordo com o modelo proposto.

No fim de cada avaliação os avaliadores retiravam os marcadores que os mesmos tinham posicionado e era aguardado um tempo mínimo de 10 minutos para iniciar a próxima avaliação pelo outro avaliador, assim ambos avaliadores foram cegos em relação ao posicionamento dos marcadores do outro avaliador para limitar potencial viés.

## 4.8 Colocação dos marcadores

O modelo foi composto por 12 marcadores de 12 mm fixados à pele com fita dupla face hipoalérgica e por 4 *clusters*, ou seja, um conjunto de 3 marcadores fixados em uma base rígida e esta foi fixada sobre a pele dos voluntários por meio de fitas de velcro, apresentados na Figura 1 A, B e C. Os marcadores e *clusters* foram dispostos da seguinte maneira: na sétima vértebra cervical (C7), na oitava vértebra torácica (T8), no corpo do manúbrio do esterno, logo abaixo da incisura jugular (CLAV), 5cm abaixo do manúbrio no corpo do esterno (STRN), no ângulo superior (LAngS e RAngS) e inferior das escápulas (LAnGl e RAnGl), nos epicôndilos lateral (LELB e RELB) e medial (LELB2 e RELB2) do úmero. Um *cluster* na região plana do acrômio esquerdo (LSC0, LSC1, LSC2) e direito (RSC0, RSC1 e RSC2) e um segundo *cluster* no terço médio do úmero esquerdo (LUM0, LUM1, LUM2) e direito (RUM0, RUM1 e RUM2). Durante as coletas dinâmicas os marcadores LAngs, RAngS, LAnGl, RAnGl, LELB, RELB, LELB2 e RELB2 foram retirados.

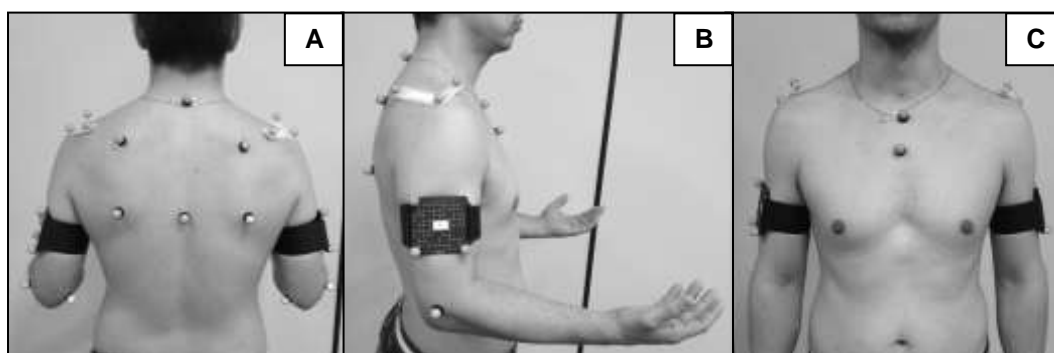


Figura 1 - A (posterior), B (lateral) e C (anterior). Conjunto de marcadores para a realização das coletas estáticas (C7, T8, CLAV, STRN, LAngS, RAngS, LAnGl, RAnGl, LELB, RELB, LELB2, RELB2, LSC0, LSC1, LSC2, RSC0, RSC1, RSC2, LUM0, LUM1, LUM2 e RUM0, RUM1 e RUM2).

## 4.9 Cinemática Tridimensional

Para a captura dos dados de cinemática foi utilizado um sistema de 8 câmeras infravermelho Vicon®, que emprega 4 componentes: emissor, meio, refletor e receptor.

Os refletores, denominados marcadores, foram fixados à pele dos voluntários (representadas por projeções ósseas) em posições pré-determinadas, citadas previamente, de acordo com o modelo utilizado. A partir desses dados são formados planos (sagital, frontal e transversal) e suas posições no espaço são comparadas conforme o movimento dos segmentos entre si e em relação a um sistema de coordenadas pré-estabelecido no laboratório.

As câmeras emitem uma luz infravermelha, que reflete em cada marcador, elas possuem *LEDs (Diodo Emissor de Luz)*, ao redor de toda a lente da câmera. O receptor é uma câmera de espectro de resposta sensível ao infravermelho, as câmeras varrem uma área para obter informação de vários pontos, dessa maneira o emissor e receptor cobrem sempre uma mesma área.

Cada câmera foi configurada em uma frequência de 120 Hz, elas foram conectadas à um computador possuindo placas com diversas funções: circuito e temporização, controle; circuito gerador de coordenadas e de interface para as câmeras. Neste computador o software Vicon Nexus® 1.8.5 foi usado para capturar, reconstruir e nomear os marcadores e calcular os segmentos e ângulos.

## 4.10 Familiarização dos voluntários com as atividades e equipamentos

Todos os voluntários foram familiarizados com os equipamentos utilizados na pesquisa além de receberem uma explicação sobre as atividades que foram

realizadas e dúvidas relacionada à atividade quando questionadas foram respondidas.

Após as instruções os voluntários tiveram a pele preparada (tricotomia se necessário e limpeza da pele com álcool 70%) para a colocação dos marcadores nos pontos descritos, realizaram uma repetição de cada atividade para familiarização dos voluntários.

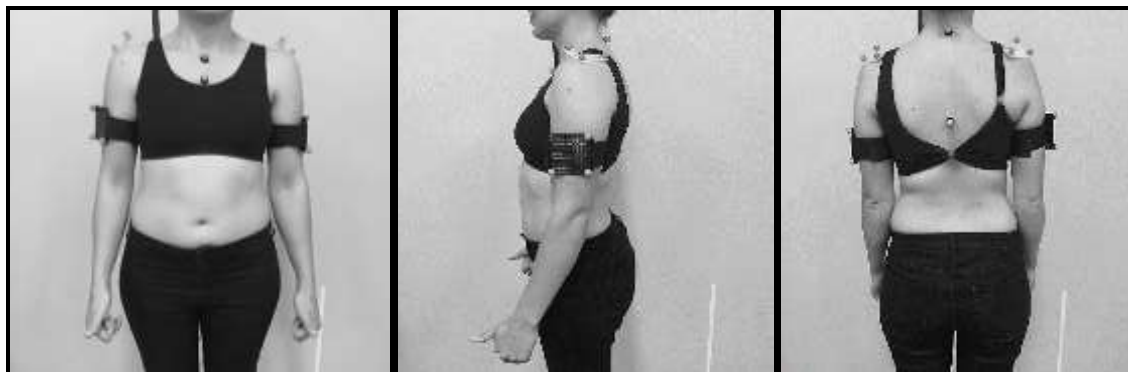
#### **4.11 Descrição da tarefa**

Após a colocação dos marcadores os voluntários foram posicionados no centro da área de captura, em pé com os braços ao longo do corpo, e antebraços supinados e flexionados à 90°.

Para a captura de referência, os voluntários permaneceram em posição quase estática durante 5 segundos para a aquisição da posição das coordenadas dos marcadores e posteriormente foram obtidas mais duas capturas quase estáticas, por cada avaliador, utilizando um apontador, na região plana dos acrômios. Este procedimento foi utilizado para reconstrução dos marcadores virtuais do acrômio. Os marcadores virtuais são pontos reconstruídos a partir do uso de um apontador, uma haste de metal com dois marcadores colineares, um de 25mm e outro de 14mm; para identificar virtualmente o marcador do acrômio.

Após foram realizadas as capturas dinâmicas, 5 repetições de flexão e de abdução do braço bi e unilateral. Estes foram realizados apenas com os marcadores fixados no tronco (C7, T8, CLAV e STRN) os *clusters* nos acrômios esquerdo (LSC0, LSC1, LSC2) e direito (RSC0, RSC1, RSC2) e os *cluster* no terço médio dos braços esquerdo (LUM0, LUM1, LUM2) e direito (RUM0, RUM1, RUM2). Os voluntários iniciaram e terminaram os movimentos com os braços ao longo do corpo, braços em extensão e adução, os antebraços em extensão, mãos em posição neutra e polegares em extensão (Figura 2.)





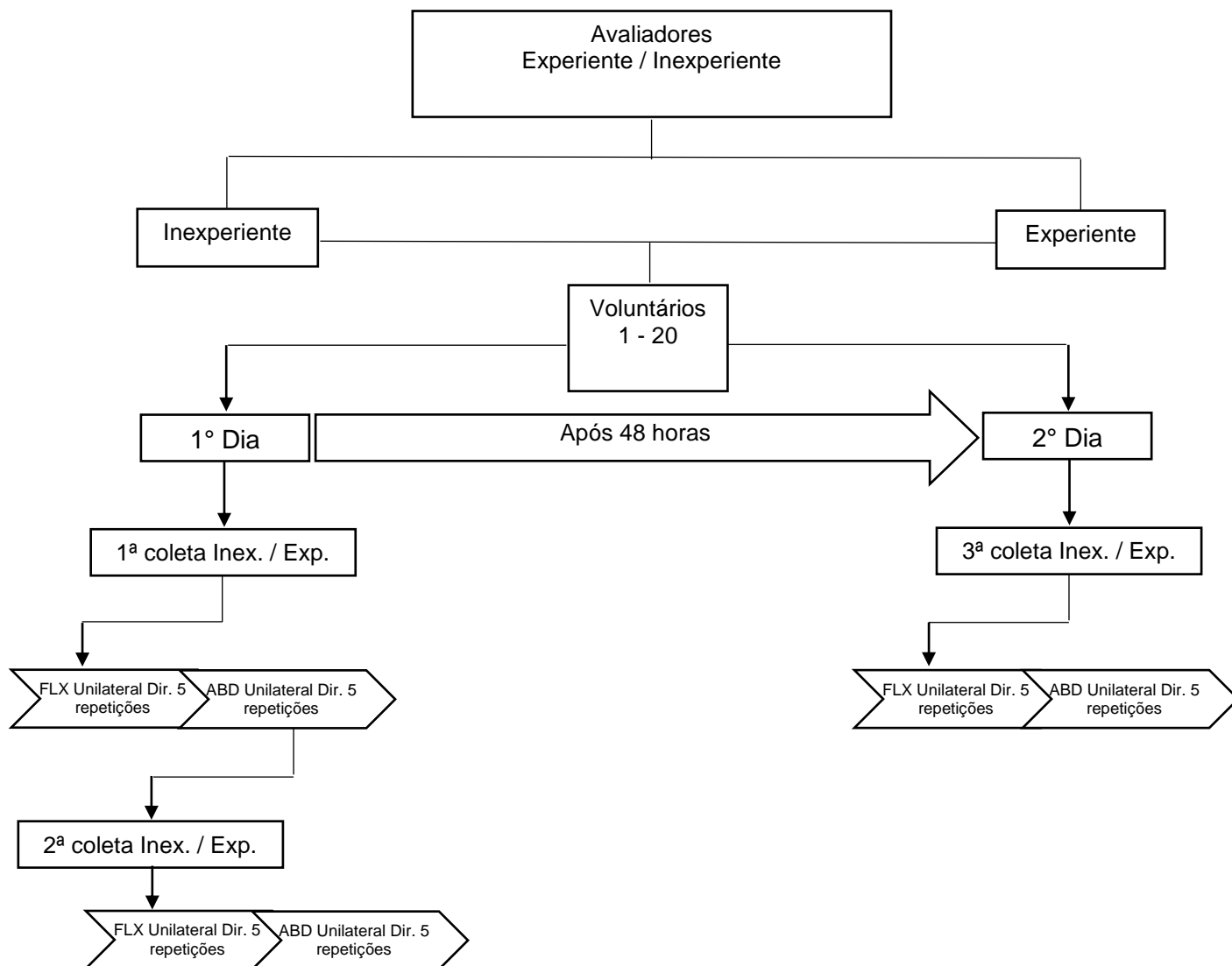
**Figura 2 - A (posterior), B (lateral) e C (anterior). Conjunto de marcadores para a realização das coletas dinâmicas de flexão (C7, T8, CLAV, STRN, LSC0, LSC1, LSC2, RSC0, RSC1, RSC2, LUM0, LUM1, LUM2 e RUM0, RUM1 e RUM2).**



**Figura 3 - A (posterior), B (lateral) e C (anterior). Conjunto de marcadores para a realização das coletas dinâmicas de abdução (C7, T8, CLAV, STRN, LSC0, LSC1, LSC2, RSC0, RSC1, RSC2, LUM0, LUM1, LUM2 e RUM0, RUM1 e RUM2).**

Cada voluntário foi submetido à um total de 2 dias de análise do movimento: sendo realizada 6 sessões compostas por 5 repetições dos movimentos de flexão e abdução bilateral e flexão e abdução unilateral – por cada avaliador. As duas primeiras sessões foram realizadas no primeiro dia com intervalo de 1 hora entre elas e a terceira foi realizada após 48 horas. A Figura 4 apresenta o fluxograma do procedimento das coletas.

Todos os voluntários realizaram 5 repetições de cada movimento sempre na mesma ordem, sendo: flexão bilateral e unilateral direita e posteriormente esquerda e abdução bilateral e unilateral direita e esquerda. O comando dado para cada repetição do movimento foi: “Prepara, vai!”, e o intervalo entre cada movimento foi de 15 segundos.



**Figura 4 - Fluxograma das coletas dos avaliadores inexperiente e experiente nos planos sagital e frontal. Abreviações: Aval. =Avaliador; Inex. =inexperiente; Exp.=experiente; FLX=Flexão; ABD=Abdução; Dir.=Direita.**

## 4.12 Processamento dos dados

O processamento foi realizado por um avaliador independente, após a reconstrução e nomeação dos marcadores, os ciclos de movimentos foram definidos usando a velocidade dos marcadores LUM0 e/ou RUM0. Iniciando no sistema em que a velocidade fosse maior que 50mm/s e terminaram quando a velocidade fosse inferior a 50mm/s<sup>(40)</sup>.

Um filtro Butterworth, passa baixa de quarta ordem e frequência de corte estabelecida em 6Hz às trajetórias dos marcadores, para reduzir os ruídos devido à movimentação durante o ciclo do movimento.

O segmento do tronco foi definido pelos marcadores C7, T8, CLAV e STRN; a escápula foi definida pelos marcadores AngS, AngI e SP; e o úmero pelos marcadores ELB1, ELB2 e SHO onde, em um 'trial' estático para a definição dos eixos e centros articulares os marcadores SHO e SP, sobre os acrômios, são coincidentes, mas terão suas coordenadas vinculadas à sistemas locais de coordenadas diferentes: úmero e escápula, respectivamente. Os segmentos foram orientados de acordo com as Figuras 5, 6, e 7.

No tronco foi criado um sistema local de coordenadas  $(\overset{P}{X}_t, \overset{P}{Y}_t, \overset{P}{Z}_t)$  que será empregado como referência para a medição dos movimentos relativos de dois segmentos adjacentes: escápulas e úmeros. Também, as rotações do tronco foram mensuradas em relação a um sistema global de coordenadas criado no ambiente de captura, e orientado pelo sistema de captura de movimento (Vicon Nexus) em seu processo de calibração. A coordenada de origem do tronco foi determinada pelo marcador CLAV. O primeiro eixo de coordenadas,  $\overset{P}{Y}_t$ , foi construído por um vetor orientado pelos pontos médios de dois segmentos de reta: um superior  $M1=(CLAV+C7)/2$  e outro inferior  $M2=(STRN+T10)/2$ , assim,  $\overset{P}{Y}_t = M1 - M2$ . Um vetor auxiliar:  $\overset{P}{X}_{aux}$ , foi definido pelos pontos C7 e STRN:  $\overset{P}{X}_{aux} = C7 - STRN$ . Os vetores  $\overset{P}{Y}_t$  e  $\overset{P}{X}_{aux}$  definem o plano sagital do tronco. O vetor  $\overset{P}{Z}_t$  é perpendicular ao plano sagital e tem seu sentido, em vista anterior, para a esquerda, segundo a recomendação da ISB<sup>(41)</sup>. O terceiro eixo é

perpendicular aos eixos  $\overset{P}{Y}_t$  e  $\overset{P}{Z}_t$ , que formam o plano frontal do tronco, e tem sentido anterior ao segmento. Posteriormente, cada vetor foi transformado em seu versor (vetor unitário). Em operações vetoriais, a sequência de operações para definição dos eixos do tronco são:

$$\begin{aligned}\overset{P}{Y}_t \times \overset{P}{X}_{aux} &\doteq \overset{P}{Z}_t \\ \overset{P}{Y}_t \times \bar{\overset{P}{Z}}_t &= \overset{P}{X}_t\end{aligned}$$

Onde o eixo y foi formado pelo vetor que une os pontos médios entre os marcadores C7 e CLAV (M1) e entre os marcadores STRN e o T8. O eixo z foi orientado perpendicularmente ao plano sagital. O eixo x era perpendicular ao eixo z e o eixo y. Para definir os eixos da escápula, o eixo y foi definido no plano da escápula a partir dos marcadores ANGI e ANGS na direção superior. O eixo x era perpendicular ao plano frontal da escápula e o eixo z foi perpendicular ao eixo y e o eixo x. Para o úmero o eixo y foi formado pelo vetor que une o ponto médio entre os marcadores ELB e ELB2 e SH0 superiormente. O eixo x era perpendicular ao plano frontal do úmero e o eixo z foi perpendicular ao eixo y e o eixo x medialmente.

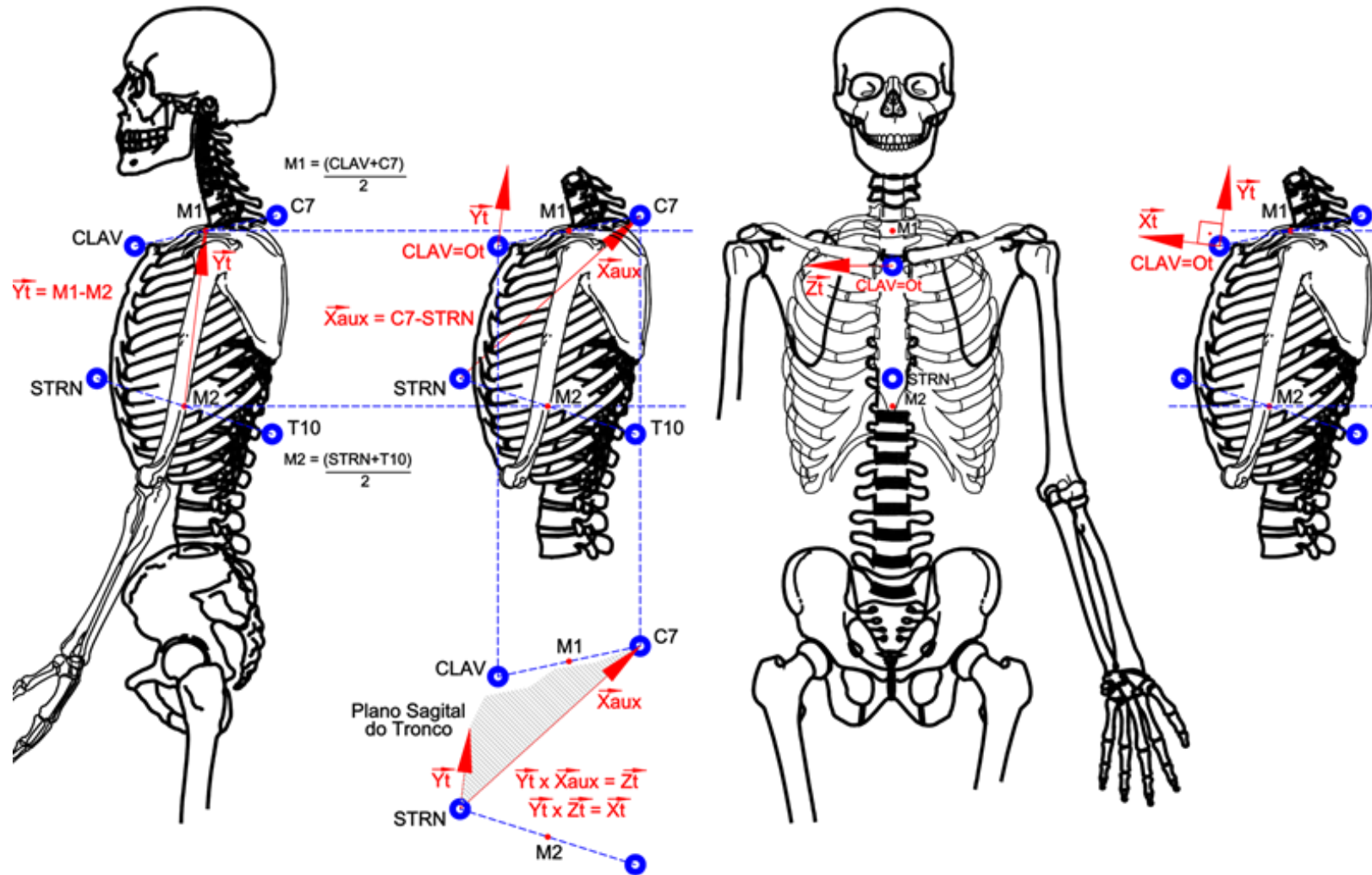
As sequências de Z-X-Y foi utilizada para descrever a orientação do tronco em relação ao sistema de coordenadas (definido como X lateral, Y anterior e Z superior), a ordem das rotações foram inclinação lateral para direita/esquerda, flexão/extensão e rotação interna/externa. Para orientar a escápula a sequência Z-X-Y foi usada e seus movimentos foram calculados em relação ao tronco. As rotações foram descritas na ordem da rotação interna/externa, superior/inferior, e inclinação anterior/posterior.

A posição do úmero com referência ao tronco foi determinada utilizando duas sequências: Y-X-Z para flexão do braço, sendo a primeira rotação definida do plano de abdução, o segundo foi definido do ângulo de flexão, e a terceira definido rotação interna/externa. Para a abdução do braço a sequência X-Y-Z foi aplicada, sendo a primeira rotação para a flexão, a segunda a abdução e a terceira a rotação. Para os cálculos foram usadas as sequências dos ângulos de Euler.

Os ciclos, independente do movimento foram divididos em duas fases: flexão e extensão para os movimentos de flexão unilateral e abdução e adução para os movimentos de abdução unilateral, ambos do braço. Os movimentos

de flexão, adução e rotação interna foram considerados positivos e os movimentos de extensão, abdução e rotação externa negativos.

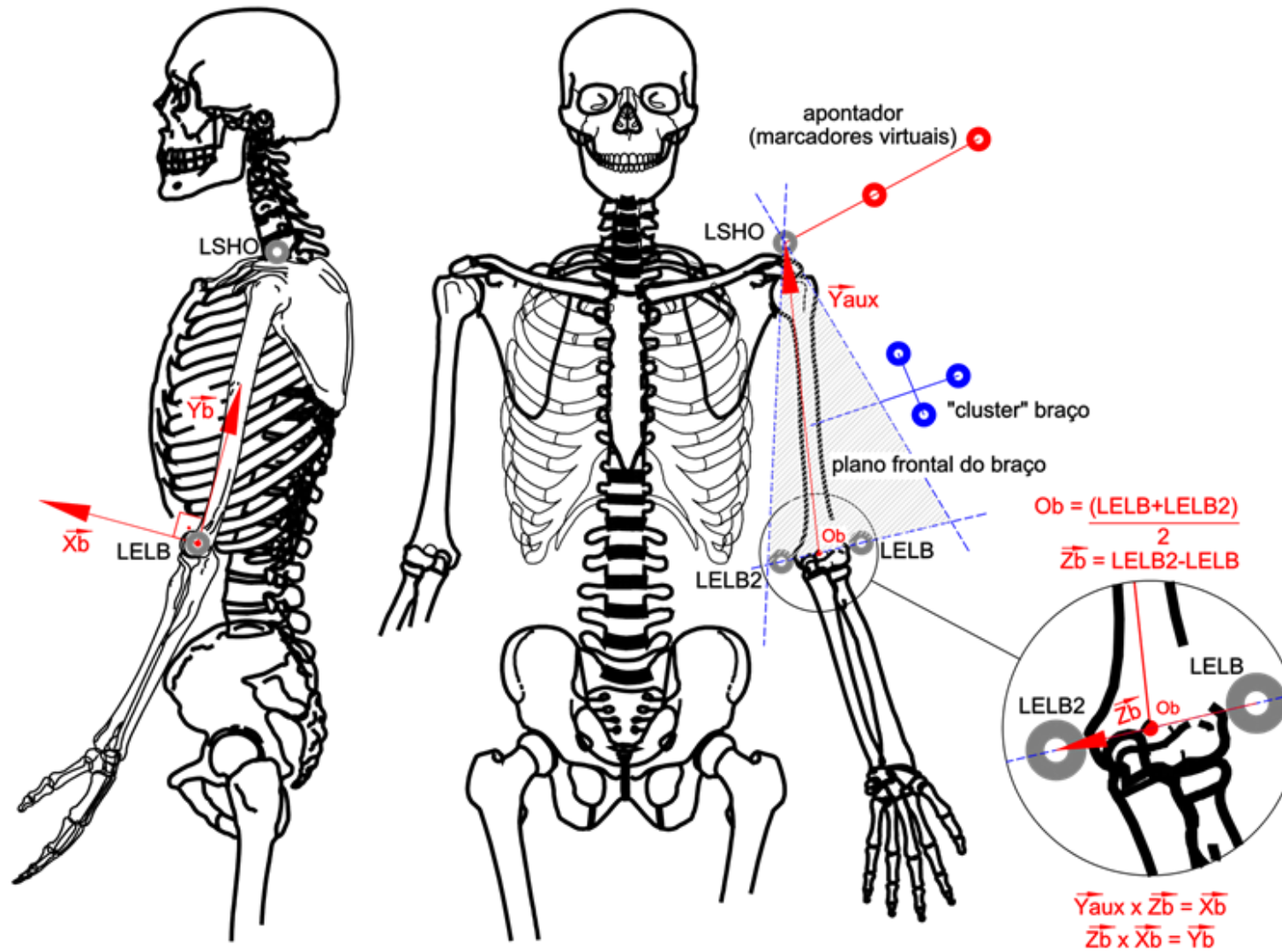
**Figura 5** Orientação dos eixos e seqüências de rotações do tronco em relação ao laboratório.



O braço foi definido por um sistema de coordenadas local determinado pelo eixo de flexão/extensão do cotovelo com o posicionamento de 2 marcadores sobre os epicôndilos lateral e medial do úmero denominados L/RELB (lateral) e L/RELB2 (medial), conforme figura (6). A origem do segmento é o ponto médio entre estes marcadores:  $Ob = (LELB + LELB2) / 2$ . Para o braço esquerdo, o primeiro eixo é  $\overset{P}{Z}b = LELB2 - LELB$ . O plano frontal do braço é definido pelos marcadores LSHO, LELB e LELB2. Um vetor auxiliar,  $\overset{P}{Y}aux = LSHO - Ob$ , contido no plano frontal, foi criado para gerar o eixo formatla do braço:  $\overset{P}{Y}aux \times \overset{P}{Z}b = \overset{P}{X}b$ . O eixo longitudinal do braço será o produto vetorial dos eixos posteriores:  $\overset{P}{Z}b \times \overset{P}{X}b = \overset{P}{Y}b$

Por este modelo de cálculo, o eixo longitudinal  $\overset{P}{Y}b$  do sistema local de coordenadas do braço não é necessariamente colinear com o marcador do ombro: L/RSHO.

Figura 6 Orientação dos eixos e seqüências de rotações do braço em relação ao tronco.





A escápula foi construída por 3 pontos anatômicos, escolhidos segundo suas proeminências para melhor reprodutibilidade do procedimento de localização: ângulo inferior, ângulo superior e acrômio, onde foram posicionados marcadores denominados respectivamente: L/RANGI, L/RANGS e L/RSHO. A origem do segmento,  $O_e$ , foi determinada, para este modelo de cálculo, como sendo o centro do marcador L/RANGI. O plano frontal da escápula foi definido pelos mesmos 3 marcadores. Para o lado direito, conforme figura (y), o primeiro eixo:  $\overset{P}{Y}_e$ , foi determinado pelos marcadores sobre os ângulos inferior e superior:  $\overset{P}{Y}_e = RANGS - RANGI$

De maneira análoga aos segmentos anteriores, um vetor auxiliar  $\overset{P}{Z}_{aux} = RSHO - RANGI$  foi criado para a determinação do vetor frontal:

$$\overset{P}{Y}_e \times \overset{P}{Z}_{aux} = \overset{P}{X}_e$$

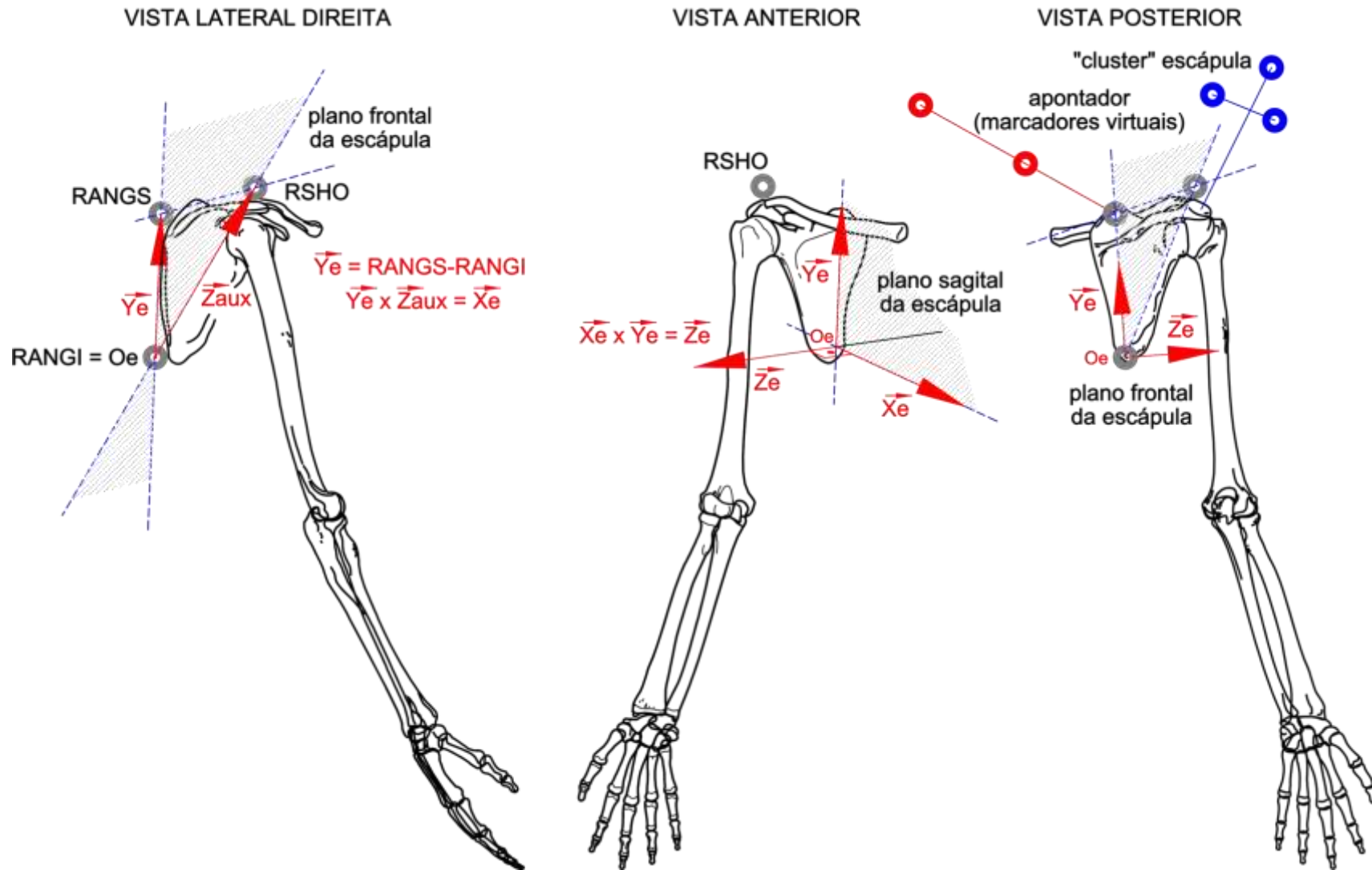
O eixo transversal é o produto vetorial entre  $\overset{P}{X}_e$  e  $\overset{P}{Y}_e$ :  $\overset{P}{X}_e \times \overset{P}{Y}_e = \overset{P}{Z}_e$

Os eixos dos sistemas locais de coordenadas para os segmentos esquerdos e direitos seguem os mesmos sentidos. Tendo como referência a posição ortostática do corpo, em vista anterior, os eixos transversais dos braços e escápulas,  $\overset{P}{Z}_b$  e  $\overset{P}{Z}_e$ , respectivamente, estarão, ambos, voltados para a esquerda, os eixos verticais,  $\overset{P}{Y}_b$  e  $\overset{P}{Y}_e$ , para cima, e os eixos frontais,  $\overset{P}{X}_b$  e  $\overset{P}{X}_e$ , anteriormente ao corpo.

As rotações de cada hemicorpo do tronco, em ângulos de Euler, segundo a orientação do sistema de coordenadas do local  $(\overset{P}{X}_t, \overset{P}{Y}_t, \overset{P}{Z}_t)$  em relação ao sistema global, laboratório  $(\overset{P}{X}_g, \overset{P}{Y}_g, \overset{P}{Z}_g)$ , segue a orientação da ISB: ZXY, ou: inclinação (anterior/posterior), obliquidade (abaixo/acima) e rotação (interna/externa).

Sequências de rotações da escápula e braço. O braço tem sequências distintas de acordo com cada movimento.

**Figura 7** Orientação dos eixos e seqüências de rotações da escápula em relação ao tronco.



### 4.13 Variáveis avaliadas

Foram obtidos por meio de uma rotina própria desenvolvida no software Vicon ProCalc 1.01 os valores angulares dos seguintes movimentos: (inclinação anterior e posterior; rotação medial e lateral; rotação para cima e para baixo) da escápula em relação ao tronco, (flexão e extensão; adução e abdução; rotação interna e externa) do braço em relação ao tronco e (inclinação anterior e posterior; inclinação lateral direita e esquerda; rotação direita e esquerda) do tronco em relação ao laboratório. Nos instantes em que o braço esteve a 30°, 60°, 90° e 120° durante os movimentos de flexão e abdução uni e bilateralmente.

### 4.14 Análise estatística

A análise estatística foi realizada por um avaliador independente, e para verificar a distribuição dos dados, foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk. A reprodutibilidade dos movimentos da escápula, úmero e tronco nos ângulos de 30°, 60°, 90° e 120° de flexão e abdução do braço intra dia (teste) e inter dias (teste-reteste), foi verificada pelo coeficiente de correlação intraclassa (ICC) assim como o erro de medida (SEM). Para o cálculo da reprodutibilidade relativa dos 5 movimentos realizados o modelo utilizado foi o (ICC<sub>2,k</sub>) intra-dias e para a reprodutibilidade inter-dias (ICC<sub>3,k</sub>)<sup>(42)</sup>. Para a análise dos resultados o seguinte critério foi utilizado: pobre=0,00-0,39, fraco=0,40-0,59, boa=0,60-0,74 e excelente=0,75-1,00 <sup>(43)</sup>. O SEM foi calculado de acordo com a equação:

$$SEM = SD\sqrt{1 - ICC}$$

onde, SD é o desvio padrão dos resultados observados entre os testes realizados <sup>(42)</sup>.

## **5 Resultados**

Os resultados da presente Dissertação estão apresentados no formato de artigo.

Reprodutibilidade da cinemática da escápula, úmero e tronco em adultos saudáveis, comparando as avaliações entre avaliadores experiente e inexperiente

## RESUMO

A reprodutibilidade da cinemática escapular já foi testada intra e inter-sessões e intra e inter-dias, porém essas avaliações foram realizadas apenas por avaliadores experientes e a maioria dos estudos com apenas um avaliador. A comparação entre avaliadores com diferentes níveis de experiência ainda não foi explorada, deixando dúvidas quanto a precisão dos resultados da avaliação se realizadas por diferentes avaliadores. O objetivo do presente estudo foi avaliar a reprodutibilidade inter e intra-avaliadores, com diferentes níveis de experiência, nos movimentos de flexão e abdução do braço para os segmentos da escápula, úmero e tronco. As capturas dos dados de cinemática foram realizadas utilizando um sistema de 8 câmeras e frequência de amostragem de 120Hz durante os movimentos de flexão e abdução do braço. Foram avaliados 20 voluntários saudáveis (10 homens e 10 mulheres) com idade média de 25.1 ( $\pm 1.1$ ) anos, que foram submetidos à 6 sessões de análise do movimento. Cada avaliador realizou três sessões, duas sessões realizadas no primeiro dia com intervalo de três horas entre elas e a terceira sessão foi realizada no segundo dia, 48 horas após o primeiro dia. Para cada sessão foram realizadas 5 repetições de cada movimento, abdução e flexão unilateral do braço. A análise estatística foi realizada por um avaliador independente, para distribuição dos dados, foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk, A reprodutibilidade da amplitude de movimento e dos valores angulares nos ângulos de 30°, 60°, 90° e 120° do braço foi verificada pelo coeficiente de correlação intraclass (ICC) assim como o erro de medida padrão (SEM). Os valores obtidos nos ângulos de 30°, 60°, 90° e 120° intra-dia variaram de 0,67-0,98 e (0,58° à 5,64°) para o avaliador inexperiente e variaram de 0,67-0,98 e (0,64° à 6,17°) para o avaliador experiente, no movimento de flexão. Durante o movimento de abdução os valores obtidos nos ângulos de 30°, 60°, 90° e 120° intra-dia variaram de 0,75-0,96 e (0,51° à 4,93°) para o avaliador inexperiente e variaram de 0,62-0,97 e (0,66° à 6,58°) para o avaliador experiente. O modelo apresentou de boa a excelente reprodutibilidade, intra-dia para ambos os avaliadores nos movimentos de flexão e abdução do braço. Os valores obtidos

inter-dias na flexão variaram de 0,41 a 0,88 e (0,64° a 6,17) para o avaliador inexperiente e de 0,72 a 0,95 e (0,67° a 4,31°) para o avaliador experiente. No movimento de abdução inter-dias os valores variaram de 0,33 a 0,91 e (0,74° a 6,60°) para o avaliador inexperiente e de 0,72 a 0,98 e (0,73° a 5,01°) para o avaliador experiente. Apresentando a reprodutibilidade do avaliador inexperiente de fraca a excelente no movimento de flexão do braço e pobre a excelente na abdução do braço. A reprodutibilidade para o avaliador experiente foi de boa a excelente para a flexão e abdução do braço entre os segmentos da escápula, úmero e tronco em adultos saudáveis. Mostrando que não há diferença entre avaliadores nas avaliações intra-dia, porém inter-dias o avaliador experiente obteve melhores resultados de reprodutibilidade, mostrando que a diferença de níveis de experiência entre os avaliadores é de fundamental importância para se ter resultados reprodutíveis em diferentes dias. Entretanto devemos ressaltar a importância de mais estudos serem realizados, com diferentes movimentos e pacientes, realizados por dois ou mais avaliadores.

**Palavras-chave:** Reprodutibilidade, Cinemática, Escápula, Tronco, Úmero, Avaliadores, Experiente, Inexperiente.

## Introdução

Alterações biomecânicas do complexo articular do ombro podem causar inúmeras condições de lesão do sistema músculo esquelético e neuromuscular, que resultam em prejuízos funcionais a todo o membro superior incapacitando os indivíduos em suas atividades de vida diária. Nas últimas décadas muitos pesquisadores têm concentrado suas atenções para o desenvolvimento de ferramentas cada vez mais precisas para mensurar a biomecânica do membro superior, em especial do complexo articular do ombro em disfunções como a síndrome do impacto<sup>(36, 44, 45)</sup>, ombro congelado<sup>(46)</sup>, lesões do plexo braquial<sup>(47)</sup>, pacientes com sequelas de paralisia cerebral<sup>(48)</sup>, AVC<sup>(49)</sup> e lesão medular<sup>(50)</sup>. Neste contexto instrumentos de medida e avaliação precisos são fundamentais

para o melhor entendimento da função e para melhor tomada de decisão clínica são necessários.

Inúmeros métodos e modelos tem sido usado para coletar dados de movimentos do complexo articular do ombro, usando dispositivos eletromagnéticos e ópticos intraósseos<sup>(28)</sup>, e superficiais<sup>(51)</sup>. Apesar do esforço da Sociedade Internacional de Biomecânica em recomendar um guia para melhorar a homogeneidade das formas de coleta de dados e dos cálculos há estudos que usam<sup>(33)</sup> e outros que por necessidades específicas ou pelo tempo consumido para seguir as recomendações fazem modificações que também são aceitas<sup>(52)</sup>.

O uso de sistema óptico-eletrônico de captura dos movimentos permite capturar a cinemática da escápula utilizando marcadores colocados não invasivamente na superfície do acrômio<sup>(53)</sup> o que facilita a mensuração do movimento e devido ao volume de captura de movimento permite capturar simultaneamente o tronco, escápula e úmero bilateralmente, inclusive o corpo todo se necessário.

Os modelos usados em conjunto com os sistemas ópticos são heterogêneos: há conjuntos de marcadores como o marcador de *cluster* do acrômio (MCA)<sup>(54)</sup>, método por palpação<sup>(55)</sup>, localizador da escápula<sup>(15)</sup> e há calibrações que podem ser única <sup>(56)</sup>, dupla<sup>(26)</sup>, e até as que usam cinco calibrações<sup>(19)</sup>. Alguns estudos foram realizados afim de testar a reprodutibilidade e precisão desses métodos de aplicação e calibração, concluem que é necessária uma única calibração para elevação do braço até 90 graus, utilizando o MCA e uma segunda calibração acima de 90 graus, porém, relatam que outros métodos podem ser utilizados para fins de pesquisas <sup>(16)</sup>.

A mais recente revisão sistemática aponta lacunas importantes dentro deste contexto: dentre elas encontramos nos estudos apresentados a ausência do tronco durante a avaliação da elevação do úmero na flexão e abdução e o uso de apenas um avaliador ou de avaliadores de um mesmo grupo de pesquisas nos estudos de reprodutibilidade<sup>(16)</sup>. Sabe-se que em laboratórios clínicos de análise de movimento é frequente que a avaliação seja realizada por um avaliador e a avaliação pós tratamento nem sempre é realizada pelo mesmo avaliador. Os avaliadores podem não ter a mesma experiência na

colocação dos marcadores, assim, saber se a experiência dos avaliadores pode interferir nos resultados e conseqüentemente na tomada de decisão clínica é relevante.

O objetivo deste estudo foi avaliar a reprodutibilidade da cinemática tridimensional entre avaliadores experiente e inexperiente dos segmentos do tronco, escápula e úmero, intra e inter-dias durante os movimentos de flexão e abdução do braço unilateral. Nossa hipótese foi de que a reprodutibilidade do avaliador experiente seja melhor que a do avaliador inexperiente intra e inter-dias.

## **Métodos**

### **Participantes**

Para este estudo foram recrutados 10 homens e 10 mulheres saudáveis, todos com dominância de membro superior direito, com idade média de 25.1 (1.1) anos; peso 65,6 (2,0) Kg; altura 1,70 (0,2) cm; IMC 22,53 (0,4) Kg/cm<sup>2</sup> na comunidade local por convite verbal. A presente pesquisa foi submetida e aprovada pelo Comitê de Ética e Pesquisa da Universidade Nove de Julho. Foram excluídos participantes que apresentassem dor ou instabilidade articular do ombro, sintomas relacionados às afecções da coluna cervical ou lombar, distúrbios psiquiátricos, psicológicos e desordens neurológicas, evidente redução da amplitude de movimento menor que 120°, estivesse sob efeito de medicamentos psicoterapêuticos e que apresentassem 1 ou mais resultados positivos nos testes clínicos<sup>(39)</sup>, e qualquer tipo de comprometimento neurológico ou ortopédico.

### **Procedimentos e Instrumentação**



Cada voluntário participou de 6 sessões de testes, 4 sessões realizadas no primeiro dia, 2 por cada avaliador e 2 sessões realizadas no segundo dia, 1 por cada avaliador com um intervalo de 48 horas entre os dias. Dois examinadores independentes, um com experiência de aproximadamente 5 anos de análise de movimento e colocação de marcadores e um segundo examinador sem experiência realizaram duas sessões de cada teste no primeiro dia e uma sessão no segundo dia. Para cada sessão (intra-dia), 5 repetições foram realizadas para cada movimento (flexão e abdução unilateral direita, que é o membro dominante), perfazendo um total de 10 movimentos. Após um intervalo de uma hora, os dados foram coletados uma vez mais. Para cada sessão os marcadores foram removidos e substituídos novamente para a próxima sessão. Os testes conduzidos no segundo dia, após o intervalo de 48 horas, foram realizados sob as mesmas condições experimentais.

Para cada sessão de testes, doze marcadores esféricos retrorreflexivos de 14mm e quatro clusters rígidos compostos por 3 marcadores foram fixados nos voluntários e posicionados da seguinte maneira: na sétima vertebra cervical (C7), na oitava vertebra torácica (T8), no corpo do manúbrio do esterno, logo abaixo da incisura jugular (CLAV), 5cm abaixo do manúbrio no corpo do esterno (STRN), no ângulo superior (LAngS e RAngS) e inferior das escápulas (LAnGl e RAnGl), nos epicôndilos lateral (LELB e RELB) e medial (LELB2 e RELB2) do úmero. Dois clusters na região plana dos acrômios (LSC0, LSC1, LSC2 e RSC0, RSC1, RSC2) e outros dois clusters no terço médio dos úmeros (LUM0, LUM1, LUM2 e RUM0, RUM1, RUM2). Durante os trials dinâmicos os marcadores LAngS, RAngS, LAnGl, RAnGl, LELB, RELB, LELB2 e RELB2 foram removidos pois tinham como objetivo servir como referência anatômica aos clusters.

Para a captura de referência os voluntários permaneceram em posição quase estática no centro da área de captura, em pé com os braços ao longo do corpo, e antebraços supinados e flexionados à 90° durante 5 segundos para aquisição da posição das coordenadas dos marcadores e posteriormente foram obtidas mais duas capturas, utilizando um apontador, na região dos acrômios. Este procedimento foi utilizado para reconstrução dos marcadores virtuais do acrômio (LSP e RSP) em relação ao cluster do acrômio e os marcadores

virtuais (LSH0, RSH0) em relação cluster do braço por meio de um apontador, uma haste de metal com dois marcadores colineares, para identificar virtualmente o marcador do acrímio<sup>(53)</sup>.

Todos os voluntários realizaram 5 repetições dos movimentos seguindo a ordem de flexão e abdução unilateral do braço, iniciando e finalizando os movimentos com os braços ao longo do corpo, em extensão, adução, os cotovelos em extensão, mãos em posição neutra, polegares e dedos em extensão. O comando dado para cada repetição do movimento foi: “Prepara, vai!”, e o intervalo para cada movimento foi de 15 segundos.

Para a captura dos dados foi utilizado um sistema de 8 câmeras Vicon® (Vicon Motion System Ltd., Oxford Metrics, UK). Cada câmera foi configurada em uma frequência de 120 Hz conectadas à um computador. Neste computador o software Vicon Nexus® (versão 1.8.5) foi usado para aquisição e processamento dos dados.

## Processamento dos dados

O processamento foi realizado por um avaliador independente, após a reconstrução e nomeação dos marcadores, os ciclos de movimentos foram definidos usando a velocidade dos marcadores LUM0 e/ou RUM0. Iniciando no sistema em que a velocidade fosse maior que 50mm/s e terminaram quando a velocidade fosse inferior a 50mm/s<sup>(40)</sup>.

Um filtro Butterworth, passa baixa de quarta ordem e frequência de corte estabelecida em 6Hz às trajetórias dos marcadores, para reduzir os ruídos devido à movimentação durante o ciclo do movimento.

O segmento do tronco foi definido pelos marcadores C7, T8, CLAV e STRN; a escápula foi definida pelos marcadores AngS, AngI e SP; e o úmero pelos marcadores ELB1, ELB2 e SHO *onde, em um ‘trial’ estático para a definição dos eixos e centros articulares os marcadores SHO e SP, sobre os acrímios, são coincidentes, mas terão suas coordenadas vinculadas à sistemas locais de coordenadas diferentes: úmero e escápula,*

respectivamente. Os segmentos foram orientados de acordo com as figuras 1, 2 e 3.

No tronco foi criado um sistema local de coordenadas  $(\overset{P}{X}_t, \overset{P}{Y}_t, \overset{P}{Z}_t)$  que será empregado como referência para a medição dos movimentos relativos de dois segmentos adjacentes: escápulas e úmeros. Também, as rotações do tronco foram mensuradas em relação a um sistema global de coordenadas criado no ambiente de captura, e orientado pelo sistema de captura de movimento (Vicon Nexus) em seu processo de calibração. A coordenada de origem do tronco foi determinada pelo marcador CLAV. O primeiro eixo de coordenadas,  $\overset{P}{Y}_t$ , foi construído por um vetor orientado pelos pontos médios de dois segmentos de reta: um superior  $M1 = (CLAV + C7) / 2$  e outro inferior  $M2 = (STRN + T10) / 2$ , assim,  $\overset{P}{Y}_t = M1 - M2$ . Um vetor auxiliar:  $\overset{P}{X}_{aux}$ , foi definido pelos pontos C7 e STRN:  $\overset{P}{X}_{aux} = C7 - STRN$ . Os vetores  $\overset{P}{Y}_t$  e  $\overset{P}{X}_{aux}$  definem o plano sagital do tronco. O vetor  $\overset{P}{Z}_t$  é perpendicular ao plano sagital e tem seu sentido, em vista anterior, para a esquerda, segundo a recomendação da ISB<sup>(41)</sup>. O terceiro eixo é perpendicular aos eixos  $\overset{P}{Y}_t$  e  $\overset{P}{Z}_t$ , que formam o plano frontal do tronco, e tem sentido anterior ao segmento. Posteriormente, cada vetor foi transformado em seu versor (vetor unitário). Em operações vetoriais, a sequência de operações para definição dos eixos do tronco são:

$$\begin{aligned} \overset{P}{Y}_t \times \overset{P}{X}_{aux} &\stackrel{P}{=} \overset{P}{Z}_t \\ \overset{P}{Y}_t \times \overset{P}{Z}_t &= \overset{P}{X}_t \end{aligned}$$

Onde o eixo y foi formado pelo vetor que une os pontos médios entre os marcadores C7 e CLAV (M1) e entre os marcadores STRN e o T8. O eixo z foi orientado perpendicularmente ao plano sagital. O eixo x era perpendicular ao eixo z e o eixo y. Para definir os eixos da escápula, o eixo y foi definido no plano da escápula a partir dos marcadores ANGI e ANGS na direção superior. O eixo x era perpendicular ao plano frontal da escápula e o eixo z foi perpendicular ao eixo y e o eixo x. Para o úmero o eixo y foi formado pelo vetor que une o ponto médio entre os marcadores ELB e ELB2 e SH0 superiormente. O eixo x era perpendicular ao plano frontal do úmero e o eixo z foi perpendicular ao eixo y e o eixo x medialmente.

As sequências de Z-X-Y foi utilizada para descrever a orientação do tronco em relação ao sistema de coordenadas (definido como X lateral, Y anterior e Z superior), a ordem das rotações foram inclinação lateral para direita/esquerda, flexão/extensão e rotação interna/externa. Para orientar a escápula a sequência Z-X-Y foi usada e seus movimentos foram calculados em relação ao tronco. As rotações foram descritas na ordem da rotação interna/externa, superior/inferior, e inclinação anterior/posterior.

A posição do úmero com referência ao tronco foi determinada utilizando duas sequências: Y-X-Z para flexão do braço, sendo a primeira rotação definida do plano de abdução, o segundo foi definido do ângulo de flexão, e a terceira definido rotação interna/externa. Para a abdução do braço a sequência X-Y-Z foi aplicada, sendo a primeira rotação para a flexão, a segunda a abdução e a terceira a rotação. Para os cálculos foram usadas as sequências dos ângulos de Euler.

Os ciclos, independente do movimento foram divididos em duas fases: flexão e extensão para os movimentos de flexão unilateral e abdução e adução para os movimentos de abdução unilateral, ambos do braço. Os movimentos de flexão, adução e rotação interna foram considerados positivos e os movimentos de extensão, abdução e rotação externa negativos.

O braço foi definido por um sistema de coordenadas local determinado pelo eixo de flexão/extensão do cotovelo com o posicionamento de 2 marcadores sobre os epicôndilos lateral e medial do úmero denominados L/RELB (lateral) e L/RELB2 (medial), conforme figura (6). A origem do segmento é o ponto médio entre estes marcadores:  $Ob = (LELB + LELB2) / 2$ . Para o braço esquerdo, o primeiro eixo é  $\overset{P}{Z}b = LELB2 - LELB$ . O plano frontal do braço é definido pelos marcadores LSHO, LELB e LELB2. Um vetor auxiliar,  $\overset{P}{Y}aux = LSHO - Ob$ , contido no plano frontal, foi criado para gerar o eixo formatado do braço:  $\overset{P}{Y}aux \times \overset{P}{Z}b = \overset{P}{X}b$ . O eixo longitudinal do braço será o produto vetorial dos eixos posteriores:  $\overset{P}{Z}b \times \overset{P}{X}b = \overset{P}{Y}b$

Por este modelo de cálculo, o eixo longitudinal  $\overset{P}{Y}b$  do sistema local de coordenadas do braço não é necessariamente colinear com o marcador do ombro: L/RSHO.

A escápula foi construída por 3 pontos anatômicos, escolhidos segundo suas proeminências para melhor reprodutibilidade do procedimento de localização: ângulo inferior, ângulo superior e acrômio, onde foram posicionados marcadores denominados respectivamente: L/RANGI, L/RANGS e L/RSHO. A origem do segmento,  $O_e$ , foi determinada, para este modelo de cálculo, como sendo o centro do marcador L/RANGI. O plano frontal da escápula foi definido pelos mesmos 3 marcadores. Para o lado direito, conforme figura (y), o primeiro eixo:  $\overset{P}{Y}_e$ , foi determinado pelos marcadores sobre os ângulos inferior e superior:  $\overset{P}{Y}_e = RANGS - RANGI$

De maneira análoga aos segmentos anteriores, um vetor auxiliar  $\overset{P}{Z}_{aux} = RSHO - RANGI$  foi criado para a determinação do vetor frontal:

$$\overset{P}{Y}_e \times \overset{P}{Z}_{aux} = \overset{P}{X}_e$$

O eixo transversal é o produto vetorial entre  $\overset{P}{X}_e$  e  $\overset{P}{Y}_e$ :  $\overset{P}{X}_e \times \overset{P}{Y}_e = \overset{P}{Z}_e$

Os eixos dos sistemas locais de coordenadas para os segmentos esquerdos e direitos seguem os mesmos sentidos. Tendo como referência a posição ortostática do corpo, em vista anterior, os eixos transversais dos braços e escápulas,  $\overset{P}{Z}_b$  e  $\overset{P}{Z}_e$ , respectivamente, estarão, ambos, voltados para a esquerda, os eixos verticais,  $\overset{P}{Y}_b$  e  $\overset{P}{Y}_e$ , para cima, e os eixos frontais,  $\overset{P}{X}_b$  e  $\overset{P}{X}_e$ , anteriormente ao corpo.

As rotações de cada hemicorpo do tronco, em ângulos de Euler, segundo a orientação do sistema de coordenadas do local  $(\overset{P}{X}_t, \overset{P}{Y}_t, \overset{P}{Z}_t)$  em relação ao sistema global, laboratório  $(\overset{P}{X}_g, \overset{P}{Y}_g, \overset{P}{Z}_g)$ , segue a orientação da ISB: ZXY, ou: inclinação (anterior/posterior), obliquidade (abaixo/acima) e rotação (interna/externa).

Sequências de rotações da escápula e braço. O braço tem sequências distintas de acordo com cada movimento.

## Estatística

A análise estatística foi realizada por um avaliador independente, e para verificar a distribuição dos dados, foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk. A reprodutibilidade dos movimentos da escápula, úmero e tronco nos ângulos de 30°, 60°, 90° e 120° de flexão e abdução do braço intra-dia (teste), inter-dias e intra-sessões (teste-reteste) para cada avaliador e inter-avaliadores foi verificada pelo coeficiente de correlação intraclassa (ICC – 95% intervalo de confiança) assim como o erro padrão de medida (SEM). Para o cálculo da reprodutibilidade relativa dos 5 movimentos realizados foi utilizado o modelo ICC<sub>2,k</sub> para as condições intra-dia e inter-dias e o modelo ICC<sub>3,k</sub> para a condição inter-avaliadores <sup>(42)</sup>. Para a análise dos resultados o seguinte critério foi utilizado: pobre=0,00-0,39, fraco=0,40-0,59, boa=0,60-0,74 e excelente=0,75-1,00 <sup>(43)</sup>. O SEM foi calculado de acordo com a equação:

$$SEM = SD\sqrt{1 - ICC}$$

onde, SD é o desvio padrão dos resultados observados entre os testes realizados <sup>(42)</sup>.

## Resultados

Os valores do ICC e SEM do avaliador inexperiente e experiente dos movimentos da escápula, úmero e tronco nos ângulos de 30°, 60°, 90° e 120° de flexão e abdução do braço, estão apresentados nas Tabelas 1 e 2 e a amplitude de movimento nos gráficos 1, 2, 3 e 4.

Flexão do braço:

O avaliador inexperiente e experiente obtiveram valores do ICC intra-dia que variaram de (0,67-0,98). Os valores do erro padrão de medida SEM intra-dia variaram de 0,58° a 5,64° para o avaliador inexperiente e de 0,57° a 4,26° para o avaliador experiente.

Os valores do ICC inter-dias variaram de (0,41-0,88) para o avaliador inexperiente e (0,70-0,95) para o avaliador experiente. Os valores do erro padrão de medida SEM inter-dias do avaliador inexperiente variaram de 0,64° a 6,17° e do avaliador experiente variaram de 0,67° a 4,31°.

Abdução do braço:

O avaliador inexperiente e experiente obtiveram valores do ICC intra-dia que variaram de (0,75-0,96), e o avaliador experiente de (0,67-0,97). Os valores obtidos do erro de medida padrão SEM intra-dia do avaliador inexperiente variaram de 0,64° a 4,93°, do avaliador experiente variaram de 0,65° a 6,58°.

Os valores obtidos do ICC inter-dias do avaliador inexperiente variaram de (0,33-0,91) e do avaliador experiente variaram de (0,72-0,95). Os valores do SEM inter-dias do avaliador inexperiente variaram de 0,74° a 6,60°, do avaliador experiente variaram de 0,71° a 4,31°.

## Discussão

A cinemática tridimensional tem sido a principal técnica de pesquisa utilizada nos últimos anos para análise do movimento do complexo articular do ombro, tanto em voluntários assintomáticos <sup>(36), (57), (58), (9), (59)</sup>, como pacientes sintomáticos <sup>(49), (29), (60), (37), (61)</sup>. As pesquisas que buscam avaliar a cinemática escapular apontam alguns aspectos a serem considerados, dentre eles a ausência de dois avaliadores com diferentes níveis de experiência para realização das coletas dos dados.

O presente estudo avaliou a reprodutibilidade intra e inter-dias de avaliadores experiente e inexperiente, dos segmentos da escápula, úmero e tronco, durante o movimento de flexão e abdução do braço à 30°, 60°, 90° e 120° de amplitude do movimento, com a hipótese de que a experiência entre avaliadores poderia influenciar nos resultados das avaliações, produzindo melhores resultados para o avaliador experiente.

Ao compararmos os resultados intra-dia dos avaliadores durante o movimento de flexão do braço foi observado de boa a excelente reprodutibilidade para os segmentos da escápula, úmero e tronco. Dentre os resultados obtidos pelo avaliador inexperiente, destacamos o ICC que apresentou boa a excelente reprodutibilidade para a rotação externa do úmero [ICC (0,67-0,77); SEM (4,62°-5,64°)] e do avaliador experiente que apresentou excelente reprodutibilidade [ICC (0,81-0,84); SEM (4,01°-4,26°)], a rotação do úmero é considerada um ponto crítico na análise do movimento por apresentar muita interferência dos tecidos moles<sup>(17), (62)</sup>, a priori, para este movimento os resultados são satisfatórios. Ao compararmos com o resultado obtido por Ludewig et. al. (2002) em que eles mostram um erro de até 5,7° para a rotação externa do úmero, evidenciando os nossos resultados. Lopez-Pascual et. al. (2016)<sup>(23)</sup> avaliaram as rotações do úmero em três diferentes sequências de rotação, com valores de SEM variando de 3,1° a 7,3°, entre as sequências de rotação.

O movimento de inclinação posterior da escápula mensurado pelo avaliador experiente apresentou boa reprodutibilidade inter-dias [ICC (0,67) SEM (2,40°)], no entanto, este resultado foi o único que apresentou menor valor quando comparado ao avaliador inexperiente.

Na avaliação intra-dia durante os movimentos de flexão do braço observamos os valores do SEM para o segmento da escápula, o avaliador inexperiente foi de 1,37° a 2,94° e do avaliador experiente de 2,11 a 3,42°, nos determinados ângulos de movimento de 30°, 60° 90° e 120°. Haik et. al (2014)<sup>(36)</sup> mostram valores de SEM entre 0,86° à 3,17°, como aceitáveis para os movimentos escapulares, que estão de acordo com os obtidos em nosso estudo. Shaheen et. al. (2013)<sup>(15)</sup> também obtiveram resultados de SEM semelhantes aos nossos, utilizando marcadores passivos, em avaliações realizadas intra-dia. Esses resultados estão de acordo com o estudo de Karduna et. al. (2001)<sup>(17)</sup> que validaram e compararam os métodos, de pinos ósseos e o método de marcador do acrômio, e os erros para o movimento de inclinação posterior da escápula foi até 6,6°, para rotação externa da escápula foi até 9,4° e na rotação para cima o valor foi de 6,3° para o marcador do acrômio e de 8,0° para os pinos ósseos.



Na avaliação inter-dias para o movimento de flexão do braço os valores de SEM para o segmento da escápula foi de 2,71° à 4,74° para o avaliador inexperiente e de 1,96° à 4,31° para o avaliador experiente, esses já se mostraram melhores quando comparados a Haik et. al. (2014)<sup>(36)</sup> 3,37° à 6,79°. Warner et. al. (2015)<sup>(53)</sup> relatam que o erro para os movimentos escapulares utilizando o método de marcador do acrômio durante a flexão do braço foram de 7,3° na rotação interna, 3,1° na rotação para cima e 2,3° na inclinação posterior, sendo assim, os nossos resultados se encontram abaixo dos obtidos nos outros estudos.

Os movimentos escapulares avaliados por Thigpen et. al. (2005)<sup>(63)</sup> em todos os planos de movimentos, variaram de 4,27° a 6,65° inter-dias, enquanto os nossos apresentaram erros menores para ambos os avaliadores. Já os valores de ICC variaram

de (0,68-0,88) no estudo de Thigpen<sup>(63)</sup>, enquanto os nossos variaram de (0,46-0,83) para o avaliador inexperiente e de (0,72-0,88) para o avaliador experiente, evidenciando a reprodutibilidade do método utilizado.

A avaliação inter-dias evidencia fraca reprodutibilidade do avaliador inexperiente durante a flexão do braço para os movimentos de abdução da escápula e rotação interna do úmero em todos os ângulos estudados e para a inclinação posterior da escápula à 30°. Os demais movimentos dos segmentos, seja para o avaliador inexperiente ou experiente apresentaram de boa a excelente reprodutibilidade, porém os valores do SEM foram em sua maioria menores para o avaliador experiente.

Durante a avaliação intra-dia do movimento de abdução do braço os avaliadores inexperiente e experiente apresentaram excelente reprodutibilidade exceto o avaliador experiente que apresentou boa reprodutibilidade para a rotação externa do úmero. Já os movimentos do tronco mensurados pelo avaliador inexperiente demonstraram fraca reprodutibilidade a 30°, 60° e 90°, enquanto o avaliador experiente apresentou excelente resultados para todos os movimentos e ângulos estudados. Nagai et. al. (2013)<sup>(24)</sup> apresentaram os valores do ICC (0,94-0,99) como sendo excelente, para rotação para cima, rotação interna e inclinação posterior da escápula, em diferentes posições do tronco, e o SEM variou de 0,5° a 4,0°, estando dentro dos valores por nós obtidos.

Inter-dias o avaliador inexperiente apresentou durante a abdução do braço fraca reprodutibilidade para abdução da escápula a 30° e 60° e pobre a 90° e 120°; para posteriorização apresentou fraca reprodutibilidade a 30° e 60°.

Demonstrou ainda fraca reprodutibilidade para a flexão e rotação externa do úmero, com exceção da flexão a 30° que apresentou boa reprodutibilidade e pobre a 90°. Os movimentos do tronco apresentaram fraca reprodutibilidade para a rotação a 30° e 60° e inclinação do tronco a 30°, enquanto os demais movimentos apresentaram de boa a excelente reprodutibilidade. Em contrapartida, o avaliador experiente apresentou excelente reprodutibilidade para os movimentos do braço, e de boa a excelente para os movimentos do tronco.

Os resultados apresentados neste estudo corroboram aos encontrados na literatura, pois em linhas gerais demonstram boa reprodutibilidade da cinemática do cingulo do membro superior, em especial da escápula<sup>(53), (64)</sup>, úmero<sup>(65), (23)</sup> e tronco<sup>(66), (24)</sup>. No entanto, é inovador quando avalia concomitantemente o tronco, escápula e braço e compara um avaliador inexperiente e um avaliador experiente. Reforça ainda a necessidade de se treinar a colocação dos marcadores<sup>(67)</sup>, principalmente quando as avaliações são realizadas em dias diferentes, pois quando realizadas no mesmo dia a diferença não é importante do ponto de vista da experiência. Apesar de encontrarmos exceções que demonstram que a experiência não deve ser levada em conta no momento da avaliação cinemática<sup>(68)</sup>.

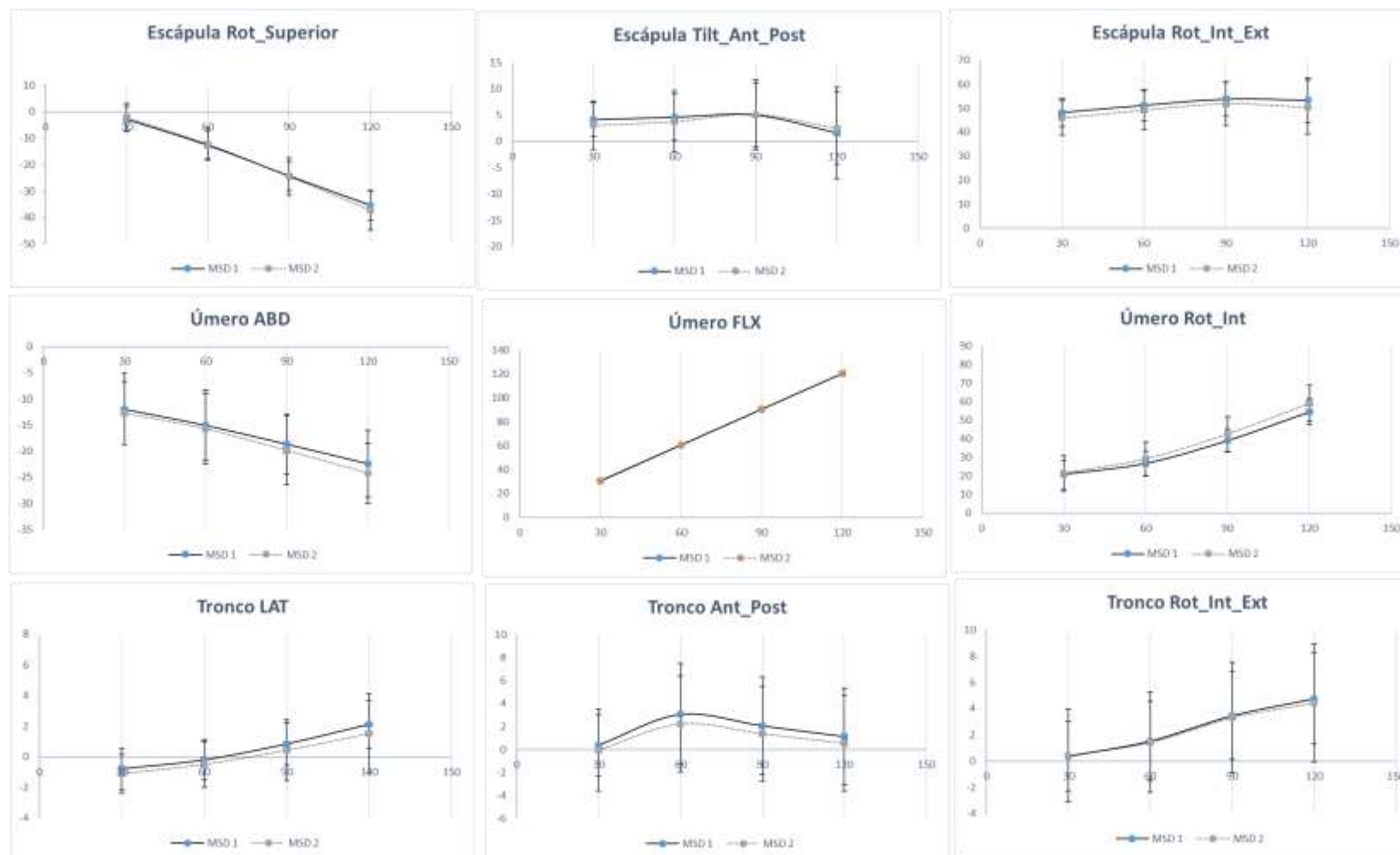
Este cenário pode tomar grandes proporções quando o indivíduo é avaliado antes e após um procedimento de reabilitação clínica ou cirúrgico. Apesar de não termos avaliados pacientes, acreditamos que estes resultados podem ser semelhantes em indivíduos com disfunção do cingulo do membro superior como descrito anteriormente<sup>(36)</sup>.

O uso de mais de uma calibração para a avaliação da escápula é considerado mais reprodutível quando comparado à apenas uma calibração<sup>(19), (69), (26)</sup>. Assim, a ausência de mais calibrações é uma limitação deste estudo e poderia ter melhorado os resultados aqui apresentados. Faz-se necessário ainda testes em atividades funcionais para verificar se a reprodutibilidade aqui demonstrada será mantida associada a outros movimentos.

## **Conclusão**

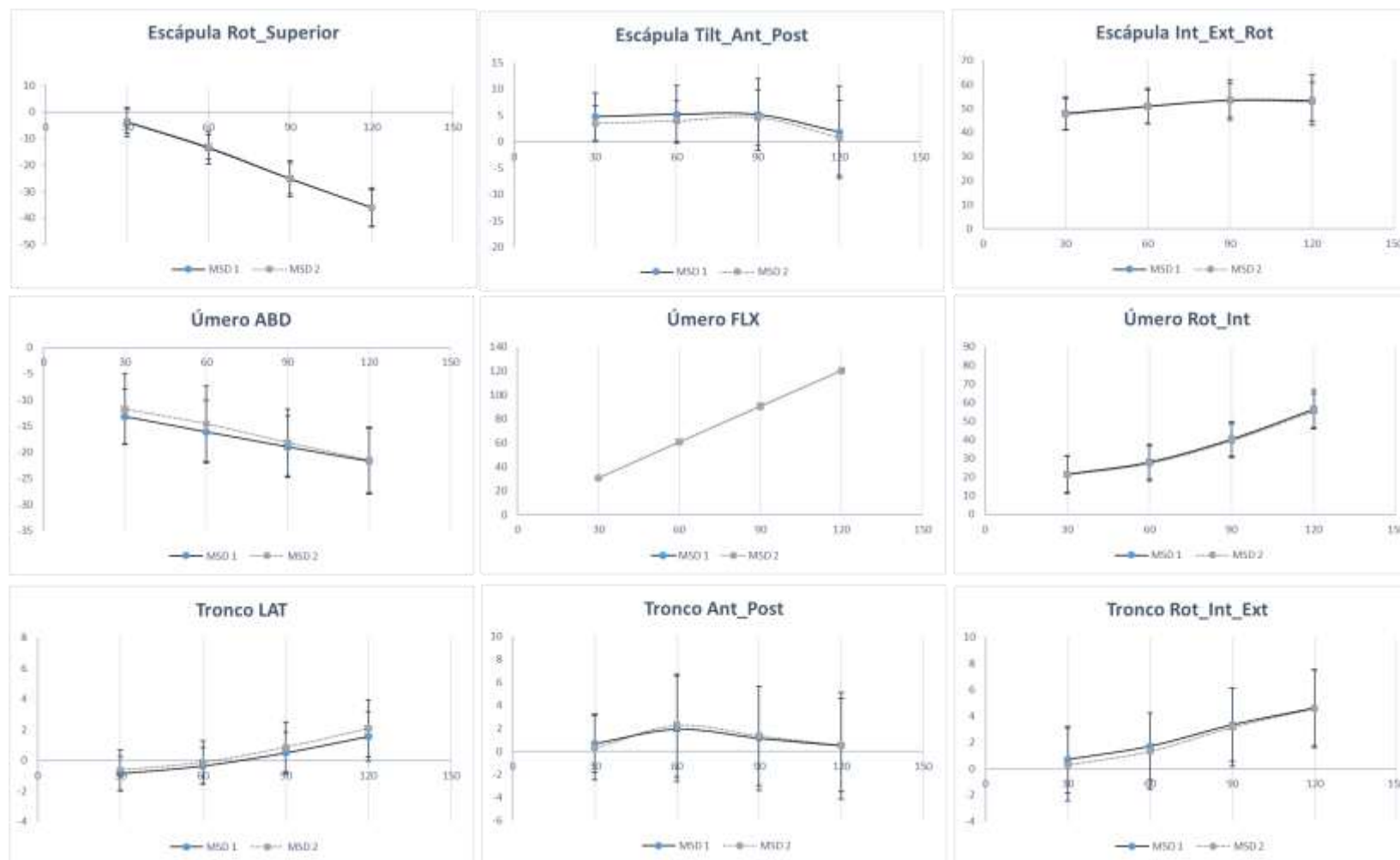
O presente estudo mostrou que a experiência do avaliador produz resultados diferentes para avaliar a cinemática do cingulo do membro superior em indivíduos saudáveis. O avaliador experiente apresentou melhor reprodutibilidade inter e intra-dias quando comparado à um avaliador inexperiente e esta diferença foi mais evidente inter-dias.

**Gráfico 1** Valores representativos das amplitudes de movimento e média e desvio padrão do tronco, escápula e úmero durante a flexão do braço dominante inter-sessão.



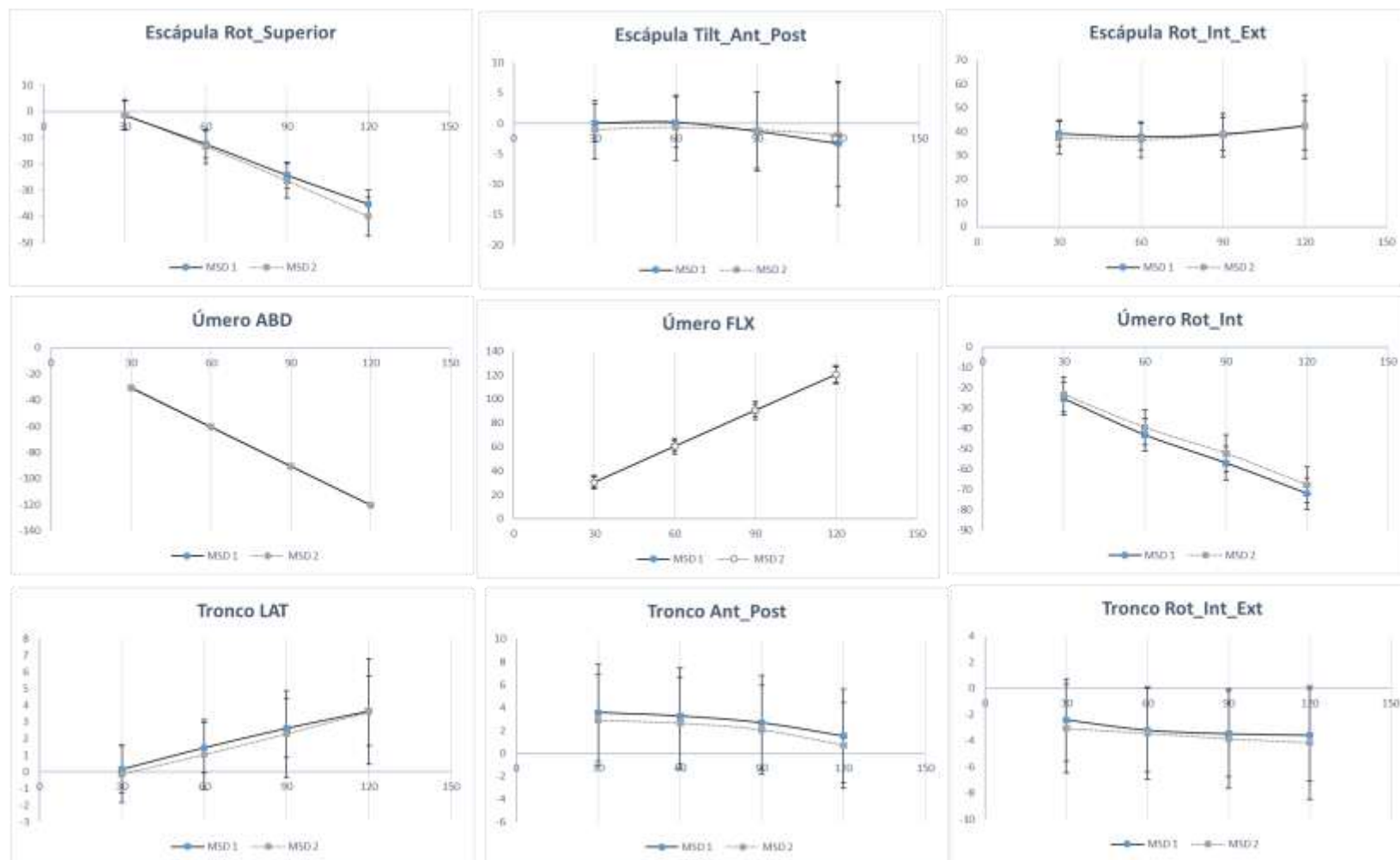
Legendas: \_\_\_\_ MSD (Membro Superior Direito) Avaliador Inexperiente (1) \_\_\_\_ MSD (Membro Superior Direito) Avaliador Experiente (2)

**Gráfico 2** Valores representativos das amplitudes de movimento e média e desvio padrão do tronco, escápula e úmero durante a flexão do braço dominante intra-sessão.



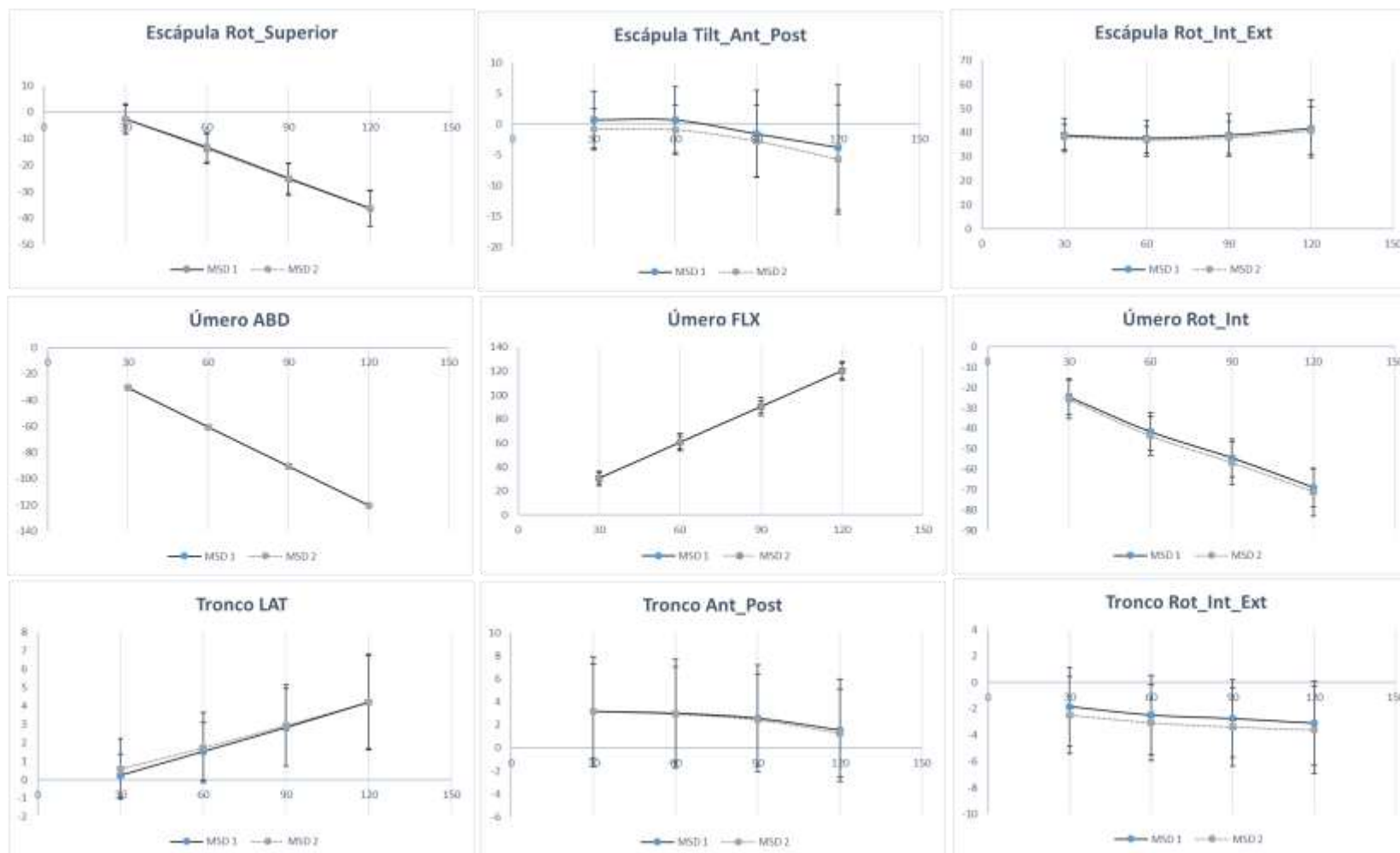
Legendas: \_\_\_\_ MSD (Membro Superior Direito) Avaliador Inexperiente (1) \_\_\_\_ MSD (Membro Superior Direito) Avaliador Experiente (2)

**Gráfico 3** Valores representativos das amplitudes de movimento e média e desvio padrão do tronco, escápula e úmero durante a abdução do braço dominante inter-sessão.



Legendas: \_\_\_\_ MSD (Membro Superior Direito) Avaliador Inexperiente (1) \_\_\_\_ MSD (Membro Superior Direito) Avaliador Experiente (2)

**Gráfico 4** Valores representativos das amplitudes de movimento e média e desvio padrão do tronco, escápula e úmero durante a abdução do braço dominante intra-sessão.



Legendas: \_\_\_\_ MSD (Membro Superior Direito) Avaliador Inexperiente (1) \_\_\_\_ MSD (Membro Superior Direito) Avaliador Experiente (2)

**Tabela 1** Valores de ICC (95% IC) e SEM intra e inter-dias para as variáveis escápula, úmero e tronco durante o movimento de flexão do braço dominante unilateral.

	Avaliador 1 (inexperiente)				Avaliador 2 (experiente)			
	Intra Dia (AxB)		Inter Dias (AxC)		Intra Dia (DxE)		Inter Dias (DxF)	
	ICC	SEM	ICC	SEM	ICC	SEM	ICC	SEM
<b>30°</b>								
Escápula_Rot_Sup	0,84	2,01	0,46	3,79	0,85	2,25	0,72	3,21
Escápula_Inc_Post	0,88	1,39	0,52	2,71	0,67	2,40	0,73	2,25
Escápula_Rot_Ext	0,90	2,13	0,80	2,77	0,90	2,11	0,74	3,15
Umero_ABD	0,84	2,37	0,62	3,71	0,69	3,10	0,82	2,53
Umero_Rot_Int	0,77	4,62	0,50	6,17	0,82	4,12	0,82	3,73
Tronco_Post	0,98	0,70	0,84	1,83	0,98	0,63	0,95	0,89
Tronco_Rot_Int	0,83	1,09	0,60	1,62	0,87	1,30	0,78	1,64
Tronco_LAT	0,78	0,58	0,73	0,64	0,74	0,57	0,70	0,67
<b>60°</b>								
Escápula_Rot_Sup	0,83	2,15	0,47	4,03	0,89	2,21	0,79	3,14
Escápula_Inc_Post	0,92	1,37	0,66	2,88	0,84	2,33	0,87	1,96
Escápula_Rot_Ext	0,90	2,27	0,83	2,82	0,91	2,27	0,77	3,35
Umero_ABD	0,85	2,52	0,65	3,73	0,82	2,79	0,88	2,40
Umero_Rot_Int	0,72	4,81	0,41	6,03	0,81	4,10	0,84	3,27
Tronco_Post	0,98	0,66	0,84	1,79	0,98	0,65	0,95	0,87
Tronco_Rot_Int	0,82	1,14	0,65	1,63	0,87	1,38	0,76	1,81
Tronco_LAT	0,77	0,61	0,73	0,64	0,80	0,67	0,74	0,71
<b>90°</b>								
Escápula_Rot_Sup	0,87	2,32	0,53	4,25	0,92	2,21	0,84	2,99
Escápula_Inc_Post	0,95	1,40	0,78	3,02	0,86	2,58	0,88	2,25
Escápula_Rot_Ext	0,89	2,49	0,83	3,20	0,91	2,60	0,79	3,69
Umero_ABD	0,82	2,58	0,64	3,44	0,87	2,35	0,86	2,49
Umero_Rot_Int	0,67	5,19	0,48	5,62	0,81	4,26	0,88	2,99
Tronco_Post	0,98	0,65	0,86	1,64	0,98	0,64	0,95	0,89
Tronco_Rot_Int	0,81	1,23	0,66	1,77	0,89	1,44	0,77	1,93
Tronco_LAT	0,81	0,64	0,75	0,68	0,91	0,54	0,79	0,82
<b>120°</b>								
Escápula_Rot_Sup	0,86	2,66	0,58	4,17	0,92	2,32	0,86	3,01
Escápula_Inc_Post	0,94	1,87	0,79	3,99	0,80	3,42	0,80	3,13
Escápula_Rot_Ext	0,90	2,94	0,76	4,74	0,91	3,04	0,81	4,31
Umero_ABD	0,83	2,56	0,74	3,20	0,90	1,82	0,81	2,67
Umero_Rot_Int	0,67	5,64	0,56	5,75	0,84	4,01	0,92	2,59
Tronco_Post	0,97	0,73	0,88	1,49	0,98	0,59	0,94	1,05
Tronco_Rot_Int	0,83	1,18	0,66	1,82	0,91	1,26	0,83	1,68
Tronco_LAT	0,84	0,69	0,74	0,81	0,91	0,73	0,80	1,01

Abreviações: ICC – Coeficiente de Correlação Intraclasse, IC – Intervalo de Confiança, SEM – Erro de Medida Padrão, ABD – abdução, FLX - flexão, Post – inclinação posterior, Rot – rotação, Sup – Superior, Int – interna, Ext – externa, LAT – lateralização, Inc – inclinação, ° - ângulos em graus.



**Tabela 2** Valores de ICC (95% IC) e SEM intra e inter-dias para as variáveis escápula, úmero e tronco durante o movimento de abdução do braço dominante unilateral.

	Avaliador 1 (inexperiente)				Avaliador 2 (experiente)			
	Intra Dia (AxB)		Inter Dias (AxC)		Intra Dia (DxE)		Inter Dias (DxF)	
	ICC	SEM	ICC	SEM	ICC	SEM	ICC	SEM
<b>30°</b>								
Escápula_Rot_Sup	0,76	2,63	0,46	4,07	0,86	2,26	0,85	2,38
Escápula_Inc_Post	0,88	1,40	0,48	2,81	0,76	2,14	0,77	2,13
Escápula_Rot_Ext	0,85	2,37	0,70	3,37	0,84	2,32	0,73	2,92
Umero_FLX	0,83	2,14	0,65	2,64	0,91	1,68	0,92	1,62
Umero_Rot_Int	0,79	4,13	0,42	6,37	0,62	6,58	0,77	4,04
Tronco_Post	0,96	0,89	0,91	1,35	0,97	0,71	0,94	0,95
Tronco_Rot_Ext	0,90	0,93	0,59	1,96	0,82	1,30	0,72	1,63
Tronco_LAT	0,85	0,55	0,59	0,83	0,81	0,70	0,77	0,76
<b>60°</b>								
Escápula_Rot_Sup	0,79	2,57	0,48	3,91	0,90	2,11	0,88	2,31
Escápula_Inc_Post	0,90	1,52	0,56	3,11	0,83	2,15	0,84	2,00
Escápula_Rot_Ext	0,87	2,37	0,70	3,54	0,85	2,54	0,75	3,04
Umero_FLX	0,78	2,95	0,54	3,46	0,86	2,48	0,91	2,15
Umero_Rot_Int	0,78	4,25	0,42	6,44	0,72	5,62	0,81	3,57
Tronco_Post	0,95	0,93	0,91	1,33	0,97	0,65	0,94	0,90
Tronco_Rot_Ext	0,89	0,96	0,57	2,01	0,79	1,41	0,76	1,52
Tronco_LAT	0,91	0,51	0,77	0,74	0,89	0,71	0,80	0,86
<b>90°</b>								
Escápula_Rot_Sup	0,79	2,62	0,39	4,12	0,89	2,15	0,86	2,43
Escápula_Inc_Post	0,94	1,50	0,74	3,44	0,87	2,36	0,84	2,33
Escápula_Rot_Ext	0,90	2,39	0,73	4,06	0,88	2,73	0,79	3,46
Umero_FLX	0,75	3,20	0,33	4,18	0,88	2,75	0,88	2,75
Umero_Rot_Int	0,78	4,63	0,43	6,60	0,76	5,46	0,83	3,66
Tronco_Post	0,95	0,98	0,90	1,39	0,97	0,69	0,93	0,95
Tronco_Rot_Ext	0,91	0,87	0,60	1,96	0,80	1,43	0,73	1,70
Tronco_LAT	0,94	0,53	0,83	0,78	0,93	0,66	0,98	0,73
<b>120°</b>								
Escápula_Rot_Sup	0,78	3,12	0,39	4,77	0,86	2,65	0,81	3,18
Escápula_Inc_Post	0,93	2,54	0,74	5,16	0,91	2,60	0,86	3,13
Escápula_Rot_Ext	0,91	3,24	0,70	5,96	0,91	3,46	0,80	5,01
Umero_FLX	0,85	2,73	0,46	4,70	0,84	3,35	0,86	3,30
Umero_Rot_Int	0,78	4,93	0,42	6,55	0,79	4,95	0,86	3,43
Tronco_Post	0,94	1,00	0,88	1,47	0,96	0,76	0,90	1,13
Tronco_Rot_Ext	0,96	0,65	0,71	1,80	0,84	1,49	0,75	1,93
Tronco_LAT	0,94	0,64	0,75	1,16	0,93	0,80	0,85	1,11

Abreviações: ICC – Coeficiente de Correlação Intraclasse, IC – Intervalo de Confiança, SEM – Erro de Medida Padrão, ABD – abdução, FLX - flexão, Post – inclinação posterior, Rot – rotação, Sup – Superior, Int – interna, Ext – externa, LAT – lateralização, Inc – inclinação, ° - ângulos em graus.

## Referências

1. Culham E, Peat M. Functional anatomy of the shoulder complex. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1993;18(1):342-50.
2. Kibler WB, McMullen J. Scapular dyskinesia and its relation to shoulder pain. *J Am Acad Orthop Surg.* 2003;11(2):142-51.
3. McClure PW, Michener LA, Sennett BJ, Karduna AR. Direct 3-dimensional measurement of scapular kinematics during dynamic movements in vivo. *J Shoulder Elbow Surg.* 2001;10(3):269-77.
4. Kibler WB, Ludewig PM, McClure PW, Michener LA, Bak K, Sciascia AD. Clinical implications of scapular dyskinesia in shoulder injury: the 2013 consensus statement from the 'Scapular Summit'. *Br J Sports Med.* 2013;47(14):877-85.
5. Inman VT, Saunders JB, Abbott LC. Observations of the function of the shoulder joint. 1944. *Clin Orthop Relat Res.* 1996(330):3-12.
6. Braman JP, Engel SC, LaPrade RF, Ludewig PM. In vivo assessment of scapulohumeral rhythm during unconstrained overhead reaching in asymptomatic subjects. *J Shoulder Elbow Surg.* 2009;18(6):960-7.
7. Mell AG, LaScalza S, Guffey P, Ray J, Maciejewski M, Carpenter JE, et al. Effect of rotator cuff pathology on shoulder rhythm. *J Shoulder Elbow Surg.* 2005;14(1 Suppl S):58s-64s.
8. Ludewig PM, Phadke V, Braman JP, Hassett DR, Cieminski CJ, LaPrade RF. Motion of the shoulder complex during multiplanar humeral elevation. *J Bone Joint Surg Am.* 2009;91(2):378-89.
9. Roren A, Lefevre-Colau MM, Poiraudreau S, Fayad F, Pasqui V, Roby-Brami A. A new description of scapulothoracic motion during arm movements in healthy subjects. *Man Ther.* 2015;20(1):46-55.
10. Meskers CG, Vermeulen HM, de Groot JH, van Der Helm FC, Rozing PM. 3D shoulder position measurements using a six-degree-of-freedom electromagnetic tracking device. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 1998;13(4-5):280-92.
11. Finley MA, Lee RY. Effect of sitting posture on 3-dimensional scapular kinematics measured by skin-mounted electromagnetic tracking sensors. *Arch Phys Med Rehabil.* 2003;84(4):563-8.
12. Fayad F, Roby-Brami A, Gautheron V, Lefevre-Colau MM, Hanneton S, Fermanian J, et al. Relationship of glenohumeral elevation and 3-dimensional scapular kinematics with disability in patients with shoulder disorders. *J Rehabil Med.* 2008;40(6):456-60.
13. Hanratty CE, McVeigh JG, Kerr DP, Basford JR, Finch MB, Pendleton A, et al. The effectiveness of physiotherapy exercises in subacromial impingement syndrome: a systematic review and meta-analysis. *Semin Arthritis Rheum.* 2012;42(3):297-316.

14. Meyer KE, Saether EE, Soiney EK, Shebeck MS, Paddock KL, Ludewig PM. Three-dimensional scapular kinematics during the throwing motion. *J Appl Biomech.* 2008;24(1):24-34.
15. Shaheen AF, Villa C, Lee YN, Bull AM, Alexander CM. Scapular taping alters kinematics in asymptomatic subjects. *J Electromyogr Kinesiol.* 2013;23(2):326-33.
16. Lempereur M, Brochard S, Leboeuf F, Remy-Neris O. Validity and reliability of 3D marker based scapular motion analysis: a systematic review. *J Biomech.* 2014;47(10):2219-30.
17. Karduna AR, McClure PW, Michener LA, Sennett B. Dynamic measurements of three-dimensional scapular kinematics: a validation study. *J Biomech Eng.* 2001;123(2):184-90.
18. Lempereur M, Brochard S, Mao L, Remy-Neris O. Validity and reliability of shoulder kinematics in typically developing children and children with hemiplegic cerebral palsy. *J Biomech.* 2012;45(11):2028-34.
19. Shaheen AF, Alexander CM, Bull AM. Effects of attachment position and shoulder orientation during calibration on the accuracy of the acromial tracker. *J Biomech.* 2011;44(7):1410-3.
20. Mattson JM, Russo SA, Rose WC, Rowley KM, Richards JG. Identification of scapular kinematics using surface mapping: a validation study. *J Biomech.* 2012;45(12):2176-9.
21. Schwartz C, Leboeuf F, Remy-Neris O, Brochard S, Lempereur M, Burdin V. Detection of incoherent joint state due to inaccurate bone motion estimation. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2013;16(2):165-74.
22. Veeger HE. The position of the rotation center of the glenohumeral joint. *J Biomech.* 2000;33(12):1711-5.
23. Lopez-Pascual J, Caceres ML, De Rosario H, Page A. The reliability of humerothoracic angles during arm elevation depends on the representation of rotations. *J Biomech.* 2016;49(3):502-6.
24. Nagai K, Tateuchi H, Takashima S, Miyasaka J, Hasegawa S, Arai R, et al. Effects of trunk rotation on scapular kinematics and muscle activity during humeral elevation. *J Electromyogr Kinesiol.* 2013;23(3):679-87.
25. Brochard S, Lempereur M, Remy-Neris O. Accuracy and reliability of three methods of recording scapular motion using reflective skin markers. *Proc Inst Mech Eng H.* 2011;225(1):100-5.
26. Brochard S, Lempereur M, Remy-Neris O. Double calibration: an accurate, reliable and easy-to-use method for 3D scapular motion analysis. *J Biomech.* 2011;44(4):751-4.
27. Matsuki K, Matsuki KO, Yamaguchi S, Ochiai N, Sasho T, Sugaya H, et al. Dynamic in vivo glenohumeral kinematics during scapular plane abduction in healthy shoulders. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2012;42(2):96-104.
28. Lawrence RL, Braman JP, Staker JL, Laprade RF, Ludewig PM. Comparison of 3-dimensional shoulder complex kinematics in individuals with and without shoulder pain, part 2: glenohumeral joint. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2014;44(9):646-55, b1-3.

29. van den Noort JC, Wiertsema SH, Hekman KM, Schonhuth CP, Dekker J, Harlaar J. Measurement of scapular dyskinesis using wireless inertial and magnetic sensors: Importance of scapula calibration. *J Biomech.* 2015;48(12):3460-8.
30. Moreno-Montanes J, Olmo N, Garcia N, Alvarez A, Garcia-Granero M. Influence of examiner experience on the reproducibility of retinal nerve fiber thickness values using Cirrus and Stratus OCTs. *J Glaucoma.* 2013;22(3):243-9.
31. Meskers CG, van de Sande MA, de Groot JH. Comparison between tripod and skin-fixed recording of scapular motion. *J Biomech.* 2007;40(4):941-6.
32. Veeger HE, van der Helm FC. Shoulder function: the perfect compromise between mobility and stability. *J Biomech.* 2007;40(10):2119-29.
33. Warner MB, Chappell PH, Stokes MJ. Measuring scapular kinematics during arm lowering using the acromion marker cluster. *Hum Mov Sci.* 2012;31(2):386-96.
34. Bourne DA, Choo AM, Regan WD, Macintyre DL, Oxland TR. A new subject-specific skin correction factor for three-dimensional kinematic analysis of the scapula. *J Biomech Eng.* 2009;131(12):121009.
35. Lucareli PR, Contani LB, Lima B, Rabelo ND, Ferreira CL, Lima FP, et al. Repeatability of a 3D multi-segment foot model during anterior and lateral step down tests. *Gait Posture.* 2016;43:9-16.
36. Haik MN, Albuquerque-Sendin F, Camargo PR. Reliability and minimal detectable change of 3-dimensional scapular orientation in individuals with and without shoulder impingement. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2014;44(5):341-9.
37. Ludewig PM, Reynolds JF. The association of scapular kinematics and glenohumeral joint pathologies. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2009;39(2):90-104.
38. Prinold JA, Villette CC, Bull AM. The influence of extreme speeds on scapula kinematics and the importance of controlling the plane of elevation. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2013;28(9-10):973-80.
39. Michener LA, Walsworth MK, Doukas WC, Murphy KP. Reliability and diagnostic accuracy of 5 physical examination tests and combination of tests for subacromial impingement. *Arch Phys Med Rehabil.* 2009;90(11):1898-903.
40. Artilheiro MC, Correa JC, Cimolin V, Lima MO, Galli M, de Godoy W, et al. Three-dimensional analysis of performance of an upper limb functional task among adults with dyskinetic cerebral palsy. *Gait Posture.* 2014;39(3):875-81.
41. Wu G, van der Helm FC, Veeger HE, Makhsous M, Van Roy P, Anglin C, et al. ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion--Part II: shoulder, elbow, wrist and hand. *J Biomech.* 2005;38(5):981-92.
42. Weir JP. Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. *J Strength Cond Res.* 2005;19(1):231-40.

43. Cicchetti DV, Sparrow SA. Developing criteria for establishing interrater reliability of specific items: applications to assessment of adaptive behavior. *Am J Ment Defic.* 1981;86(2):127-37.
44. McClure PW, Michener LA, Karduna AR. Shoulder function and 3-dimensional scapular kinematics in people with and without shoulder impingement syndrome. *Phys Ther.* 2006;86(8):1075-90.
45. McClure PW, Bialker J, Neff N, Williams G, Karduna A. Shoulder function and 3-dimensional kinematics in people with shoulder impingement syndrome before and after a 6-week exercise program. *Phys Ther.* 2004;84(9):832-48.
46. Fayad F, Roby-Brami A, Yazbeck C, Hanneton S, Lefevre-Colau MM, Gautheron V, et al. Three-dimensional scapular kinematics and scapulohumeral rhythm in patients with glenohumeral osteoarthritis or frozen shoulder. *J Biomech.* 2008;41(2):326-32.
47. Nicholson KF, Russo SA, Kozin SH, Zlotolow DA, Hulbert RL, Rowley KM, et al. Evaluating the acromion marker cluster as a method for measuring scapular orientation in children with brachial plexus birth palsy. *J Appl Biomech.* 2014;30(1):128-33.
48. Chang JJ, Wu TI, Wu WL, Su FC. Kinematical measure for spastic reaching in children with cerebral palsy. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2005;20(4):381-8.
49. De Baets L, Van Deun S, Monari D, Jaspers E. Three-dimensional kinematics of the scapula and trunk, and associated scapular muscle timing in individuals with stroke. *Hum Mov Sci.* 2016;48:82-90.
50. Mateo S, Roby-Brami A, Reilly KT, Rossetti Y, Collet C, Rode G. Upper limb kinematics after cervical spinal cord injury: a review. *J Neuroeng Rehabil.* 2015;12:9.
51. Janes WE, Brown JM, Essenberg JM, Engsberg JR. Development of a method for analyzing three-dimensional scapula kinematics. *Hand (N Y).* 2012;7(4):400-6.
52. Bourne DA, Choo AM, Regan WD, MacIntyre DL, Oxland TR. Three-dimensional rotation of the scapula during functional movements: an in vivo study in healthy volunteers. *J Shoulder Elbow Surg.* 2007;16(2):150-62.
53. Warner MB, Chappell PH, Stokes MJ. Measurement of dynamic scapular kinematics using an acromion marker cluster to minimize skin movement artifact. *J Vis Exp.* 2015(96):e51717.
54. van Andel C, van Hutten K, Eversdijk M, Veeger D, Harlaar J. Recording scapular motion using an acromion marker cluster. *Gait Posture.* 2009;29(1):123-8.
55. da Costa BR, Armijo-Olivo S, Gadotti I, Warren S, Reid DC, Magee DJ. Reliability of scapular positioning measurement procedure using the palpation meter (PALM). *Physiotherapy.* 2010;96(1):59-67.
56. Jaspers E, Feys H, Bruyninckx H, Harlaar J, Molenaers G, Desloovere K. Upper limb kinematics: development and reliability of a clinical protocol for children. *Gait Posture.* 2011;33(2):279-85.

57. Seth A, Matias R, Veloso AP, Delp SL. A Biomechanical Model of the Scapulothoracic Joint to Accurately Capture Scapular Kinematics during Shoulder Movements. *PLoS One*. 2016;11(1):e0141028.
58. MacLean KF, Chopp JN, Grewal TJ, Picco BR, Dickerson CR. Three-dimensional comparison of static and dynamic scapular motion tracking techniques. *J Electromyogr Kinesiol*. 2014;24(1):65-71.
59. Deng HR, Shih YF. Test validity and intra-rater reliability in the measurement of scapular position sense in asymptomatic young adults. *Man Ther*. 2015;20(3):503-7.
60. Avila MA, Camargo PR, Ribeiro IL, Zamuner AR, Salvini TF. Three-dimensional scapular motion during arm elevation is altered in women with fibromyalgia. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2014;29(7):815-21.
61. Lawrence RL, Braman JP, Laprade RF, Ludewig PM. Comparison of 3-dimensional shoulder complex kinematics in individuals with and without shoulder pain, part 1: sternoclavicular, acromioclavicular, and scapulothoracic joints. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2014;44(9):636-45, a1-8.
62. Lovern B, Stroud LA, Evans RO, Evans SL, Holt CA. Dynamic tracking of the scapula using skin-mounted markers. *Proc Inst Mech Eng H*. 2009;223(7):823-31.
63. Thigpen CA, Gross MT, Karas SG, Garrett WE, Yu B. The repeatability of scapular rotations across three planes of humeral elevation. *Res Sports Med*. 2005;13(3):181-98.
64. Roy JS, Moffet H, Hebert LJ, St-Vincent G, McFadyen BJ. The reliability of three-dimensional scapular attitudes in healthy people and people with shoulder impingement syndrome. *BMC Musculoskelet Disord*. 2007;8:49.
65. Scibek JS, Carcia CR. Validation and repeatability of a shoulder biomechanics data collection methodology and instrumentation. *J Appl Biomech*. 2013;29(5):609-15.
66. Fernandes R, Armada-da-Silva P, Pool-Goudaazward A, Moniz-Pereira V, Veloso AP. Three dimensional multi-segmental trunk kinematics and kinetics during gait: Test-retest reliability and minimal detectable change. *Gait Posture*. 2016;46:18-25.
67. Sinclair J, Hebron J, Taylor PJ. The influence of tester experience on the reliability of 3D kinematic information during running. *Gait Posture*. 2014;40(4):707-11.
68. Leigh RJ, Pohl MB, Ferber R. Does tester experience influence the reliability with which 3D gait kinematics are collected in healthy adults? *Phys Ther Sport*. 2014;15(2):112-6.
69. Prinold JA, Shaheen AF, Bull AM. Skin-fixed scapula trackers: a comparison of two dynamic methods across a range of calibration positions. *J Biomech*. 2011;44(10):2004-7.

## 6 Anexos

## Anexo 1

# Reprodutibilidade da cinemática da escápula, úmero e tronco em adultos saudáveis, comparando as avaliações entre avaliadores experiente e inexperiente

## Introdução

Alterações biomecânicas do complexo articular do ombro podem causar inúmeras condições de lesão do sistema músculo esquelético e neuromuscular, que resultam em prejuízos funcionais a todo o membro superior incapacitando os indivíduos em suas atividades de vida diária. Nas últimas décadas muitos pesquisadores têm concentrado suas atenções para o desenvolvimento de ferramentas cada vez mais precisas para mensurar a biomecânica do membro superior, em especial do complexo articular do ombro em disfunções como a síndrome do impacto<sup>(36, 44, 45)</sup>, ombro congelado<sup>(46)</sup>, lesões do plexo braquial<sup>(47)</sup>, pacientes com sequelas de paralisia cerebral<sup>(48)</sup>, AVC<sup>(49)</sup> e lesão medular<sup>(50)</sup>. Neste contexto instrumentos de medida e avaliação precisos são fundamentais para o melhor entendimento da função e para melhor tomada de decisão clínica são necessários.

Inúmeros métodos e modelos tem sido usado para coletar dados de movimentos do complexo articular do ombro, usando dispositivos eletromagnéticos e óticos intraósseos<sup>(28)</sup>, e superficiais<sup>(51)</sup>. Apesar do esforço da Sociedade Internacional de Biomecânica em recomendar um guia para melhorar a homogeneidade das formas de coleta de dados e dos cálculos há estudos que usam<sup>(33)</sup> e outros que por necessidades específicas ou pelo tempo consumido para seguir as recomendações fazem modificações que também são aceitas<sup>(52)</sup>.

O uso de sistema óptico-eletrônico de captura dos movimentos permite capturar a cinemática da escápula utilizando marcadores colocados não

invasivamente na superfície do acrômio<sup>(53)</sup> o que facilita a mensuração do movimento e devido ao volume de captura de movimento permite capturar simultaneamente o tórax, escápula e úmero bilateralmente, inclusive o corpo todo se necessário. Os modelos usados em conjunto com os sistemas ópticos são heterogêneos: há conjuntos de marcadores como o marcador de *cluster* do acrômio (MCA)<sup>(54)</sup>, método por palpação<sup>(55)</sup>, localizador da escápula<sup>(15)</sup> e há calibrações que podem ser única <sup>(56)</sup>, dupla<sup>(26)</sup>, e até as que usam cinco calibrações<sup>(19)</sup>. Alguns estudos foram realizados afim de testar a reprodutibilidade e precisão desses métodos de aplicação e calibração, concluem que é necessária uma única calibração para elevação do braço até 90 graus, utilizando o MCA e uma segunda calibração acima de 90 graus, porém, relatam que outros métodos podem ser utilizados para fins de pesquisas <sup>(16)</sup>.

A mais recente revisão sistemática aponta lacunas importantes dentro deste contexto: dentre elas encontramos nos estudos apresentados a ausência do tronco durante a avaliação da elevação do úmero na flexão e abdução e o uso de apenas um avaliador ou de avaliadores de um mesmo grupo de pesquisas nos estudos de reprodutibilidade<sup>(16)</sup>. Sabe-se que em laboratórios clínicos de análise de movimento é frequente que a avaliação seja realizada por um avaliador e a avaliação pós tratamento nem sempre é realizada pelo mesmo avaliador. Os avaliadores podem não ter a mesma experiência na colocação dos marcadores, assim, saber se a experiência dos avaliadores pode interferir nos resultados e conseqüentemente na tomada de decisão clínica é relevante.

O objetivo deste estudo foi avaliar a reprodutibilidade da cinemática tridimensional entre avaliadores experiente e inexperiente dos segmentos do tronco, escápula e úmero, intra e inter sessões e inter-dias durante os movimentos de flexão e abdução. Nossa hipótese foi de que a reprodutibilidade do avaliador experiente seja melhor que a do avaliador inexperiente inter-sessões e inter-dias.

## **Métodos**



## **Participantes**

Para este estudo foram recrutados 10 homens e 10 mulheres saudáveis, todos com dominância de membro superior direito, com idade média de 25.1 (1.1) anos; peso 65,6 (2,0) Kg; altura 1,70 (0,2) cm; IMC 22,53 (0,4) Kg/cm<sup>2</sup> na comunidade local por convite verbal. A presente pesquisa foi submetida e aprovada pelo Comitê de Ética e Pesquisa da Universidade Nove de Julho. Foram excluídos participantes que apresentassem dor ou instabilidade articular do ombro, sintomas relacionados às afecções da coluna cervical ou lombar, distúrbios psiquiátricos, psicológicos e desordens neurológicas, evidente redução da amplitude de movimento menor que 120°, estivesse sob efeito de medicamentos psicoterapêuticos e que apresentassem 3 ou mais resultados positivos nos testes clínicos<sup>(39)</sup>, e qualquer tipo de comprometimento neurológico ou ortopédico.

## **Procedimentos e Instrumentação**

Cada voluntário participou de 6 sessões de testes, com intervalo de dois dias entre as sessões. Dois examinadores independentes, um com experiência de aproximadamente 4 anos de análise de movimento e colocação de marcadores e um segundo examinador sem experiência realizaram duas sessões de cada teste no primeiro dia e uma sessão no segundo dia. Para cada sessão (intra-dia), 5 repetições foram realizadas para cada movimento (flexão e abdução unilateral direita que é o membro dominante), perfazendo um total de 10 movimentos. Após um intervalo de três horas, os dados foram coletados uma vez mais. Para cada sessão os marcadores foram removidos e substituídos novamente para a próxima sessão. Os testes conduzidos após o

intervalo de 48 horas foram realizados sob as mesmas condições experimentais.

Para cada sessão de testes, doze marcadores esféricos retrorreflexivos de 14mm e quatro clusters rígidos compostos por 3 marcadores foram fixados nos voluntários e posicionados da seguinte maneira: na sétima vertebra cervical (C7), na oitava vertebra torácica (T8), no processo xifóide (CLAV), a 5cm do corpo do manúbrio do esterno (STRN), no ângulo superior (LAngS e RAngS) e inferior das escápulas (LAngI e RAngI), nos epicôndilos lateral (LELB e RELB) e medial (LELB2 e RELB2) do úmero. Dois clusters na região plana dos acrômios (LSC0, LSC1, LSC2 e RSC0, RSC1, RSC2) e outros dois clusters no terço médio dos úmeros (LUM0, LUM1, LUM2 e RUM0, RUM1, RUM2). Durante os trials dinâmicos os marcadores LAngS, RAngS, LAngI, RAngI, LELB, RELB, LELB2 e RELB2 foram removidos pois tinham como objetivo servir como referência anatômica aos clusters.

Para a captura de referência os voluntários permaneceram em posição quase estática no centro da área de captura, em pé com os braços ao longo do corpo, e antebraços supinados e flexionados à 90° durante 5 segundos para aquisição da posição das coordenadas dos marcadores e posteriormente foram obtidas mais duas capturas, utilizando um apontador, na região dos acrômios. Este procedimento foi utilizado para reconstrução dos marcadores virtuais do acrômio (LSP e RSP) em relação ao cluster do acrômio e os marcadores virtuais (LSH0, RSH0) em relação cluster do braço por meio de um apontador, uma haste de metal com dois marcadores colineares, para identificar virtualmente o marcador do acrômio<sup>(53)</sup>.

Todos os voluntários realizaram 5 repetições dos movimentos seguindo a ordem de flexão e abdução unilateral do braço, iniciando e finalizando os movimentos com os braços ao longo do corpo, em extensão, adução, os cotovelos em extensão, mãos em posição neutra, polegares e dedos em extensão. O comando dado para cada repetição do movimento foi: "Prepara, vai!", e o intervalo para cada movimento foi de 15 segundos.

Para a captura dos dados foi utilizado um sistema de 8 câmeras Vicon® (Vicon Motion System Ltd., Oxford Metrics, UK). Cada câmera foi configurada em uma frequência de 120 Hz conectadas à um computador. Neste

computador o software Vicon Nexus® (versão 1.8.5) foi usado para aquisição e processamento dos dados.

## Processamento dos dados

O processamento foi realizado por um avaliador independente, após a reconstrução e nomeação dos marcadores, os ciclos de movimentos foram definidos usando a velocidade dos marcadores LUM0 e/ou RUM0. Iniciando no sistema em que a velocidade fosse maior que 50mm/s e terminaram quando a velocidade fosse inferior a 50mm/s<sup>(40)</sup>.

Um filtro Butterworth, passa baixa de quarta ordem e frequência de corte estabelecida em 6Hz às trajetórias dos marcadores, para reduzir os ruídos devido à movimentação durante o ciclo do movimento.

O segmento do tronco foi definido pelos marcadores C7, T8, CLAV e STRN; a escápula foi definida pelos marcadores AngS, AngI e SP; e o úmero pelos marcadores ELB1, ELB2 e SHO *onde, em um 'trial' estático para a definição dos eixos e centros articulares os marcadores SHO e SP, sobre os acrômios, são coincidentes, mas terão suas coordenadas vinculadas à sistemas locais de coordenadas diferentes: úmero e escápula, respectivamente.*

No tronco foi criado um sistema local de coordenadas  $(\overset{P}{X}_t, \overset{P}{Y}_t, \overset{P}{Z}_t)$  que será empregado como referência para a medição dos movimentos relativos de dois segmentos adjacentes: escápulas e úmeros. Também, as rotações do tronco foram mensuradas em relação a um sistema global de coordenadas criado no ambiente de captura, e orientado pelo sistema de captura de movimento (Vicon Nexus) em seu processo de calibração. A coordenada de origem do tronco foi determinada pelo marcador CLAV. O primeiro eixo de coordenadas,  $\overset{P}{Y}_t$ , foi construído por um vetor orientado pelos pontos médios de dois segmentos de reta: um superior  $M1 = (CLAV + C7) / 2$  e outro inferior  $M2 = (STRN + T10) / 2$ , assim,  $\overset{P}{Y}_t = M1 - M2$ . Um vetor auxiliar:  $\overset{P}{X}_{aux}$ , foi definido pelos pontos C7 e STRN:  $\overset{P}{X}_{aux} = C7 - STRN$ . Os vetores  $\overset{P}{Y}_t$  e  $\overset{P}{X}_{aux}$  definem o plano sagital do

tronco. O vetor  $\overset{P}{Z}_t$  é perpendicular ao plano sagital e tem seu sentido, em vista anterior, para a esquerda, segundo a recomendação da ISB<sup>(41)</sup>. O terceiro eixo é perpendicular aos eixos  $\overset{P}{Y}_t$  e  $\overset{P}{Z}_t$ , que formam o plano frontal do tronco, e tem sentido anterior ao segmento. Posteriormente, cada vetor foi transformado em seu versor (vetor unitário). Em operações vetoriais, a sequência de operações para definição dos eixos do tronco são:

$$\begin{aligned}\overset{P}{Y}_t \times \overset{P}{X}_{aux} &\stackrel{D}{=} \overset{P}{Z}_t \\ \overset{P}{Y}_t \times \bar{\overset{P}{Z}}_t &= \overset{P}{X}_t\end{aligned}$$

Onde o eixo y foi formado pelo vetor que une os pontos médios entre os marcadores C7 e CLAV (M1) e entre os marcadores STRN e o T8. O eixo z foi orientado perpendicularmente ao plano sagital. O eixo x era perpendicular ao eixo z e o eixo y. Para definir os eixos da escápula, o eixo y foi definido no plano da escápula a partir dos marcadores ANGI e ANGS na direção superior. O eixo x era perpendicular ao plano frontal da escápula e o eixo z foi perpendicular ao eixo y e o eixo x. Para o braço o eixo y foi formado pelo vetor que une o ponto médio entre os marcadores ELB e ELB2 e SH0 superiormente. O eixo x era perpendicular ao plano frontal do braço e o eixo z foi perpendicular ao eixo y e o eixo x medialmente.

As sequências de Z-X-Y foi utilizada para descrever a orientação do tronco em relação ao sistema de coordenadas (definido como X lateral, Y anterior e Z superior), a ordem das rotações foram inclinação lateral para direita/esquerda, flexão/extensão e rotação interna/externa. Para orientar a escápula a sequência Z-X-Y foi usada e seus movimentos foram calculados em relação ao tronco. As rotações foram descritas na ordem da rotação interna/externa, para cima/baixo, e inclinação anterior/posterior.

A posição do úmero com referência ao tronco foi determinada utilizando duas sequências: Y-X-Z para flexão, sendo a primeira rotação definida do plano de abdução, o segundo foi definido do ângulo de flexão, e a terceira definido rotação interna/externa. Para a abdução do braço a sequência X-Y-Z foi aplicada, sendo a primeira rotação para a flexão, a segunda a abdução e a terceira a rotação. Para os cálculos as sequências dos ângulos de Euler foram usadas.

Os ciclos, independente do movimento foram divididos em duas fases: flexão e extensão para os movimentos de flexão unilateral e abdução e adução para os movimentos de abdução unilateral. Os movimentos de flexão, adução e rotação interna foram considerados positivos e os movimentos de extensão, abdução e rotação externa negativos.

## Estatística

A análise estatística foi realizada por um avaliador independente, e para verificar a distribuição dos dados, foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk. A reprodutibilidade da amplitude de movimento e dos valores angulares nos ângulos de 30°, 60°, 90° e 120° de flexão e abdução intra-dia (teste), inter-dias e intra-sessões (teste-reteste) para cada avaliador e inter-avaliadores foi verificada pelo coeficiente de correlação intraclassa (ICC) assim como o erro padrão de medida (SEM). Para o cálculo da reprodutibilidade relativa dos 5 movimentos realizados foi utilizado o modelo ICC<sub>2,k</sub> para as condições intra-dias e inter-dias e o modelo ICC<sub>3,k</sub> para a condição inter-avaliadores<sup>(42)</sup>. Para a análise dos resultados o seguinte critério foi utilizado: pobre=0,00-0,39, fraco=0,40-0,59, boa=0,60-0,74 e excelente=0,75-1,00<sup>(43)</sup>. O SEM foi calculado de acordo com a equação:

$$SEM = SD\sqrt{1 - ICC}$$

onde, SD é o desvio padrão dos resultados observados entre os testes realizados<sup>(42)</sup>.

## Resultados

Os valores do ICC e SEM do avaliador inexperiente e experiente dos movimentos da escápula e tronco nos ângulos de 30°, 60°, 90° e 120° de flexão e abdução do braço, estão apresentados nas Tabelas 2 e 3 e a amplitude de movimento nos gráficos 1, 2, 3 e 4.

Flexão do braço:

O avaliador inexperiente e experiente obtiveram valores do ICC intra-dia que variaram de (0,67-0,98). Os valores do erro padrão de medida SEM intra-dia variaram de 0,58° a 5,64° para o avaliador inexperiente e de 0,57° a 4,26° para o avaliador experiente.

Os valores do ICC inter-dias variaram de (0,41-0,88) para o avaliador inexperiente e (0,70-0,95) para o avaliador experiente. Os valores do erro padrão de medida SEM inter-dias do avaliador inexperiente variaram de 0,64° a 6,17° e do avaliador experiente variaram de 0,67° a 4,31°.

Abdução do braço:

O avaliador inexperiente e experiente obtiveram valores do ICC intra-dia que variaram de (0,75-0,96), e o avaliador experiente de (0,67-0,97). Os valores obtidos do erro de medida padrão SEM intra-dia do avaliador inexperiente variaram de 0,64° a 4,93°, do avaliador experiente variaram de 0,65° a 6,58°.

Os valores obtidos do ICC inter-dias do avaliador inexperiente variaram de (0,33-0,91) e do avaliador experiente variaram de (0,72-0,95). Os valores do SEM inter-dias do avaliador inexperiente variaram de 0,74° a 6,60°, do avaliador experiente variaram de 0,71° a 4,31°.

## Discussão

A cinemática tridimensional tem sido a principal técnica de pesquisa utilizada nos últimos anos para análise do movimento do complexo articular do ombro, tanto em voluntários assintomáticos <sup>(36), (57), (58), (9), (59)</sup>, como pacientes

sintomáticos <sup>(49), (29), (60), (37, 61)</sup>. As pesquisas que buscam avaliar a cinemática escapular apontam alguns aspectos a serem considerados, dentre eles a ausência de dois avaliadores com diferentes níveis de experiência para realização das coletas dos dados.

O presente estudo avaliou a reprodutibilidade intra e inter-dias de avaliadores experiente e inexperiente, dos segmentos da escápula, úmero e tronco, durante o movimento de flexão e abdução do braço à 30°, 60°, 90° e 120° de amplitude do movimento, com a hipótese de que a experiência entre avaliadores poderia influenciar nos resultados das avaliações, produzindo melhores resultados para o avaliador experiente.

Ao compararmos os resultados intra-dia dos avaliadores durante o movimento de flexão do braço foi observado de boa a excelente reprodutibilidade para os segmentos (escápula, úmero e tronco). Dentre os resultados obtidos pelo avaliador inexperiente, destacamos o ICC que apresentou boa a excelente reprodutibilidade para a rotação externa do braço [ICC (0,67-0,77); SEM (4,62°-5,64°)] e do avaliador experiente que apresentou excelente reprodutibilidade [ICC (0,81-0,84); SEM (4,01°-4,26°)], a rotação do braço é considerada um ponto crítico na análise do movimento por apresentar muita interferência dos tecidos moles<sup>(17), (62)</sup>, a priori, para este movimento os resultados são satisfatórios. Ao compararmos com o resultado obtido por Ludewig et. al. (2002) em que eles mostram um erro de até 5,7° para a rotação externa do braço, evidenciando os nossos resultados. Lopez-Pascual et. al. (2016)<sup>(23)</sup> avaliaram as rotações do braço em três diferentes sequências de rotação, com valores de SEM variando de 3,1° a 7,3°, entre as sequências de rotação.

O movimento de inclinação posterior da escápula mensurado pelo avaliador experiente apresentou boa reprodutibilidade inter-dias [ICC (0,67) SEM (2,40°)], no entanto, este resultado foi o único que apresentou menor valor quando comparado ao avaliador inexperiente.

Na avaliação intra-dia durante os movimentos de flexão do braço observamos os valores do SEM para o segmento da escápula, o avaliador inexperiente foi de 1,37° a 2,94° e do avaliador experiente de 2,11 a 3,42°, nos determinados ângulos de movimento de 30°, 60° 90° e 120°. Haik et. al (2014)<sup>(36)</sup> mostram valores de SEM entre 0,86° à 3,17°, como aceitáveis para os

movimentos escapulares, que estão de acordo com os obtidos em nosso estudo. Shaheen et. al. (2013)<sup>(15)</sup> também obtiveram resultados de SEM semelhantes aos nossos, utilizando marcadores passivos, em avaliações realizadas intra-dia. Esses resultados estão de acordo com o estudo de Karduna et. al. (2001) que validaram e compararam os métodos, de pinos ósseos e o método de marcador do acrômio, e os erros para o movimento de inclinação posterior da escápula foi até 6,6°, para rotação externa da escápula foi até 9,4° e na rotação para cima o valor foi de 6,3° para o marcador do acrômio e de 8,0° para os pinos ósseos.

Na avaliação inter-dias para o movimento de flexão do braço os valores de SEM para o segmento da escápula foi de 2,71° à 4,74° para o avaliador inexperiente e de 1,96° à 4,31° para o avaliador experiente, esses já se mostraram melhores quando comparados a Haik et. al. (2014)<sup>(36)</sup> 3,37° à 6,79°. Warner et. al. (2015)<sup>(53)</sup> relatam que o erro para os movimentos escapulares utilizando o método de marcador do acrômio durante a flexão do braço foram de 7,3° na rotação interna, 3,1° na rotação para cima e 2,3° na inclinação posterior, sendo assim, os nossos resultados se encontram abaixo dos obtidos nos outros estudos.

Os movimentos escapulares avaliados por Thigpen et. al. (2005)<sup>(63)</sup> em todos os planos de movimentos, os erros de medida variaram de 4,27° a 6,65° inter-dias, enquanto os nossos apresentaram erros menores para ambos os avaliadores. Já os valores de ICC variaram de (0,68-0,88) no estudo de Thigpen<sup>(63)</sup>, enquanto os nossos variaram de (0,46-0,83) para o avaliador inexperiente e de (0,72-0,88) para o avaliador experiente, evidenciando a reprodutibilidade do método utilizado.

A avaliação inter-dias evidencia fraca reprodutibilidade do avaliador inexperiente durante a flexão do braço para os movimentos de abdução da escápula e rotação interna do braço em todos os ângulos estudados e para a inclinação posterior da escápula à 30°. Os demais movimentos dos segmentos, seja para o avaliador inexperiente ou experiente apresentaram de boa a excelente reprodutibilidade, porém os valores do SEM foram em sua maioria menores para o avaliador experiente.

Durante a avaliação intra-dia do movimento de abdução do braço os avaliadores inexperiente e experiente apresentaram excelente reprodutibilidade



exceto o avaliador experiente que apresentou boa reprodutibilidade para a rotação externa do braço. Já os movimentos do tronco mensurados pelo avaliador inexperiente demonstraram fraca reprodutibilidade a 30°, 60° e 90°, enquanto o avaliador experiente apresentou excelentes resultados para todos os movimentos e ângulos estudados. Nagai et. al. (2013)<sup>(24)</sup> apresentaram os valores do ICC (0,94-0,99) como sendo excelente, para rotação para cima, rotação interna e inclinação posterior da escápula, em diferentes posições do tronco, e o SEM variou de 0,5° a 4,0°, estando dentro dos valores por nós obtidos.

Inter-dias o avaliador inexperiente apresentou durante a abdução do braço fraca reprodutibilidade para abdução da escápula a 30° e 60° e pobre a 90° e 120°; para posteriorização apresentou fraca reprodutibilidade a 30° e 60°.

Demonstrou ainda fraca reprodutibilidade para a flexão e rotação externa do braço, com exceção da flexão a 30° que apresentou boa reprodutibilidade e pobre a 90°. Os movimentos do tronco apresentaram fraca reprodutibilidade para a rotação a 30° e 60° e inclinação do tronco a 30°, enquanto os demais movimentos apresentaram de boa a excelente reprodutibilidade. Em contrapartida, o avaliador experiente apresentou excelente reprodutibilidade para os movimentos do braço, e de boa a excelente para os movimentos do tronco.

Os resultados apresentados neste estudo corroboram aos encontrados na literatura, pois em linhas gerais demonstram boa reprodutibilidade da cinemática do cingulo do membro superior, em especial da escápula<sup>(53)</sup>, <sup>(64)</sup>, braço<sup>(65)</sup>, <sup>(23)</sup> e tronco<sup>(66)</sup>, <sup>(24)</sup>. No entanto, é inovador quando avalia concomitantemente o tronco, escápula e braço e compara um avaliador inexperiente e um avaliador experiente. Reforça ainda a necessidade de se treinar a colocação dos marcadores<sup>(67)</sup>, principalmente quando as avaliações são realizadas em dias diferentes, pois quando realizadas no mesmo dia a diferença não é importante do ponto de vista da experiência. Apesar de encontrarmos exceções que demonstram que a experiência não deve ser levada em conta no momento da avaliação cinemática<sup>(68)</sup>.

Este cenário pode tomar grandes proporções quando o indivíduo é avaliado antes e após um procedimento de reabilitação clínica ou cirúrgico. Apesar de não termos avaliados pacientes, acreditamos que estes resultados podem ser

semelhantes em indivíduos com disfunção do cingulo do membro superior como descrito anteriormente<sup>(36)</sup>.

O uso de mais de uma calibração para a avaliação da escápula é considerado mais reprodutível quando comparado à apenas uma calibração<sup>(19)</sup>, <sup>(69)</sup>, <sup>(26)</sup>. Assim, a ausência de mais calibrações é uma limitação deste estudo e poderia ter melhorado os resultados aqui apresentados. Faz-se necessário ainda testes em atividades funcionais para verificar se a reprodutibilidade aqui demonstrada será mantida associada a outros movimentos.

## **Conclusão**

O presente estudo mostrou que a experiência do avaliador produz resultados diferentes para avaliar a cinemática do cingulo do membro superior em indivíduos saudáveis. O avaliador experiente apresentou melhor reprodutibilidade inter e intra-dias quando comparado à um avaliador inexperiente e esta diferença foi mais evidente inter-dias.

## Anexo 2 - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Nome:

\_\_\_\_\_

Endereço: \_\_\_\_\_

Cidade: \_\_\_\_\_ CEP: \_\_\_\_\_

Telefone: \_\_\_\_\_

E-mail: \_\_\_\_\_

As Informações contidas neste prontuário foram fornecidas por **Diogo Henrique Magalhães Gonçalves** (Aluno do Curso de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação da Universidade Nove de Julho - UNINOVE), objetivando firmar acordo escrito mediante o qual, o participante da pesquisa autoriza sua participação com pleno conhecimento da natureza dos procedimentos e riscos a que se submeterá, com a capacidade de livre arbítrio e sem qualquer coação. **I - Dados de identificação do Projeto**

Título do Projeto: Reprodutibilidade da cinemática do complexo articular do ombro para avaliação dos movimentos escapulotorácico e escapuloumeral. em voluntários saudáveis.

Pesquisador Responsável: Diogo Henrique Magalhães Gonçalves.

Instituição a que pertence o Pesquisador Responsável: UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO (UNINOVE)

Telefone para contato: (11) 3385-9122.

## II - Identificação do voluntário:

Nome \_\_\_\_\_.

Identidade (R.G.) \_\_\_\_\_ Telefone: \_\_\_\_\_.

Sexo \_\_\_\_\_ Data de nascimento \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

Endereço \_\_\_\_\_.

Cidade \_\_\_\_\_ Estado \_\_\_\_\_.

## Pesquisador Responsável:

Diogo Henrique Magalhães Gonçalves.

Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação, Universidade Nove de Julho.

Rua Vergueiro, 235 – Liberdade.

São Paulo – SP.

Tel. (11) 3385-9122.

Você está sendo convidado a participar do projeto de pesquisa “REPRODUTIBILIDADE DA CINEMÁTICA DO COMPLEXO ARTICULAR DO OMBRO PARA AVALIAÇÃO DOS MOVIMENTOS ESCAPULOTORÁCICO E ESCAPULOUMERAL. EM VOLUNTÁRIOS SAUDÁVEIS.”, de responsabilidade do pesquisador Paulo Roberto Garcia Lucareli.

## III - Informações sobre a pesquisa:

**Justificativa:** O presente estudo se justifica em, avaliar a reprodutibilidade de um modelo de avaliação do movimento da articulação do ombro. Desenvolver

um melhor método de avaliação da escápula, devido a sua importância para os pacientes e relevância clínica nos tratamentos de diversas lesões, e porque não há um modelo clínico reprodutível e confiável, que possa ser utilizado em laboratórios de pesquisa e hospitais.

**1. Objetivos:** Avaliar a reprodutibilidade do movimento da articulação do ombro e escápula nos movimentos de elevação do braço para frente e para o lado em voluntários saudáveis e reproduzi-la entre os avaliadores e entre as sessões de coleta (do mesmo dia, após horas e quarenta e oito horas).

**Métodos a serem utilizados:** Voluntários com idade entre 18 e 40 anos, que não apresentem dor articular no ombro, lesões prévias a 6 meses ou esteja realizando qualquer tipo de tratamento que possa comprometer a avaliação. A mobilidade ativa de elevação do ombro deve ter ao menos 120°, sem apresentar queixas, e com no mínimo 3 dos testes clínicos negativos para lesões em estruturas da articulação. Serão excluídos todos os voluntários que apresentarem dor, instabilidade articular no ombro, ou sintomas relacionados às afecções da coluna cervical ou lombar.

Os voluntários incluídos na pesquisa ao chegarem ao laboratório, serão avaliados por dois fisioterapeutas colaboradores e experientes, com especialização na área de ortopedia, e posteriormente submetidos ao preenchimento de uma ficha de avaliação com dados pessoais tais como nome, idade, data de nascimento e telefone. Todos os voluntários do sexo feminino utilizarão *top* e os do sexo masculino permaneceram sem camiseta para a colocação e leitura dos marcadores pelas câmeras. A pele será limpa com algodão embebido em álcool 70% para melhor fixação dos marcadores. Após a colocação dos marcadores cada voluntário será submetido a 6 sessões de análise do movimento: sendo realizada 3 por cada avaliador, onde cada avaliador realizará 2 sessões com intervalo de aproximadamente 1 hora entre cada e uma coleta novamente após 48 horas. O voluntário será posicionado em pé com o cotovelo dobrado a 90° e com as palmas das mãos para cima, no centro da área de coleta, permanecendo quase estático durante 5 segundos para captura dos marcadores, cada avaliação tem duração de 20 minutos, no primeiro dia o tempo total de permanência no laboratório será de 1 hora e 40

minutos (duas avaliações) e no segundo dia de avaliação será de 20 minutos (uma avaliação).

**2. Desconforto ou Riscos Esperados:** O modelo de avaliação pode gerar desconforto muscular leve.

**3. Informações:** Em caso de eventuais dúvidas sobre os procedimentos, riscos, benefícios e outros assuntos relacionados com a pesquisa, o voluntário deverá consultar o responsável deste estudo para os devidos esclarecimentos. A participação é voluntária e este consentimento poderá ser retirado a qualquer tempo, sem nenhum tipo de penalização ao voluntário.

**4. Aspecto Legal:** Este estudo foi elaborado de acordo com as diretrizes e normas regulamentadas de pesquisa envolvendo seres humanos atendendo à Resolução N. 196, de 10 de outubro de 1996, do Conselho Nacional de Saúde do Ministério de Saúde – Brasília – DF.

**5. Garantia do Sigilo:** Serão utilizados apenas os dados referentes à avaliação, bem como imagens (não revelando a identidade do voluntário), porém, sempre respeitando a confidencialidade das informações geradas e a privacidade do voluntário na pesquisa.

**6. Formas de Ressarcimento das Despesas decorrentes da Participação na Pesquisa:** O estudo não inclui qualquer despesa ou bônus ao participante.

**Local da Pesquisa:** O presente estudo será realizado no Laboratório Integrado de Análise de Movimento do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação, da Universidade Nove de Julho, localizada na Rua Maria José Barone Fernandes, nº 300, 1º Andar – Vila Maria, São Paulo – SP, CEP 02117-020. Tel.: (11) 2633-9301/9302. Endereço do Comitê de Ética em Pesquisa da Uninove: Rua Vergueiro, nº 235/249 3º subsolo – Liberdade, em São Paulo – SP. CEP: 01504-001 / Tel.: 3385-9197.

**7. Telefones dos Pesquisadores para Contato:** Diogo Henrique Magalhães Gonçalves (12) 98224-7634 e Paulo Roberto Garcia Lucareli (11) 3385-9122.

#### **IV – Consentimento pós-informado**

Eu, \_\_\_\_\_, portador da  
Carteira de identidade nº. \_\_\_\_\_ expedida pelo  
Órgão \_\_\_\_\_, por me considerar devidamente informado (a)  
e esclarecido (a) sobre o conteúdo deste termo e da pesquisa a ser  
desenvolvida, livremente expresse meu consentimento para inclusão, como  
voluntário da pesquisa.

São Paulo, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Voluntário  
Pesquisador Responsável

Diogo Henrique Magalhães Gonçalves

### Anexo 3 - PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

#### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** Reprodutibilidade da cinemática do complexo articular do ombro para avaliação do ritmo escapulotorácico e escapuloumeral, em indivíduos saudáveis.

**Pesquisador:** Diogo Henrique Magalhães Gonçalves

**Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 52819116.5.0000.5511

**Instituição Proponente:** ASSOCIACAO EDUCACIONAL  
NOVE DE JULHO

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

**DADOS DO  
PARECER**

**Número do**

**Parecer:**

1.440.878

**Apresentação do Projeto:**

A cinemática estuda os movimentos, sem levar suas forças em consideração, os estudos realizados da cinemática escapular utilizam um sistema tridimensional (3D). Diversas pesquisas têm sido feitas na tentativa de reproduzir os movimentos escapulares: inclinação anterior e posterior, rotação interna e externa, rotação para cima e para baixo, com marcadores de superfície sobre a pele. Porém as melhores evidências encontradas nos estudos são reproduzidas com marcadores intraósseos, que consiste de uma técnica invasiva e de baixa viabilidade. Quando um novo modelo de pesquisa é proposto deve-se primeiramente testar e validar a sua reprodutibilidade, para que dessa forma o mesmo possa ser reproduzido inter e intra-avaliadores. O estudo apresentado é de corte transversal, e visa avaliar a reprodutibilidade da cinemática do complexo articular do ombro (ritmo escapulotorácico e escapuloumeral), através do sistema de análise cinemática tridimensional, aplicando marcadores retrorreflexivos de superfície sobre a pele, para que as imagens possam ser captadas através de sistema de 8 câmeras.

**Objetivo da Pesquisa:**

Objetivo Primário:

Avaliar a reprodutibilidade da cinemática do complexo articular do ombro nos movimentos de flexão e abdução do ombro em indivíduos saudáveis.



Objetivo Secundário: Avaliar a reprodutibilidade da cinemática da escápula, braço e tronco nos movimentos de flexão e abdução do ombro uni e bilateralmente, entre os avaliadores e entre as sessões de coleta (do mesmo dia, após duas horas e depois de quarenta e oito horas).

**Avaliação dos Riscos e Benefícios:** Este estudo se justifica, pois propõe uma análise da reprodutibilidade de um modelo de avaliação cinemática tridimensional do complexo articular do ombro, avaliando possíveis diferenças entre avaliadores e sessões de avaliações. Que seja de nosso conhecimento até o momento, o uso da cinemática tridimensional por meio de câmeras e marcadores passivos não é consenso na literatura e pode ser de importância experimental e clínica para a compreensão do movimento humano e para a prática clínica. Desconforto ou Riscos Esperados: O modelo de avaliação pode gerar desconforto muscular leve.

**Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

O modelo a ser estudado mostra-se reprodutível e factível para o modelo proposto, porém ainda há a necessidade de melhor descrição dos critérios de inclusão e exclusão no projeto de pesquisa. Não ficou claro o motivo de descrever métodos nos critérios de inclusão. A mesma observação faz-se nos critérios de exclusão. Sugiro inserir em tópicos, se possível.

O cronograma de execução foi adequado, conforme solicitação do Comitê de Ética em Pesquisa.

**Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

O TCLE foi adequado segundo as solicitações - ajustada a linguagem de escrita e inserido o tempo a ser gasto nas avaliações.

**Recomendações:**

Critérios de inclusão e exclusão estão de acordo com a proposta do estudo.

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

Sem pendências.

**Considerações Finais a critério do CEP:**

**Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:**

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_592180.pdf	16/02/2016 15:10:10		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Mestrado.doc	16/02/2016 15:08:45	Diogo Henrique Magalhães Gonçalves	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	Termo_de_Consentimento_Livre_e_Esclarecido.pdf	16/02/2016 15:06:40	Diogo Henrique Magalhães Gonçalves	Aceito
Folha de Rosto	digitalizar0001.pdf	25/01/2016 11:17:38	Diogo Henrique Magalhães Gonçalves	Aceito

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

SAO PAULO, 07 de Março de 2016

---

**Assinado por:**  
**Stella Regina Zamuner**  
**(Coordenador)**

**De:** ees.bm.0.367f8b.7dc55eba@eesmail.elsevier.com  
<ees.bm.0.367f8b.7dc55eba@eesmail.elsevier.com> em nome de Journal of Biomechanics  
<ees.bm.0.367f8b.7dc55eba@eesmail.elsevier.com>  
**Enviado:** sexta-feira, 8 de janeiro de 2017 18:20  
**Para:** plucareli@hotmail.com; paulolucareli@uni9.pro.br  
**Cc:**  
**Assunto:** A manuscript number has been assigned - BM-D-17-00023

Dear Prof. Lucareli,

Your submission entitled " Reproducibility of scapula, humerus and trunk kinematics in healthy adults: a comparison between experienced and inexperienced observers " has been assigned the following manuscript number: BM-D-17-00023.

You will be able to check on the progress of your paper by logging on to EES as an author.  
The URL is <http://ees.elsevier.com/bm/>.

---

## Elsevier Editorial System™

ees.elsevier.com

Full-Function Web-Enabled Manuscript Submission and Tracking System for Peer  
Review

---

Thank you for submitting your work to The Journal of Biomechanics.

Kind regards,

Raquel Redondo  
Editorial Office  
Journal of Biomechanics