

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA**

**LUCIANE FERNANDA RODRIGUES MARTINHO
FERNANDES**

**ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES
NOS PADRÕES DE PREENSÃO
PALMAR EM PIANISTAS**

Campinas
2005

**LUCIANE FERNANDA RODRIGUES MARTINHO
FERNANDES**

**ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES
NOS PADRÕES DE PREENSÃO
PALMAR EM PIANISTAS**

Tese de doutorado apresentada à Pós-Graduação da Faculdade de Educação Física da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Doutor em Educação Física.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Machado Leite de Barros

Campinas
2005

IDADE BC
 CHAMADA: T/UNICAMP
F391a
 Ed. _____
 DMBO BCI F2005
 ROC. 16145-07
 D
 PREÇO 11,00
 DATA 18/04/07
 BIB-ID 407528

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA
BIBLIOTECA FEF - UNICAMP**

F391a Fernandes, Luciane Fernanda Rodrigues Martinho.
 Análise das alterações nos padrões de preensão palmar em
 pianistas / Luciane Fernanda Rodrigues Martinho Fernandes. -
 Campinas, SP: [s.n.], 2005.

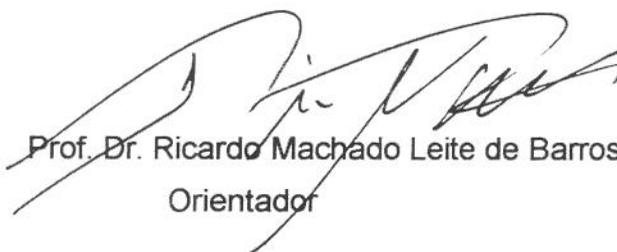
Orientador: Ricardo Machado Leite de Barros
 Tese (Doutorado) - Faculdade de Educação Física,
 Universidade Estadual de Campinas.

1. Cinemática. 2. Mão. 3. Pianistas. I. Barros, Ricardo Machado
 Leite de. II. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de
 Educação Física. III. Título.

LUCIANE FERNANDA RODRIGUES MARTINHO
FERNANDES

**ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES NOS PADRÕES DE
PREENSÃO PALMAR EM PIANISTAS**

Este exemplar corresponde à redação final da Tese de Doutorado defendida por Luciane Fernanda Rodrigues Martinho Fernandes e aprovada pela Comissão julgadora em: 24/02/2005.



Prof. Dr. Ricardo Machado Leite de Barros
Orientador

200746733

Campinas
2005

ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES NOS PADRÕES DE PREENSÃO PALMAR
PIANISTAS.

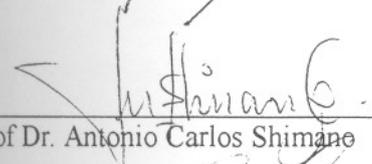
Luciane Fernanda Rodrigues Martinho Fernandes

Data da Defesa: 24/02/05

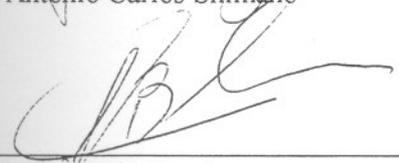
Banca examinadora



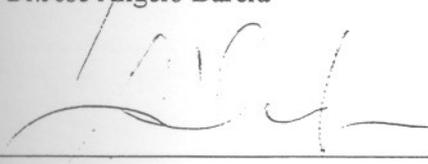
Prof Dr. Ricardo Machado Leite de Barros (orientador)



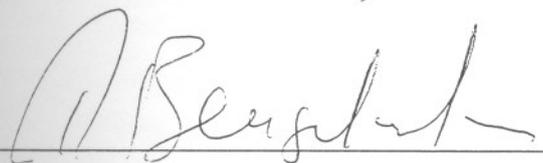
Prof Dr. Antonio Carlos Shimane



Prof Dr. José Angelo Barela



Prof Dra. Stela Márcia Mattiello Gonçalves Rosa



Prof Dr. René Brenzikofer

Dedicatória

Ao meu marido André, pelo imenso amor, paciência, incentivo e por ter compreendido a minha ausência em tantos momentos, dedico este trabalho.

Não apenas esse trabalho, mas todas as minhas conquistas profissionais são dedicadas aos meus pais e irmãos que sempre me incentivaram a lutar pelos meus sonhos.

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Ricardo Machado Leite de Barros, pela confiança e orientação.

Ao Prof. Dr. René Brenzikofer, pelo carinho e valiosos ensinamentos.

Ao Prof. Paulo Ruffino pela amizade, sugestões e colaboração no trabalho.

A minha família pelo incentivo constante e por me fazer acreditar que tudo se torna possível quando buscamos ser fiel em nossas condutas.

A D. Carmen e ao S. Durval por terem me acolhido como uma filha e a Paula pelo carinho e companheirismo.

As minhas amigas do Lib Alethéa, Luciana e Carla pelo carinho, amizade e por terem dividido comigo as angústias da pós-graduação.

Aos meus “irmãos” Tiago, Antonio e Olival pela amizade e carinho.

Aos amigos Miltinho e o Pascual pelo carinho, amizade e auxílio no trabalho.

A todos os amigos do LIB pelo convívio agradável de tantos anos.

Aos pianistas que participaram desse trabalho.

Ao meu marido André pela cumplicidade, compreensão, apoio irrestrito e, acima de tudo, amor incondicional.

À todos, que direta ou indiretamente, contribuíram para o sucesso deste trabalho.

É um agradecimento especial ao Prof. Dr. Euclides Custódio de Lima Filho pelo carinho com que me recebeu no LIB, pelos valiosos ensinamentos, por ter compartilhado comigo não somente seu vasto conhecimento profissional, mas também suas riquíssimas experiências pessoais.

“Ensinar é um exercício da imortalidade. De alguma forma continuamos a viver naqueles cujos olhos aprenderam a ver o mundo pela magia da nossa palavra. O professor, assim, não morre jamais.”

(Rubens Alves, em A alegria de ensinar)

SAUDADES...

FERNANDES, Luciane F. R. M. **Análise das alterações nos padrões de preensão palmar em pianistas.** 2005. 168f. Tese (Doutorado em Educação Física)-Faculdade de Educação Física. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo a análise quantitativa dos padrões de preensão palmar de pianistas durante a realização de tarefas em função do tipo de preensão e da velocidade de execução. Vinte e cinco voluntários (11 pianistas e 14 não pianistas) realizaram 4 tipos de tarefas com a mão direita: Preensão grossa em velocidade rápida (T1); Preensão grossa em velocidade lenta (T2); Preensão em gancho em velocidade rápida (T3) e Preensão em gancho em velocidade lenta (T4). No dorso da mão foram colocados 16 marcadores nas extremidades proximais e distais dos ossos metacarpianos e falanges proximais do 2º ao 5º dedos. Para a captura das imagens foram utilizadas quatro câmeras de vídeo digital, conectadas a quatro microcomputadores. A medição das coordenadas e a reconstrução tridimensional dos marcadores foram realizadas através do sistema “Dvideow – *Digital Vídeo for Biomechanics*”, desenvolvido no Laboratório de Instrumentação para Biomecânica da Faculdade de Educação Física da UNICAMP. Os ângulos de flexão e extensão das articulações metacarpofalangeanas foram calculados a partir da medida das coordenadas dos marcadores. Foram utilizados diagramas de fase para caracterização do padrão e da regularidade das repetições. A Análise por Componentes Principais foi utilizada para quantificar o padrão e a regularidade dos ciclos de movimento e a correlação entre as curvas dos ângulos das articulações dedos foi utilizada para avaliar sinergia dos dedos durante a tarefa. A partir dos resultados, foram observados que as diferenças mais evidentes entre os grupos controle e pianista foram identificadas na regularidade da curva para tarefa T2, através da Análise por Componentes Principais e para todas as tarefas na análise da correlação entre os ângulos das articulações metacarpofalangeanas. Na comparação entre as tarefas foram encontradas diferenças significativas entre as realizadas com a preensão grossa e gancho, em todas as análises. Através da metodologia empregada e das análises foi possível caracterizar os padrões de preensão palmar de pianistas e evidenciar diferenças entre pianistas e não pianistas.

Palavras-Chaves: Cinemática; Mão; Pianistas

FERNANDES, Luciane F. R. M. **Analysis of the prehension pattern changes in pianists.** 2005. 168f. Tese (Doutorado em Educação Física)-Faculdade de Educação Física. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

ABSTRACT

This work describes an experimental study that aimed to quantitatively analyze the palmer gripping patterns of pianists during the execution of function tasks relating to gripping and speed of execution. Twenty-five subjects (11 pianists and 14 non-pianists) carried out 4 tasks with their right hand: Gross gripping at fast speed (T1); Gross gripping at low speed (T2); Hook gripping at fast speed (T3); Hook gripping at low speed (T4). Sixteen markers were put on the dorsal surface of the hand, on the proximal and distal extremities of the metacarpian bones and proximal phalanges of the 2nd and 5th fingers. Four digital video cameras connected to two microcomputers were used to capture the images. The measurement of the coordinates and the three-dimensional reconstruction of the markers were carried out through the “Dvideow – Digital Video for Biomechanics” system, developed at the Instrumentation Laboratory for Biomechanics at the Physical Training College at UNICAMP. The flexion and extension angles of the metacarpophalangeal articulations were calculated from the measurement of the marker coordinates. The phase diagram movement cycles were used to analyze the alteration in the palmer gripping patterns in pianists. The Principal Components Analysis was used to quantify the movement patterns and the regularity of the the phase diagram movement cycles which were built from the position and angular speed curves; the correlation between the angle curves of finger joints was used to evaluate the finger synergy during the task. With these results as a starting point, it was possible to observe that the most evident differences between the control and pianist groups were identified in the regularity of the curve for the second task (T2) through the Principal Components Analysis, and for all the tasks, in the analysis of the correlation between the angles of the metacarpophalangeal joints. In the comparison between the tasks, a difference was observed among those carried out in gross and hook gripping in all the analysis. Through the methodology employed and the form of analysis, it was possible to estimate the alterations in the palmer gripping patterns of pianists and compare pianists with non-pianists.

Keywords: Kinematic; Hand; Pianists

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ossos da fileira proximal e distal do punho	32
Figura 2 – Ossos da mão	35
Figura 3 - Arco transversal proximal e arco transversal distal.....	36
Figura 4 – Arco longitudinal	36
Figura 5 – Nervos do membro superior.....	39
Figura 6 – Preensão grossa	41
Figura 7- Preensão em gancho	41
Figura 8 - Medidas antropométricas da mão	54
Figura 9 - Medida da largura da palma (LM) realizada com o paquímetro.	54
Figura 10 – Posição para o teste de força máxima.	55
Figura 11 - Partes do equipamento. A - Base do equipamento. B – Suporte da balança para acomodar as massas. C- Base de nylon para adaptação do dinamômetro. D -Massas de chumbo	56
Figura 12 - Equipamento com dinamômetro.....	56
Figura 13 – Reta da regressão linear $\hat{y} = 1,05x + 0,16$ ajustada aos pontos experimentais relativos a resposta do dinamômetro em relação a colocação das massas. $R^2 = 0,997$	57
Figura 14 - Disposição dos 16 marcadores no dorso da mão direita.....	59
Figura 15 - Identificação numérica dos marcadores no modelo.....	59
Figura 16 – Cadeira de apoio regulável para antebraço.	60
Figura 17 - Fixação do antebraço com uma faixa de neoprene no apoio da cadeira.....	60
Figura 18 - Exercitador de mãos e dedos utilizado para a realização das tarefas.....	60
Figura 19 – Posição da mão para a realização da tarefa com preensão grossa.....	62
Figura 20 – Posição da mão para a realização da tarefa com preensão em gancho.	62
Figura 21 - Disposição das câmeras (a), iluminadores (b) e computadores (c) conectados via intranet.....	63
Figura 22 - Disposição da câmera (a) e do iluminador (b).....	63

Figura 23 – Representação do ambiente da coleta dos dados com a disposição dos equipamentos: Equipamentos: a) Câmera 1; b) Câmera 2; c) Tripés das câmeras 1 e 2; d) e e) Iluminadores; f) Câmera 3; g) Câmera 4; h) Tripés das câmeras 3 e 4; i) e j) Iluminadores; l) Calibrador; m) Cadeira com apoio para o antebraço.	64
Figura 24 - Sistema de calibração.	65
Figura 25 – Representação do espaço utilizado para aquisição das imagens da mão.	65
Figura 26 - Sistema de referência: Coordenada Y de direção vertical e sentido positivo para cima, coordenada Z de direção horizontal e sentido positivo para frente e coordenada X, ortogonal aos outros dois eixos com sentido positivo da direita para a esquerda.....	66
Figura 27 – Imagens das quatro câmeras após a medição das coordenadas. 27a) Câmera 1; 27b) Câmera 2; 27c) Câmera 3; 27d) Câmera 4. A trajetória dos marcadores está representada pelos pontilhados coloridos.	69
Figura 28 – Corpo rígido em forma de cruz.	70
Figura 29 - Posição da mão durante a realização do teste estático.....	73
Figura 30 – Descrição do cálculo dos ângulos articulares. Os marcadores 1 e 5 localizados nas extremidades proximais e distais do 2º metacarpo; marcadores 9 e 13 localizados nas extremidades proximais e distais da 2ª falange proximal; θ = ângulo formado pelos vetores a e b.	75
Figura 31 – Exemplo de filtragem da curva da variação angular de flexão e extensão da articulação metacarpofalangeana do segundo dedo (filtro Butterworth).....	77
Figura 32 – Histograma da freqüência do resíduo, em relação à curva normal, para a variação angular da articulação metacarpofalangeana do 2º dedo e um voluntário durante a realização da tarefa 1.	78
Figura 33 – Posição angular, em função do tempo, da flexão e extensão da articulação metacarpofalangeana dos quatro dedos de um voluntário durante a realização da tarefa 1. .	80
Figura 34 – Identificação do ciclo de movimento a partir da curva da velocidade angular para uma repetição do 2º dedo. A curva azul representa a velocidade angular, os círculos verdes representam os instantes de maior e menor velocidades, o círculo vermelho o instante em que a velocidade é zero nesse intervalo e as cruzes pretas os instantes em que a velocidade é zero no sentido da esquerda da curva em relação a maior velocidade e no sentido da direita da curva em relação a menor velocidade.....	81

Figura 35 – Identificação dos ciclos de movimento a partir da curva da velocidade angular para as três repetições nos 4 dedos. As curvas azuis representam as três repetições da velocidade angular em cada dedo. Os círculos verdes representam os instantes de maior e menor velocidades, os círculos vermelhos os instantes em que a velocidade é zero nesse intervalo. As cruzes pretas representam os instantes em que a velocidade é zero no sentido da esquerda da curva em relação a maior velocidade e no sentido da direita da curva em relação a menor velocidade.....	82
Figura 36 – Identificação do ciclo de movimento a partir da curva da posição angular para o 2º dedo. As cruzes pretas definem o início e o final do ciclo para uma repetição.....	83
Figura 37 – Representação das três repetições de movimento, para 2º, 3º, 4º e 5º dedos de um voluntário durante a realização da tarefa 1. R1) Primeira repetição; R2) Segunda repetição; R3) Terceira repetição.	84
Figura 38 – Representação do <i>range</i> calculado pela diferença entre o maior e o menor valor dos ângulos de flexão da articulação metacarpofalangeana.....	85
Figura 39 – Representação das curvas com os maiores <i>ranges</i> entre as repetições, para cada dedo, de um voluntário, durante a realização da tarefa 1.....	86
Figura 40 – Diagrama de fase com as três repetições do movimento do 2º dedo, de um voluntário, durante a realização da tarefa 1.....	87
Figura 41 – Exemplo das variáveis obtidas do diagrama de fase. Coordenadas do vetor posição média no espaço de fase ($\bar{\theta}, \bar{\omega}$), autovetor (u), autovalores (λ_1 e λ_2) e ângulo α	90
Figura 42 – Variação do ângulo simulado para o 2º dedo.....	97
Figura 43 – Distribuição dos ângulos simulados.....	97
Figura 44 – Variação da distância simulada entre os marcadores para o 2º metacarpo.....	98
Figura 45 - Variação da distância simulada entre os marcadores para a 2ª falange proximal.....	99
Figura 46 – Variação das distâncias entre os marcadores correspondentes aos ossos metacarpo (vermelho) e falange proximal (azul), para os quatro dedos, durante a realização do teste estático, de apenas um voluntário.....	100
Figura 47 - Variação das distâncias entre os marcadores correspondentes aos ossos metacarpo (vermelho) e falange proximal (azul), para os quatro dedos, durante a realização do teste dinâmico para a tarefa 1, de apenas um voluntário.....	101

- Figura 48 – Distribuição dos valores da acurácia para o 2º metacarpo. T1= tarefa 1; T2=tarefa 2; T3=tarefa 3; T4 = tarefa 4; Es=estático..... 102
- Figura 49 - Boxplot da força de preensão palmar (HC= homens controle, HP = homens pianistas, MC= mulheres controle e MP = mulheres pianistas). 105
- Figura 50 – Boxplot dos valores do *range* máximo do 2º, 3º, 4º e 5º dedos de todos os voluntários durante a realização das quatro tarefas. D2C=Dedo 2 do grupo controle, D2P=Dedo2 do grupo pianista, D3C=Dedo 3 do grupo controle, D3P=Dedo3 do grupo pianista, D4C=Dedo 4 do grupo controle, D4P=Dedo4 do grupo pianista, D5C=Dedo 5 do grupo controle, D5P=Dedo5 do grupo pianista..... 107
- Figura 51 – Boxplot das tarefas comparando os grupos controle e pianista, com os valores dos ranges sem separar os dedos. (T1C = tarefa 1 controle, T1P = tarefa 1 pianista, T2C = tarefa 2 controle, T2P = tarefa 2 pianista, T3C = tarefa 3 controle, T3P = tarefa 3 pianista, T4C = tarefa 4 controle, T4P = tarefa 4 pianista). 108
- Figura 52 - Um exemplo da curva da posição e velocidade angular das três repetições de movimento, de um voluntário do grupo controle, durante a tarefa 1. 110
- Figura 53 - Diagramas de fase para os homens do grupo controle (n=7) e para os homens do grupo pianista (n=5). T1C = tarefa 1 - grupo controle ; T1P = tarefa 1 - grupo pianista; T12C = tarefa 2 - grupo controle ; T2P = tarefa 2 - grupo pianista; T3C = tarefa 3 - grupo controle ; T3P = tarefa 3 - grupo pianista; T4C = tarefa 4 - grupo controle ; T4P = tarefa 4 - grupo pianista. Grupo controle (n=7); Grupo pianista (n=5)..... 112
- Figura 54 - Diagramas de fase para as mulheres do grupo controle (n=7) e para as mulheres do grupo pianista (n=6). T1C = tarefa 1 - grupo controle ; T1P = tarefa 1 - grupo pianista; T12C = tarefa 2 - grupo controle ; T2P = tarefa 2 - grupo pianista; T3C = tarefa 3 - grupo controle ; T3P = tarefa 3 - grupo pianista; T4C = tarefa 4 - grupo controle ; T4P = tarefa 4 - grupo pianista. Grupo controle (n=7); Grupo pianista (n=6)..... 113
- Figura 55 – Comparação da variável média da posição angular ($\bar{\theta}$) entre os grupos controle e pianista..... 115
- Figura 56 – Comparação da variável diferença entre os autovalores ($\Delta\lambda_1$), entre os grupos controle e pianista..... 117
- Figura 57 – Variabilidade dos valores da média da posição angular ($\bar{\theta}$ - Teta), média da velocidade angular ($\bar{\omega}$ - Omega), da média dos autovalores normalizados ($\bar{\lambda}$ - Percentual-

Lambda) e da média dos ângulos entre a direção correspondente a primeira componente o eixo da abscissa ($\bar{\alpha}$ -Alfa), para os todos os voluntários do grupo controle e do grupo pianista.....	119
Figura 58 – Variabilidade dos valores da diferença entre as normas dos vetores que representam a posição média (DifNorma), da diferença entre os autovalores (d λ -Percentual Lambda), a diferença entre o maior e o menor valor da variabilidade em relação a primeira componente ($\Delta\lambda_1$ -Dif Lambda) e do desvio padrão da diferença entre todas as combinações dos três ângulos (DPAIfa).....	120
Figura 59 – Boxplot dos valores das correlações comparando as tarefas entre os grupos controle e pianista T1C = tarefa 1 para todos os voluntários do grupo controle (n=14), T1P = tarefa 1 para todos os voluntários do grupo pianista (n=11), T2C = tarefa 2 para todos os voluntários do grupo controle (n=14), T2P = tarefa 2 para todos os voluntários do grupo pianista (n=11), T3C = tarefa 3 para todos os voluntários do grupo controle (n=14), T3P = tarefa 1 para todos os voluntários do grupo pianista (n=11), T4C = tarefa 4 para todos os voluntários do grupo controle (n=14), T4P = tarefa 4 para todos os voluntários do grupo grupo pianista (n=11).	121
Figura 60 – Boxplot das correlações separando as combinações e comparando os grupos controle e pianista. C = Controle e P = Pianista; 2x3 =correlações entre o 2° e o 3° dedos, 3x4 =correlações entre o 3° e o 4° dedos, 4x5 =correlações entre o 4° e o 5° dedos, 2x4 =correlações entre o 2° e o 4° dedos, 3x5 =correlações entre o 3° e o 5° dedos, 2x5 =correlações entre o 2° e o 5° dedos).....	122
Figura 61 - Diagrama de fase para os homens do grupo controle – Dedo 3	163
Figura 62 - Diagrama de fase para os homens do grupo controle – 4° dedo	164
Figura 63 - Diagrama de fase para os homens do grupo controle – 5° dedo	165
Figura 64 - Diagrama de fase para os homens do grupo pianista – 3° dedo.....	166
Figura 65 - Diagrama de fase para os homens do grupo pianista – Dedo 4	167
Figura 66 - Diagrama de fase para os homens do grupo pianista – Dedo 5	168
Figura 67 - Diagrama de fase para as mulheres do grupo controle – 3° dedo	169
Figura 68 - Diagrama de fase paramulheres do grupo controle – Dedo 4.....	170
Figura 69 - Diagrama de fase para as mulheres do grupo controle – Dedo 5	171
Figura 70 - Diagrama de fase para as mulheres do grupo pianista – 3° dedo.....	172

Figura 71 Diagrama de fase para as mulheres do grupo pianista – Dedo 4	173
Figura 72 - Diagrama de fase para as mulheres do grupo pianista – Dedo 5	174
Figura 73 Componentes principais dos diagramas de fase para o 2º dedo de todos os voluntários durante a realização da tarefa 1	175

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Músculos da mão e dos dedos	38
Quadro 2 -	Músculos intrínsecos da mão	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores médios e desvios padrões das características gerais dos voluntários.....	52
Tabela 2 – Dados da leitura do dinamômetro em relação as massas colocadas na balança.....	56
Tabela 3 - Valores da precisão, <i>bias</i> e acurácia do teste do corpo rígido.....	95
Tabela 4 – Valores dos ângulos das articulações metacarpofalangeanas (graus) obtidos pela simulação dos erros do sistema	96
Tabela 5 - Valores das distâncias (mm) entre dois marcadores dos metacarpos obtidos pela simulação dos erros do sistema	98
Tabela 6 - Valores das distâncias (mm) entre dois marcadores das falanges proximais obtidos pela simulação dos erros do sistema.....	99
Tabela 7 – Valores médios e desvios padrões das medidas antropométricas da mão direita.....	103
Tabela 8 – Valores de <i>p</i> para as medidas antropométricas.....	103
Tabela 9 - Valores médios e desvios padrões das medidas de força isométrica de preensão palmar	104
Tabela 10 – Valores da correlação entre as medidas antropométricas e medidas de força entre os grupos	106
Tabela 11 – Valores de <i>p</i> para comparação entre os grupos e entre as tarefas para os homens..	109
Tabela 12 – Tarefas que apresentaram diferenças significativas para os grupos controle e pianista.....	109
Tabela 13 – Valores de <i>F</i> e <i>p</i> para as variáveis do vetor caracterização de padrão comparadas entre os grupos.....	115
Tabela 14 - Valores de <i>F</i> e <i>p</i> para as variáveis do vetor caracterização de padrão comparadas entre as tarefas	116
Tabela 15 - Tarefas que apresentaram diferenças significativas para os grupos controle e pianista, no vetor caracterização do padrão.	116
Tabela 16 – Valores de <i>F</i> e <i>p</i> para as variáveis do vetor regularidade comparadas entre os grupos	117
Tabela 17 - Valores de <i>F</i> e <i>p</i> para as variáveis do vetor regularidade comparadas entre as tarefas	118

Tabela 18 - Tarefas que apresentaram diferenças significativas para os grupos controle e pianista, no vetor regularidade.....	118
Tabela 19 – Valores de p para a ANOVA das correlações entre os dedos durante a realização das tarefas	123
Tabela 20 – Valores de p para comparação entre os grupos e entre as tarefas para os homens..	123
Tabela 21 - Valores médios e desvio padrão (mm) comparando os métodos estático e dinâmico para apenas um voluntário.....	160
Tabela 22 –Valores médios e desvios dos <i>ranges</i> máximos da articulação metacarpofalangeana do 2º dedo durante as tarefas 1, 2, 3 e 4.....	161
Tabela 23 – Valores médios e desvios padrões dos <i>ranges</i> máximos da articulação metacarpofalangeana do 3º dedo durante as tarefas 1, 2, 3 e 4.....	161
Tabela 24- Valores médios e desvios padrões dos <i>ranges</i> máximos da articulação metacarpofalangeana do 4º dedo durante as tarefas 1, 2, 3 e 4.....	161
Tabela 25 - Valores médios e desvios padrões da amplitude angular máxima da articulação metacarpofalangeana do 5º dedo durante as tarefas 1, 2, 3 e 4.....	162

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACP	Análise dos Componentes Principais
CD	Comprimento do dedo indicador
CM	Circunferência da mão
CP	Circunferência da palma
DIR	Medida direta
EP	Espessura da palma
EST	Medida Estática
FEF	Faculdade de Educação Física
HC	Homens do grupo controle
HP	Homens do grupo pianista
IFD	Articulação interfalangeana distal
IFP	Articulação interfalangeana proximal
LM	Largura da mão
LP	Largura da palma
MC	Mulheres do grupo controle
MP	Mulheres do grupo pianista
MTC-F	Articulação metacarpofalangeana
O	Vetor posição média (origem)
\bar{P}	Vetor caracterização de padrão
\bar{R}	Vetor regularidade
T1	Tarefa realizada com preensão grossa em velocidade rápida
T2	Tarefa realizada com preensão grossa em velocidade lenta
T3	Tarefa realizada com preensão em gancho em velocidade rápida
T4	Tarefa realizada com preensão em gancho em velocidade lenta
T1C	Tarefa 1, grupo controle
T1P	Tarefa 1, grupo pianista
T2C	Tarefa 2, grupo controle
T2P	Tarefa 2, grupo pianista
T3C	Tarefa 3, grupo controle

T3P	Tarefa 3, grupo pianista
T4C	Tarefa 4, grupo controle
T4P	Tarefa 4, grupo pianista
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
VCP	Vetor caracterização de padrão
VReg	Vetor regularidade
o	Vetor posição média no espetro de fase ou origem
θ	Posição angular
$\bar{\theta}$	Posição angular média
ω	Velocidade angular
$\bar{\omega}$	Velocidade angular média
λ	Autovalor normalizado em função da variabilidade total (%)
λ_1	Variabilidade (em valores absolutos) em relação a primeira componente
$\bar{\lambda}$	Média dos autovalores normalizados
$\bar{\lambda}_1$	Média da variabilidade em relação a primeira componente
α	Ângulo entre a direção correspondente a primeira componente de cada repetição e o eixo da abscissa
$\bar{\alpha}$	Média do ângulo entre a direção correspondente a primeira componente de cada repetição e o eixo da abscissa
ΔO	Diferença entre as normas dos vetores
$\Delta \lambda$	Diferença entre os autovalores normalizados
$\Delta \lambda_1$	Diferença entre o maior e o menor da variabilidade em relação a primeira componente
$\Delta \alpha$	Desvio padrão da diferença entre todas as combinações dos 3 ângulos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	23
2 OBJETIVOS	27
2.1 OBJETIVO GERAL	27
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
3 PUBLICAÇÕES	29
4 REVISÃO DE LITERATURA	31
4.1 ASPECTOS ANATÔMICOS E BIOMECÂNICOS DO PUNHO E DA MÃO	31
4.2 A FUNÇÃO DA MÃO	40
4.3 ALTERAÇÕES DOS PADRÕES DE PREENSÃO	43
4.4 MÉTODOS DE MEDIÇÃO DA PREENSÃO	44
4.5 MÉTODOS DE ANÁLISE DA PREENSÃO	44
4.6 ANÁLISES DA TÉCNICA PIANÍSTICA	48
5 METODOLOGIA	51
5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS VOLUNTÁRIOS	52
5.2 PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO	53
5.2.1 <i>Variáveis antropométricas</i>	53
5.2.2 <i>Medidas da força isométrica máxima - Variável dinamométrica</i>	54
5.3 MODELO DE REPRESENTAÇÃO DA MÃO	57
5.4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	59
5.5 AMBIENTE DA COLETA DOS DADOS	62
5.6 SISTEMA DE CALIBRAÇÃO.....	64
5.7 SISTEMA DE ANÁLISE CINEMÁTICA	66
5.7.1 <i>Aquisição e armazenamento dos dados</i>	67
5.7.2 <i>Sincronização dos registros</i>	67
5.7.3 <i>Medição das coordenadas e reconstrução tridimensional</i>	68
5.8 AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA	70
5.8.1 <i>Acurácia das medições</i>	70
5.8.2 <i>Análise da sensibilidade através da avaliação dos erros do sistema na determinação das variáveis</i>	71
5.8.3 <i>Comparação das medidas das distâncias entre os marcadores sobre a mão</i>	72

5.9. VARIÁVEIS CINEMÁTICAS.....	73
5.9.1 Distâncias lineares entre os marcadores	74
5.9.2 Ângulos de flexão e extensão das articulações metacarpofalangeanas	74
5.9.3. Velocidade angular	78
5.9.4. Amplitude angular máxima (range máxima).....	79
5.9.5 Variáveis obtidas do diagrama de fase	86
5.9.6 Correlações entre os ângulos dos dedos	92
5.10. ANÁLISE ESTATÍSTICA	92
6 RESULTADOS.....	95
6.1 AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA	95
6.1.1 Acurácia das medições.....	95
6.1.2 Análise da sensibilidade	96
6.1.3 Comparação das medidas das distâncias lineares entre os marcadores, avaliada pela acurácia.....	100
6.2 VARIÁVEIS ANTROPOMÉTRICAS	103
6.3 VARIÁVEIS DINAMOMÉTRICAS	104
6.4 VARIÁVEIS CINEMÁTICAS.....	106
6.4.1 Amplitude angular (range).....	106
6.4.2 Análise das curvas de flexão e extensão.....	109
6.4.3 CORRELAÇÕES DAS VARIAÇÕES ANGULARES ENTRE OS DEDOS	121
7 DISCUSSÃO	125
7 CONCLUSÕES	135
8 REFERÊNCIAS	137
ANEXOS	143
ANEXO A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	144
ANEXO B– PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO	145
ANEXO C – DIAGRAMA DE BLOCO REPRESENTANDO O ALGORITMO DESENVOLVIDO PARA SEPARAÇÃO DOS CICLOS E CÁLCULO DA AMPLITUDE ANGULAR	147
APÊNDICES.....	149
APÊNDICE A - ANÁLISE DAS COMPONENTES PRINCIPAIS	150
APÊNDICE B – VALORES MÉDIOS E DESVIOS PADRÕES DAS DISTÂNCIAS ENTRE OS MARCADORES DO METACARPO E FALANGE PROXIMAL DO 2º AO 5º DEDOS, COMPARANDO OS MÉTODOS ESTÁTICO E DINÂMICO PARA APENAS UM VOLUNTÁRIO.	160
APÊNDICE C – AMPLITUDES MÁXIMAS (RANGES MÁXIMOS).....	161
APÊNDICE D - DIAGRAMAS DE FASE DO 3º, 4º E 5º DEDOS	163

1 Introdução

A mão tem a função de tocar, pressionar, segurar, soltar e manipular, sendo capaz de desempenhar uma variedade de tarefas motoras, além de transmitir informação sensorial sobre temperatura, forma e textura dos objetos. Não funciona isoladamente e depende da integridade das articulações do ombro, cintura escapular, cotovelo e punho que permitem o posicionamento adequado da mão no espaço, para realização de tarefas.

A principal função da mão é a preensão, pois através dela é realizada a grande maioria das atividades de vida diária, sendo fundamental para a alimentação, vestuário e higiene. Durante a realização dessas atividades é evidente a importância da coordenação e do padrão de movimento dos dedos. Este padrão pode ser diferente dependendo da atividade a ser realizada como, por exemplo, durante a preensão de um copo ou durante a preensão de uma caneta. Para a realização da preensão, músculos extrínsecos e intrínsecos são contraídos para permitir a adaptação da mão ao objeto a ser apreendido e a força a ser empregada depende do peso e da consistência do objeto. Entretanto, a função da mão é complexa, pois é uma estrutura formada por muitos tendões que atravessam uma ou mais articulações e permitem desde movimentos isolados até movimentos coordenados de todos os dedos ao mesmo tempo, como de um pianista ao tocar um piano.

Muitos estudos experimentais relacionados ao estudo da preensão da mão estão direcionados ao controle visomotor do movimento, durante a realização de uma tarefa. Sistemas de análise do movimento bi e tridimensionais permitiram que a cinemática da preensão de objetos de diferentes tamanhos, localizados a distâncias distintas, fossem estudadas detalhadamente. Outros estudos tendem a se concentrar na força de preensão palmar e na força de pinça, medidas através de dinamômetros que permitem com facilidade a medição objetiva da força da mão.

Em especial para o estudo do movimento isolado dos dedos da mão foram encontrados modelos dinâmicos bi e tridimensionais do dedo indicador associados ou não ao movimento de pinça. Contudo, uma metodologia de análise tridimensional dos movimentos das articulações dos dedos buscando uma caracterização de padrão de preensão e análise da sinergia entre os dedos, para indivíduos submetidos a treinamento, não foi encontrada na literatura.

É conhecido que, quando um indivíduo é submetido a um treinamento, pode tornar-se mais forte, mais resistente ou melhorar a coordenação, a destreza e equilíbrio. No caso da mão, quando submetida a diferentes atividades ou treinamento específico, torna-se capaz de aperfeiçoar a execução do movimento, buscando precisão, dosagem de força e agilidade.

Nos pianistas, a mão deve ter leveza e flexibilidade para executar os movimentos, e o treinamento está baseado no desenvolvimento de técnicas que dependam, o menos possível, da força e da resistência dos músculos. Esse treinamento é essencial para a execução da técnica pianística (RICHERME, 1996).

O piano se desenvolveu como um instrumento que exige maiores recursos técnicos de execução, tanto pela possibilidade de variar amplamente a intensidade do som de acordo com a intensidade da força aplicada na tecla, como pelo desenvolvimento do repertório, que passou a exigir mais do executante. Schultz (1949) *apud* RICHERME (1996) relata que “nenhuma tecla pode ser abaixada sem que o dedo seja uma parte importante do toque. Nada que se possa fazer no piano é independente da coordenação do dedo”.

Durante seus estudos, o pianista realiza vários exercícios que exigem ao mesmo tempo controle e coordenação do movimento do punho e dos dedos, além de treinar a leveza do movimento e a flexibilidade. O treinamento modifica a própria técnica pianística e com o tempo é capaz de aprimorá-la, mas será que esse treinamento pode interferir nas atividades manuais que não sejam as relacionadas diretamente com o tocar piano?

O movimento dos dedos durante o “tocar piano” não é como a preensão palmar, entretanto os músculos são os mesmos e a força que abaixa as teclas é basicamente a dos flexores superficiais, flexores profundos e lumbricais dos dedos. Considerando que os músculos utilizados na preensão e no movimento de tocar piano são os mesmos, buscou-se avaliar se o treinamento do pianista interfere em uma atividade manual básica, que não esteja relacionada à performance musical.

Dessa forma buscou-se analisar as alterações nos padrões de preensão palmar de pianistas durante a realização de tarefas em função do tipo de preensão e da velocidade de execução e verificar se a atividade do pianista interfere no padrão de preensão e na sinergia dos dedos.

O estudo focou dois tipos de preensão, a preensão grossa e a preensão em gancho, realizadas contra um exercitador de dedos, que foram executadas em velocidade lenta e rápida. Esses dois tipos de preensão foram escolhidos porque a preensão grossa é a forma mais usada para manipular objetos e a preensão em gancho é a única disponível para a realização das tarefas funcionais quando ocorre fraqueza da musculatura intrínseca, neste caso somente os músculos flexores superficiais e profundos estão preservados. Além disso, há uma maior dificuldade para a realização de uma tarefa com a mão em posição de gancho, comparada a preensão grossa, devido ao pouco contato com o objeto.

Dentre as metodologias utilizadas em biomecânica foi selecionada a cinemetria (videogrametria) que fornece informações sobre variáveis quantitativas que podem ser utilizadas na descrição, comparação e interpretação dos movimentos em diferentes situações.

Em especial para a preensão da mão, as variáveis cinemáticas analisadas foram: a posição angular, a velocidade angular (ambas em função do tempo), a amplitude angular máxima e a correlação entre as curvas dos ângulos de flexão e extensão das articulações metacarpofalangeanas dos dedos.

Para obtenção dessas variáveis, foi desenvolvida uma metodologia para análise cinemática do movimento dos dedos, durante a realização da preensão palmar contra um exercitador de dedos. Essa metodologia foi avaliada através da acurácia das medições das distâncias entre marcadores e também através da sensibilidade pela variação do erro do sistema.

A partir das variáveis posição e velocidade angular foram construídos diagramas de fase e novas variáveis foram obtidas desses diagramas, através da análise por componentes principais. Essas novas variáveis encontradas foram: a) o vetor posição média no espaço de fase, b) autovalor normalizado em função da variabilidade total e c) o ângulo entre a direção correspondente a primeira componente e o eixo da abscissa. Através dessas variáveis foi possível analisar o padrão de movimento, e a regularidade dos ciclos.

A sinergia entre os dedos foi analisada através da correlação entre as curvas dos ângulos de flexão e extensão das articulações metacarpofalangeanas dos dedos. Todas as variáveis foram analisadas nas diferentes tarefas comparando pianistas e não pianistas.

Além da cinemática foram utilizadas no protocolo de avaliação duas outras metodologias biomecânicas: a antropometria e a dinamometria, buscando a caracterização dos voluntários nos diferentes grupos.

O texto foi organizado de maneira que nos capítulos seguintes estão descritos os objetivos, a revisão de literatura, a metodologia, os resultados, discussões e conclusões.

Como a biodinâmica do movimento é uma área que abrange diferentes especialidades, no quarto capítulo, que corresponde ao da revisão de literatura, estão abordados alguns aspectos anatômicos e biomecânicos de interesse para a leitura deste trabalho, além dos diferentes métodos de medição e análise da preensão palmar e da técnica pianística.

No quinto capítulo, descreve-se a metodologia, com a caracterização dos voluntários que participaram do estudo, o protocolo de avaliação, o modelo de representação da mão, o procedimento experimental, o ambiente da coleta dos dados, o sistema de calibração, o sistema de análise, a avaliação da metodologia, a obtenção das variáveis experimentais descritoras do movimento, o tratamento dos dados e a descrição da análise estatística.

No sexto capítulo estão apresentados os resultados encontrados, no sétimo capítulo a discussão dos resultados obtidos e em relação aos dados encontrados na literatura e no oitavo capítulo as conclusões deste trabalho.

2 Objetivos

2.1 Objetivo geral

Analisar as possíveis alterações nos padrões de preensão palmar em pianistas durante a realização de tarefas, em função o tipo de preensão e da velocidade de execução, realizadas contra um exercitador de dedos.

2.2 Objetivos específicos

Propor uma metodologia de análise cinemática para descrição dos movimentos dos dedos durante a realização da preensão palmar.

Avaliar a metodologia proposta através da acurácia das medições e da sensibilidade do sistema aos erros experimentais.

Comparar variáveis antropométricas, dinamométricas e cinemáticas de pianistas e não pianistas.

Caracterizar o padrão de preensão palmar e a analisar a regularidade dos ciclos, de pianistas e não pianistas, em função do tipo de preensão e da velocidade de execução, através de diagramas de fase.

Comparar as correlações entre as curvas dos ângulos de flexão e extensão dos dedos da mão, entre pianistas e não pianistas, em função do tipo de preensão e da velocidade de execução.

3 Publicações

1 FERNANDES, Luciane Fernanda Rodrigues Martinho; ARAÚJO, Mariana Santos; MATHEUS, João Paulo Chierogato; MEDALHA, Carla Christina; SHIMANO, Antonio Carlos; PEREIRA, Gilberto de Araújo: Comparação de dois protocolos de fortalecimento para preensão palmar. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, São Carlos, v. 7, n. 1, p. 17-23, 2003.

2. FERNANDES, Luciane Fernanda Rodrigues Martinho, RUFFINO, Paulo Régis Caron, BARROS, Ricardo Machado Leite: Prehension pattern changes in pianists. Enviado para **Human Moviment Science**.

4 Revisão de Literatura

Neste capítulo está apresentada inicialmente uma revisão dos aspectos anatômicos e biomecânicos de interesse, para uma maior compreensão do funcionamento ósteo-articular do punho e da mão. Na seqüência, a descrição da função da mão, as alterações nos padrões de preensão, os métodos de mediação e os métodos de análise da preensão e da técnica pianística.

4.1 Aspectos anatômicos e biomecânicos do punho e da mão

O conhecimento da anatomia e biomecânica do punho e da mão é essencial para a compreensão do funcionamento dos mecanismos ósteo-musculares responsáveis pelos movimentos dos dedos e a sua relação com as funções de preensão e pinça.

O punho é considerado como a chave para o funcionamento da mão e a estabilidade dessa articulação é essencial para o funcionamento apropriado dos músculos flexores e extensores dos dedos. A sua posição afeta a capacidade dos dedos de flexionar e estender de maneira máxima e de segurar efetivamente um objeto durante a preensão (NORDIN e FRANKEL, 2003).

O complexo articular do punho é constituído de oito ossos do carpo e da extremidade distal do rádio. Os oito ossos do punho são divididos em fileiras proximal e distal (Figura 1). Os ossos da fileira distal, a partir do lado radial para o ulnar, são o trapézio, trapezóide, capitato e hamato. A fileira proximal formada pelo escafóide, semilunar, piramidal se articula com o rádio formando a articulação radiocárpica e é considerada mais móvel que a distal. O oitavo osso desta fileira é o pisiforme, um osso sesamóide que aumenta a força do músculo flexor ulnar do carpo e forma com o piramidal uma pequena articulação (NORDIN e FRANKEL, 2003).

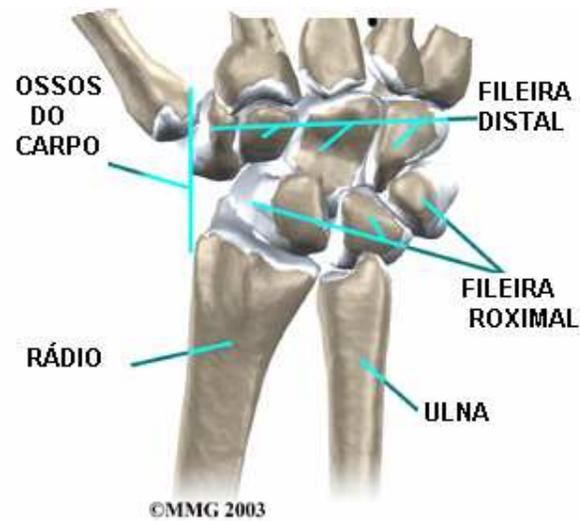


Figura 1 – Ossos da fileira proximal e distal do punho

Fonte: <http://www.medicalmultimedigroup.com>

A articulação radiocarpiana é formada pelo rádio e disco radioulnar, proximalmente e pelo escafóide, semilunar e piramidal distalmente sendo classificada como condilar, biaxial e permite os movimentos de flexão, extensão, desvio radial, desvio ulnar e circundução. O disco radioulnar ocupa cerca de 11% da superfície articular enquanto as facetas interna e externa do rádio contribuem com 43% e 46%. Essa articulação é recoberta por uma cápsula forte, mas pouco solta, sendo reforçada pelos ligamentos capsular e intracapsular, responsáveis pela sua estabilidade. O disco radioulnar é composto de fibrocartilagem, tem origem na chanfradura ulnar do rádio e participa tanto da articulação radioulnar distal como uma parte da articulação radiocarpiana (NORKIN e LEVANGIE, 2001).

A articulação mediocarpiana é a articulação entre o escafóide, semilunar, e piramidal proximalmente e trapézio, capitato e hamato distalmente, sendo considerada mais funcional que anatômica. Foi classificada como articulação do tipo dobradiça com somente 1 grau de liberdade, entretanto a maioria dos pesquisadores a descrevem como sendo uma articulação condilar com 2 graus de liberdade, em que o desvio ulnar e do desvio radial são adicionados à flexão e extensão (NORKIN e LEVANGIE, 2001).

Entre os ossos adjacentes das fileiras proximal e distal do carpo estão as articulações intercárpicas. Essas articulações são do tipo deslizante e contribuem pouco para o movimento do punho (HALL, 2000).

As estruturas de tecido mole que circundam os ossos do carpo incluem os tendões que cruzam o carpo ou que nele se inserem e as estruturas ligamentares que unem os ossos do carpo entre si e aos elementos ósseos da mão e do antebraço (KAPANDJI, 2000). Os ligamentos do punho dão suporte para as articulações radiocarpianas e mediocarpiana e também contribuem para o movimento do complexo de punho, através de aplicação de forças passivas (NORKIN e LEVANGIE, 2001).

O movimento da articulação radiocarpiana é predominante um deslizamento da fileira proximal do carpo sobre o rádio e o disco radioulnar. Esses movimentos são causados por uma combinação única de forças passivas e ativas. Como não há força muscular aplicada diretamente aos ossos da fileira proximal do carpo, os ossos proximais servem de ligação mecânica entre o rádio e os ossos do carpo distal em que a força muscular é aplicada normalmente (NORKIN e LEVANGIE, 2001).

A amplitude de movimento normal do punho é de 65° a 80° de flexão e de 55° a 75° de extensão (NORDIN e FRANKEL, 2003). Segundo Kapandji (2000) a amplitude de flexão e extensão do punho é de 85° e Norkin e Levangie (2001) consideram a amplitude de 85° de flexão e 70° a 80° de extensão. Em relação à distribuição do movimento entre as articulações, Hall (2000) considera que a maior parte do movimento ocorre na articulação radiocárpica, entretanto Sarrafian et al., (1977) *apud* Nordin e Frankel (2003), encontraram que 60% da flexão ocorre na articulação mediocárpica e 67% da extensão ocorre na radiocárpica. Para os movimentos realizados no plano sagital, segundo Nordin e Frankel (2003) a amplitude do desvio radial é de 15° a 25° e do desvio ulnar é de 30 a 45°, Kapandji (2000) considera a amplitude do desvio radial de 15° e a do desvio ulnar de 45° enquanto que para Norkin e Levangie (2001) a amplitude de desvio radial é de 20° a 25° e o desvio ulnar de 30° a 35°.

O papel primário dos músculos do punho é dar uma base estável para a mão enquanto permite ajustamentos para um ótimo comprimento-tensão dos músculos extrínsecos dos dedos. Os músculos motores do punho responsáveis pela flexão são o flexor ulnar do carpo, flexor radial do carpo e o palmar longo e os músculos dos dedos (flexores superficiais e

profundos) agem como sinergistas neste movimento. O movimento de extensão do punho é realizado pelo extensor radial longo do carpo, extensor radial curto do carpo e extensor ulnar do carpo, tendo como sinergistas os extensores dos dedos (extensor comum dos dedos, o extensor do dedo indicador e o extensor do dedo mínimo). O movimento de desvio radial é realizado pelos músculos radiais do punho (flexor radial do carpo, extensor radial longo do carpo, extensor radial curto do carpo) e auxiliado por músculos do polegar (abdutor longo do polegar, extensor longo do polegar e flexor longo do polegar). O movimento de desvio ulnar é realizado pelo músculo palmar longo, pelos músculos ulnares (flexor ulnar do carpo, extensor ulnar do carpo) e auxiliado pelo extensor comum dos dedos e extensor do dedo mínimo (DANGELO e FATTINNI, 2002).

Cada articulação proximal do complexo do punho tem como objetivo aumentar a colocação da mão no espaço e aumentar seus graus de liberdade. Além da articulação do punho, as articulações proximais do membro superior têm importante relação com a função da mão. O ombro serve como uma base dinâmica de suporte, o cotovelo auxilia a mão a aproximar-se ou distanciar-se do corpo e o antebraço ajusta na aproximação de um objeto (NORKIN e LEVANGIE, 2001).

A mão é um órgão móvel, muito complexo, de múltiplas finalidades e adaptável ao formato dos objetos. A mobilidade e a estabilidade das articulações do ombro, cotovelo e punho, possibilitam que a mão se movimente no espaço sendo capaz de alcançar todas as partes do corpo, pegar objetos e deslocá-los em todas as direções (BARR e BEAR-LEHMAN, 2003).

É constituída de ossos, articulações, ligamentos, músculos intrínsecos e extrínsecos. Com relação ao sistema ósteo-articular, possui cinco ossos metacarpianos, cinco falanges proximais, quatro falanges médias e cinco falanges distais, sendo que o polegar possui apenas falange proximal e distal (Figura 2). As articulações são: carpometacárpicas, intermetacárpicas, metacarpofalangianas, interfalangianas proximais e distais (DANGELO e FATTINNI, 2002; KAPANDJI, 2000).

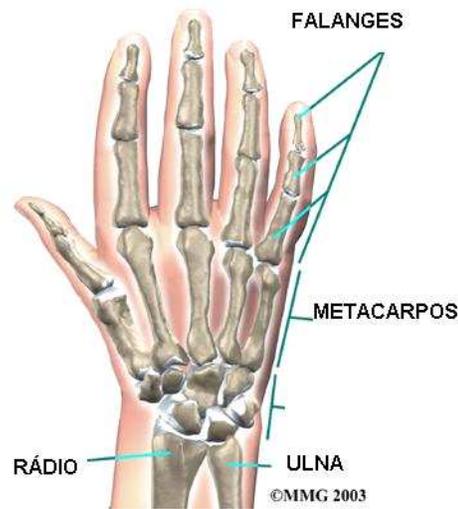


Figura 2 – Ossos da mão

Fonte: <http://www.medicalmultimedigroup.com>

As articulações carpometacarpianas unem a fileira distal do carpo com as bases dos metacarpianos. A articulação carpometacarpiana do polegar, localizada entre o osso trapézio e o primeiro metacarpo, é do tipo selar clássica, com dois graus de liberdade, permitindo a realização dos movimentos de flexão, extensão, abdução, adução e rotação associada (HALL, 2000). As articulações carpometacarpianas do segundo ao quarto dedos são sinoviais planas, com um grau de liberdade, permitindo pequenos movimentos de deslizamento no sentido da flexo-extensão. Entretanto a articulação carpometacarpiana do quinto dedo é classificada como semi-selar devido ao componente rotacional (MORAN, 1989). São circundadas por cápsulas articulares reforçadas pelos ligamentos carpometacárpicos dorsal, palmar e interósseo. Essa articulação tem como função contribuir para a concavidade da palma da mão.

Entre os metacarpos estão as articulações intermetacárpicas unem as superfícies articulares dos metacarpianos e compartilham das cápsulas articulares das articulações carpometacárpicas (HALL, 2000).

As articulações metacarpofalangianas unem os ossos metacarpianos e as falanges proximais. São do tipo condilar ou elipsóide e possuem dois graus de liberdade, permitindo os movimentos de flexão, extensão, abdução e adução (MORAN, 1989). Cada

articulação é envolvida por uma cápsula reforçada pelos ligamentos colaterais (HALL, 2000; SMITH et al., 1997). Essa cápsula é considerada frouxa e permite uma pequena rotação axial passiva da falange proximal (NORKIN e LEVANGIE, 2001).

As articulações interfalangeanas proximais e distais estão presentes do segundo ao quinto dedo, sendo do tipo gínglimo ou dobradiça, possuem um grau de liberdade e realizam os movimentos de flexão e extensão. Além disso, realiza um movimento no plano sagital de 6° a 13° por causa da desigualdade das superfícies articulares (KAPANDJI, 2000). Cada articulação é envolvida por uma cápsula articular e é envolvida por ligamentos palmares e colaterais. O polegar possui apenas duas falanges e, portanto, apenas uma articulação, denominada interfalangeana do polegar (HALL, 2000; SMITH et al., 1997).

O esqueleto da mão está organizado para suprir as necessidades funcionais, principalmente para a pinça e a preensão. Para que seja possível a realização da pinça e da preensão, a arquitetura óssea está disposta em arcos de concavidade volar que se amoldam conforme o objeto ou a função a que se pretende realizar (PARDINI JR, 2005). Do ponto de vista funcional existem 3 arcos sendo um longitudinal e dois transversos (Figuras 2 e 3).

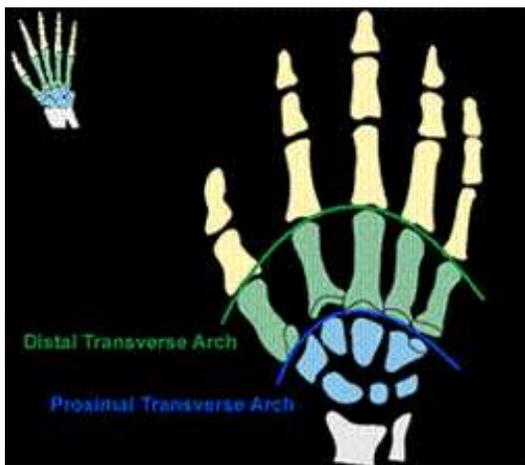


Figura 3 - Arco transverso proximal e arco transverso distal

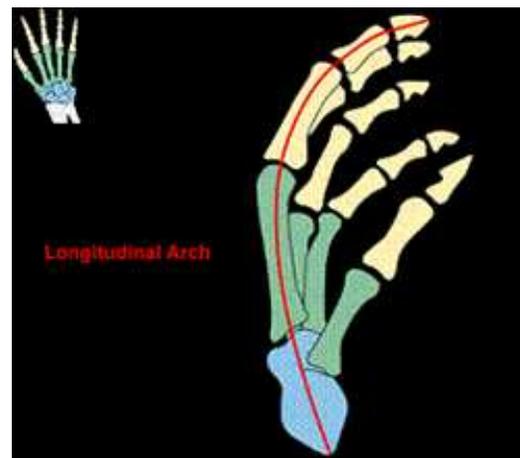


Figura 4 – Arco longitudinal

Fonte: <http://www.medicalmultimedialogroup.com>

O arco transversal proximal é rígido sendo constituído pelos ossos do carpo e mantido pelo ligamento transversal do carpo. O arco transversal distal é formado pelas cabeças dos metacarpos, tem considerável mobilidade, abrindo-se e fechando-se em torno do 2º e 3º metacarpos. A integridade e a estabilidade do arco transversal distal são mantidas pelos ligamentos intermetacarpianos transversos, pelos tendões extensores e musculatura intrínseca da mão. Uma paralisia da musculatura intrínseca retifica esse arco, causando um grande prejuízo funcional para a mão (PARDINI JR, 2005).

O arco longitudinal é constituído de um grupo de arcos, sendo um para cada dedo. Esse arco se molda em relação a função desejada e tem como fatores estabilizantes a musculatura intrínseca e extrínseca. A paralisia desses músculos também compromete a função da mão com o achatamento desse arco (PARDINI JR, 2005). A disposição dos arcos longitudinais é organizada de tal forma que na flexão das articulações metacarpofalangeanas e interfalangeanas proximais as pontas dos dedos convergem para um mesmo ponto, que corresponde a tuberosidade do rádio (KAPANDJI, 2000, PARDINI JR, 2005)

Em relação à amplitude de movimento dos dedos, a amplitude ativa de flexão da articulação metacarpofalangeana é de aproximadamente 90º e a extensão é de 30º a 40º. Em relação à abdução, o indicador é o dedo que possui maior amplitude, 30º. A flexão das interfalangeanas proximais ultrapassa os 90º e nas interfalangeanas distais é ligeiramente inferior a 90º, sendo a extensão nula (0º) nas proximais e nula ou muito fraca (5º) nas distais. No polegar a flexão ativa da articulação metacarpofalangeana é de 60º a 70º e a extensão de 15º e na interfalangeana a flexão é de 75º a 80º e a extensão de 5º a 10º (KAPANDJI, 2000). De acordo com Norkin e Levangie (2001), a amplitude de movimento total da articulação metacarpofalangeana é diferente para cada dedo, sendo que a flexão e a extensão aumenta de radial para ulnar, com o dedo indicador tendo aproximadamente 90º e o dedo mínimo com 110º. A hiperextensão é bastante variável entre os indivíduos, sendo utilizada para diagnosticar aumento global de flexibilidade. O arco de abdução e adução é máximo na extensão e restrito na flexão metacarpofalangeana, isso ocorre em virtude da tensão dos ligamentos colaterais.

Durante o movimento de flexão dos dedos, o indicador realiza a flexão diretamente no plano sagital em direção à base da eminência ténar. Os três últimos dedos realizam uma flexão “oblíqua”, para que seja possível a oponência desses dedos com o polegar,

sendo que para o quinto dedo essa direção oblíqua é maior. Isso ocorre porque os eixos de flexão das articulações metacarpofalangeanas e interfalangeanas não são fixos, devido à assimetria das superfícies articulares e do tensionamento dos ligamentos laterais (KAPANDJI, 2000).

As articulações entre cada falange são atravessadas por tendões e músculos, além dos ligamentos. Com a contração dos músculos, essas articulações são movidas de maneira forçada pela interposição de tecidos e movimentos dos ossos. Quando realizadas contra um objeto, o movimento pode resultar em uma preensão ou pinça (AN et al., 1979).

Para a realização dos movimentos da mão, existem músculos extrínsecos que possuem a sua origem acima da articulação do punho e inserção na mão, e intrínsecos, que possuem a origem e inserção nos ossos da mão (Quadro 1).

Quadro 1 – Músculos da mão e dos dedos*

	Músculos extrínsecos	Músculos intrínsecos
Polegar	Extensor longo do polegar Extensor curto do polegar Abdutor longo do polegar Flexor longo do polegar	Flexor curto do polegar Abdutor curto do polegar Adutor do polegar Oponente do polegar
Dedos	Flexor superficial dos dedos Flexor profundo dos dedos Extensor comum dos dedos Extensor do indicador Extensor do dedo mínimo	Interósseos dorsais (4) Interósseos palmares (3) Lumbricais (4) Abdutor do dedo mínimo Oponente do dedo mínimo Flexor curto do dedo mínimo

*Adaptado de Hall (2000)

Os músculos intrínsecos são responsáveis pela precisão do movimento e pelo controle motor da mão, podendo ser divididos também em músculos tenares, hipotenares e palmares profundos (Quadro 2) (HALL, 2000; HUNTER et al., 1990; LIPPERT, 1996;).

Quadro 2 – Músculos intrínsecos da mão

Tenar	Hipotenar	Palmares profundos
Flexor curto do polegar	Flexor curto do dedo mínimo	Adutor do polegar
Abdutor curto do polegar	Abdutor do dedo mínimo	Interósseos
Oponente do polegar	Oponente do dedo mínimo	Lumbricais

Fonte: Lippert, 1996, p.163

Os músculos flexores extrínsecos da mão são duas vezes mais poderosos que os extensores extrínsecos, devido à função de preensão exigida durante as atividades de vida diária (HALL, 2000). Os músculos responsáveis pela preensão palmar são os flexores superficiais, flexores profundos, interósseos, músculos da eminência tenar (principalmente o adutor) e o flexor longo do polegar (KAPANDJI, 2000).

Em relação à inervação, a mão é inervada principalmente pelos nervos mediano, ulnar e radial (Figura 5). Após atravessar o túnel do carpo, o nervo mediano se divide em 3 ramos. O primeiro é o ramo motor que supre os músculos: abductor curto do polegar, oponente do polegar e cabeça superficial do flexor curto do polegar. Os outros ramos do nervo mediano suprem o primeiro, segundo e terceiro lumbricais e dão inervação sensitiva para os lados radial e ulnar do polegar, indicador e dedo médio e o lado radial do anular (HUNTER et al., 1990, PARDINI JR, 2005).

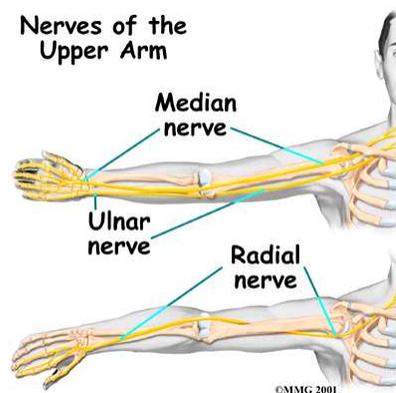


Figura 5 – Nervos do membro superior.

Fonte: <http://www.medicalmultimedigroup.com/>

O nervo ulnar é o principal nervo motor da mão e está localizado no lado ulnar do punho. No canal de Guyon esse nervo se bifurca emitindo 2 ramos: um superficial que é principalmente sensitivo inervando os dois lados do dedo mínimo e o lado ulnar do anular e outro profundo que é o ramo motor. Ele inerva os músculos hipotênares (abductor, oponente e flexor curto do dedo mínimo), o 3° e 4° lumbricais, interósseos dorsais e palmares, adutor do polegar e a cabeça medial do flexor curto do polegar (HUNTER et al., 1990, PARDINI JR, 2005).

O nervo radial é predominantemente motor e inerva somente os músculos extrínsecos da mão. O ramo superficial sensitivo do nervo radial é responsável pela sensibilidade da região radial do dorso do punho e da mão (HUNTER et al., 1990, PARDINI JR, 2005).

4.2 A função da mão

A mão em movimento tem duas funções básicas a preensão e a pinça, sendo de fundamental importância para as atividades de vida diária. A importância dos movimentos da mão nessas atividades é evidenciada pela sua representação no córtex cerebral, sendo que a zona correspondente à mão é maior do que as zonas correspondentes às outras partes do corpo, e a zona correspondente ao polegar é maior do que a dos outros dedos (SHUMWAY-COOK e WOOLLACOTT, 2003). A preensão envolve agarrar ou segurar um objeto entre a superfície da mão com a participação ou não do polegar. A pinça é a função mais especializada da mão, em que o polegar é uma das partes da pinça e a outra parte pode ser realizada com a polpa, ponta ou pelo lado de um dedo (NORKIN e LEVANGIE, 2001).

Esse conceito dos padrões de pinça e preensão parece ser simples, entretanto a realização dessas funções é extremamente complexa do ponto de vista biomecânico, pois envolve não somente o movimento integrado de todas as articulações da mão ao mesmo tempo, mas também um controle central normal e uma inervação muscular perfeita. Além disso, toda essa ação requer uma integridade sensitiva dos dedos, caracterizada pela riqueza de corpúsculos sensitivos especializados e terminações livres nas polpas digitais (PARDINI JR, 2005).

Para classificar os tipos de preensão da mão foram utilizados critérios funcionais como a área de contato mão-objeto, número de dedos que participam e o formato da mão na execução da preensão.

A classificação mais simples foi dada por Napier (1956) *apud* Blair (2001) que classificou os movimentos de preensão humana em dois padrões básicos, a preensão de força e a preensão de precisão (pinça). A preensão de força envolve segurar um objeto entre os dedos parcialmente fletidos em oposição e contrapressão gerada pela palma, eminência tenar e o segmento distal do polegar, sendo utilizada quando é necessário o uso de força. A preensão de precisão é também conhecida como pinça e é usada quando são necessários exatidão e

refinamento de tato (BLAIR, 2001; SHUMWAY-COOK e WOOLLACOTT, 2003; SMITH et al., 1997).

Além dos padrões classificados por Napier (1956) *apud* Blair (2001), uma grande variedade de classificações e terminologias têm sido adotadas para categorização das preensões. Schesinger (1919) *apud* Jain et al., (1985) descreve que a mão adota 6 padrões básicos de preensão: cilíndrica (ou grossa), em ponta, em gancho, palmar, esférica e a lateral. Kapandji (2000) classifica as preensões em três grupos: preensões digitais (uni, bi, tri e pentadigitais), palmares (dígito palmar e a palmar plena do tipo cilíndrica ou esférica) e as centradas.

Com base nessas classificações foram adotadas para a realização deste estudo, a preensão cilíndrica ou grossa e a preensão em gancho. Se compararmos as classificações de Napier (1956) *apud* Blair (2001), com as de Schesinger (1919) *apud* Jain et al., (1985) e de Kapandji (2000) a preensão grossa (Figura 6) e a preensão em gancho (Figura 7) são duas formas de utilização da preensão de força. Por definição a preensão grossa é utilizada para segurar objetos cilíndricos em que os quatro últimos dedos ficam fletidos envolvendo um objeto e apertando-o de encontro à palma, e o polegar fica em flexão e oposição; a preensão em gancho é utilizada para segurar a alça de uma mala ou um balde, por exemplo, em que os quatro últimos dedos ficam semifletidos e o polegar exerce uma função acessória apenas para fechar o gancho (JAIN et al., 1985; KAPANDJI, 2000).



Figura 6 – Preensão grossa

Fonte: NORKIN e LEVANGIE, 2001, p.288

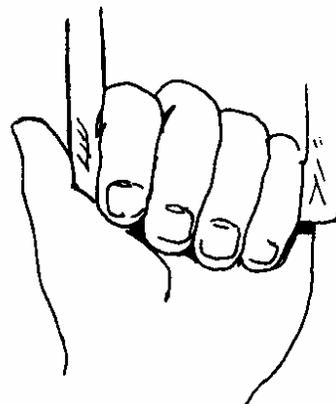


Figura 7- Preensão em gancho

Fonte: NORKIN e LEVANGIE, 2001, p.288

Quando é avaliada a função muscular durante um tipo de preensão, a sinergia dos músculos da mão resulta em atividade quase constante de todos os músculos intrínsecos e extrínsecos. A preensão cilíndrica ou grossa utiliza quase que exclusivamente os músculos flexores para levar os dedos ao redor do objeto. O músculo flexor profundo dos dedos é contraído na ação dinâmica de fechar os dedos. Na fase estática, o flexor superficial dos dedos participa quando é exigida uma força maior para manter a preensão.

Embora a preensão seja citada tradicionalmente como uma atividade extrínseca, estudos indicaram considerável atividade muscular dos músculos intrínsecos. Ketchum et al.,1978 e Chao et al.,1976 descrevem que os músculos interósseos funcionam como flexores, abdutores e adutores da articulação metacarpofalangeana. Numa preensão forte a magnitude da força dos interósseos é na flexão da metacarpofalangeana é semelhante a dos flexores extrínsecos. Além dos músculos interósseos, os músculos da eminência hipotenar geralmente estão ativos na garra cilíndrica. O abductor do dedo mínimo flexiona e abduz a articulação metacarpofalangeana do dedo mínimo, o músculo oponente do dedo mínimo e o flexor do dedo mínimo são mais variáveis (NORKIN e LEVANGIE, 2001).

Na preensão em gancho, a maior atividade muscular é realizada pelos músculos flexor profundo dos dedos e flexor superficial dos dedos. A carga pode ser mantida por apenas um músculo ou pelos dois em conjunto, dependendo da localização da carga em relação às falanges. Se a carga é carregada mais distalmente, ocorre a ação do músculo flexor profundo dos dedos. Quando a carga é carregada no meio dos dedos, o músculo flexor superficial pode ser suficiente (NORKIN e LEVANGIE, 2001).

A realização da preensão requer um controle coordenado do membro superior e dos dedos e segundo Jeannerod (1986) é composta de dois componentes de controle visomotor. O componente do transporte reflete a determinação pelo sistema visual de coordenadas de um ponto no espaço em relação ao corpo e o componente de preensão indica uma análise visual da forma, tamanho e peso do objeto.

As possibilidades de movimento das articulações do membro superior são numerosas e representam um aspecto de controle complexo para o sistema nervoso central. Houve progresso na identificação das áreas cerebrais que controlam diferentes aspectos do movimento em relação a uma tarefa. Muitos estudos vêm buscando a identificação das áreas

cerebrais que controlam diferentes aspectos do movimento de uma tarefa. Existem evidências da existência de componentes de controle diferentes para o transporte e para a preensão. Kuypers (1973) *apud* Van Vliet (2001) afirma que a lesão das fibras do trato piramidal provoca prejuízo dos movimentos precisos dos dedos enquanto que a lesão do trato extrapiramidal causa prejuízo aos movimentos grosseiros do membro superior, inclusive do transporte da mão na direção de um objeto.

4.3. Alterações dos padrões de preensão

A habilidade funcional da mão é devida à integridade de todas as estruturas que proporcionam o movimento. Quando ocorre lesão em uma ou várias estruturas ocorre o comprometimento da preensão e a incapacidade para realização das atividades funcionais.

As alterações nos padrões de preensão podem ser decorrentes de lesões nervosas periféricas, doenças reumáticas (como a artrite reumatóide e a osteoartrose), queimaduras e doenças infecciosas como a hanseníase.

Em cada posição da mão, o sistema nervoso tem o papel de regulador que obtém informações sensoriais para processar os sinais recebidos. Essas informações são recebidas e transmitidas através das fibras aferentes e eferentes do sistema nervoso periférico. As lesões dos nervos periféricos levam a incapacidades motoras e sensitivas importantes, de acordo com a distribuição anatômica do nervo acometido e o grau da lesão. As lesões nervosas da mão podem ocorrer por ferimentos cortantes, queimaduras por calor ou frio, compressões agudas ou prolongadas e por estiramentos (FERRINO et al, 2005).

A paralisia da musculatura intrínseca da mão decorrente da lesão mediano-ulnar baixa causa uma deformidade “em garra”, com perda da força de fechamento dos dedos e perda dos movimentos de abdução e adução dos dedos. A garra manifesta-se com hiperextensão das articulações metacarpofalangeanas e flexão das interfalangeanas, principalmente as proximais (MAZZER et al, 2003). Nessa paralisia ocorre a perda dos arcos da mão, comprometendo a preensão palmar.

Na lesão do nervo radial baixa ocorre déficit funcional da extensão das articulações metacarpofalangeanas dos dedos, extensão e abdução radial do polegar e extensão

ulnar do punho, com perda sensitiva da face dorsal do polegar e dorso do segundo, terceiro e metade radial do quarto dedo. Nessa lesão os tendões flexores estão intactos, porém a posição do punho em flexão dificulta o segurar efetivamente um objeto durante a preensão (FERRIGNO et al., 2005)

4.4 Métodos de medição da preensão

Com o surgimento de dinamômetros para avaliação da força máxima da mão, as medidas quantitativas passaram a ter grande importância para normatização da força em diferentes populações (KELLOR et al., 1971; MATHIOWETZ et al., 1985; CAPORRINO et al., 1998), para diagnóstico de patologias neuromusculares como a síndrome do túnel do carpo e do canal cubital (DELLON e KELLER, 1997) e avaliação após procedimentos cirúrgicos de liberação do túnel do carpo (GELLMAN et al., 1989; FUSS e WAGNER, 1996; NETSCHER et al., 1997).

Para indivíduos submetidos a algum treinamento, Barros et al., (2003) utilizaram a análise cinemática para verificar as alterações no padrão respiratório de praticantes de Yoga. Tan et al., (2001) estudaram a força de preensão de jogadores de boliche para avaliar a correlação entre a força e o número de pontos de uma partida e encontraram uma correlação não significativa entre essas variáveis. Fernandes et al., (2003) realizaram medidas de força de preensão no pré e pós a aplicação de programas de treinamento isotônico em mulheres jovens. Os autores encontraram aumento significativo da força do pré e pós-treinamento, mas não encontram diferenças significativas entre os protocolos utilizados. Entretanto, são medidas de resposta da força máxima e não contêm informação espacial e temporal.

4.5 Métodos de análise da preensão

Muitos métodos foram desenvolvidos para a realização da análise cinemática do membro superior e da mão, Chéze et al., (1996) construíram uma estrutura mecânica complexa com barras longitudinais representando os segmentos corporais do tronco, braço, antebraço e

mão, unidas por articulações de 3 graus de liberdade. Nessas barras foram fixados marcadores reflexivos e uma aproximação robótica foi usada para descrição numérica da extremidade superior realizando uma tarefa. Na análise foram determinados os eixos de flexão e rotação dos segmentos e o centro de rotação.

Estudos com animais foram realizados buscando-se similaridade com a mão do homem. Christel e Billard (2002) compararam a cinemática da mão humana com a do macaco durante a realização da pinça em diferentes tarefas. Foram colocados marcadores no ombro, cotovelo, punho, polegar e dedo indicador, e o registro foi feito por 2 câmeras. Os autores encontraram que os macacos produziam excursões excessivas de movimentos do cotovelo e punho, abdução menor do ombro e amplo deslocamento do tronco quando comparado aos movimentos de humanos e concluíram que os circuitos neuronais primitivos do macaco são responsáveis por essas diferenças. Roy et al., (2000) desenvolveram um modelo biomecânico do movimento da pinça de macacos e compararam com dados humanos publicados. Utilizaram a videogrametria, sendo os marcadores colocados no polegar, dedo indicador e punho. Os autores encontraram três semelhanças entre a mão do homem e a do macaco. Primeiro que as assimetrias dos movimentos dependem da localização do objeto, segundo que as perturbações na localização do objeto diminuíram a magnitude do pico de velocidade e terceiro que o movimento mais preciso foi relacionado ao menor objeto, diminuindo a velocidade média e com isso sugerem que o estudo com macacos pode ser útil na compreensão do controle motor humano.

Modelos tridimensionais da mão foram desenvolvidos a partir da colocação de marcadores invasivos em cadáveres para análise cinemática. An et al., (1979) desenvolveram um modelo tridimensional para as articulações metacarpofalangeanas, interfalangeanas proximais e interfalangeanas distais da mão em 10 espécimes de mãos de cadáveres. Marcadores invasivos confeccionados com fios de aço de diferentes espessuras e comprimentos foram inseridos nos tendões e músculos no lado proximal e distal da articulação do polegar e dos dedos. Para a análise os autores utilizaram além do raios-X, a tomografia e o scanner ultrassônico. Kobayashi et al., (1997) realizaram uma análise tridimensional dos ossos do carpo em 22 espécimes de mãos de cadáveres utilizando marcadores invasivos de aço e de metal de diferentes diâmetros. Os autores utilizaram diferentes tamanhos de fios para identificação dos ossos e outras estruturas no raio-X biplanar. Segundo os autores esses modelos podem ser usados para mensurar a força e

analisar o movimento em mãos normais e patológicas. Estudos em cadáveres contribuíram para uma maior compreensão da cinemática da mão, porém descrevem uma representação estática de um fenômeno dinâmico.

Em mãos humanas os marcadores não invasivos têm sido utilizados para análise do movimento de preensão através da cinemetria associada ou não à eletromiografia ou à dinamometria. Darling et al., (1994) realizaram um estudo com o objetivo de descrever o padrão de coordenação entre as atividades musculares e os movimentos do dedo indicador em nove sujeitos normais, utilizando um sistema óptico eletrônico associado à eletromiografia. Neste experimento os voluntários seguravam um cilindro de madeira com o polegar, o 3º, o 4º e 5º dedos e os marcadores foram fixados no 2º dedo na base do metacarpo, no centro das articulações metacarpofalangeana (MTC-F), interfalangeana proximal (IFP), e distal (IFD) e uma barra fina de alumínio foi fixada na falange distal para definição do eixo longitudinal. Os voluntários foram submetidos à realização de 6 tarefas com 3 velocidades diferentes (100, 200 e 400m/s). As tarefas foram: flexão e extensão de todas as articulações, flexão e extensão das IFs mantendo a flexão da MTC-F, flexão e extensão da MTC-F enquanto as interfalangeanas (IFs) estão mantidas em flexão. Foram realizadas eletromiografia dos músculos flexor profundo dos dedos, flexor superficial dos dedos, extensor comum, extensor do indicador, 1º interósseo dorsal, 1º interósseo palmar e 1º lumbrical. Os autores encontraram uma alta correlação da ativação dos flexores extrínsecos e uma fraca correlação da atividade da musculatura intrínseca durante as tarefas.

Fowler e Nicol (1999) utilizaram a cinemetria e a dinamometria para calcular a força externa tridimensional aplicada nas articulações interfalangeanas do dedo indicador, em doze voluntários saudáveis, durante 11 atividades de vida diária, modificando a forma de preensão e o objeto que simulava um objeto doméstico. Nesses objetos foi incorporado um transdutor de força. Os autores concluíram que a complexidade do padrão está associada a dificuldade para a realização de atividades que não são tão rotineiras.

Fowler e Nicol (2000) desenvolveram um modelo biomecânico da articulação IFP do dedo indicador para investigar as cargas nos tendões e na articulação durante 11 atividades de vida diária. O modelo usou a ressonância nuclear magnética para obter a localização anatômica do tendão e a geometria dos ossos em conjunto com a cinemática tridimensional e com os dados obtidos das cargas. Foram feitas alterações na articulação IFP para

simular deformidades reumáticas com comprometimento do tendão e duas versões de modelos matemáticos de simulação patológica foram desenvolvidos para acomodar essa alteração anatômica após a cirurgia do tendão. Os autores relatam que o modelo oferece uma maior compreensão da relação entre os tendões e as superfícies articulares

Um modelo bidimensional utilizado para avaliar a relação do membro superior e o movimento dos dedos durante a realização da pinça foi descrito por Paulignan et al., (1990). Os movimentos foram registrados por uma câmera e foram fixados marcadores no polegar, na articulação MTC-F e na ponta e do dedo indicador e no processo estilóide do rádio. O marcador do punho foi utilizado para medir o componente transporte da pinça; marcadores no cotovelo, punho e articulação MTC-F foram utilizados para calcular os ângulos do punho e marcadores dos dedos indicador e polegar foram utilizados para avaliar a distância entre esses dedos durante a realização da pinça. Foram realizados dois testes o controle e o perturbado. No controle o objeto a ser apreendido era iluminado e no teste perturbado um objeto era iluminado primeiro e depois a luz era trocada para iluminar outro objeto. Os dados verificaram que alterações muito rápidas na cinemática do movimento em resposta ao nível de perturbação visual, o qual preservou a precisão do movimento.

Na análise tridimensional trabalhos foram realizados utilizando a cinemática para avaliar a coordenação dos dedos e a seqüência do movimento das articulações durante a flexão e extensão. Somia et al., (1998) realizaram um estudo em 14 indivíduos saudáveis, com o objetivo de definir um padrão para o início de flexão e extensão dos dedos e determinar a seqüência de movimento das articulações MTC-F, IFP e IFD do 2º ao 5º dedos, durante a flexão e a extensão realizadas livremente. Foram utilizados marcadores esféricos reflexivos de 5 mm de diâmetro colados no dorso da mão direita, nas extremidades proximais e distais dos ossos metacarpianos, nas articulações IFPs e IFDs e no centro da unha de cada dedo, a uma distância de 2 mm da ponta. Os autores concluíram que as melhores seqüências, para os três dedos radiais durante a flexão foram IFD-IFP-MTC e IFP-IFD-MTC, durante a extensão foram IFD-MTC-IFP e IFD-MTC/IFP (nessa seqüência a MTC e IFP se movimentaram juntas). Houve diferença na seqüência para o quinto dedo durante a flexão e a extensão.

Braido e Zhang (2004) examinaram quantitativamente o padrão de coordenação e a sinergia do movimento do 2º ao 5º dedos durante a manipulação de um cilindro realizada com

o movimento conjunto e individualmente dos dedos. Foi utilizada uma análise por componentes principais e um modelo matemático para quantificar características espacial e temporal. Os autores verificaram que a seqüência de flexão de proximal para distal (MTC-IFP-IFD) aconteceu em 89% enquanto que a seqüência de IFP-MCP-IFD foi de 11% para os dedos durante o movimento conjunto. Para a análise da flexão dos dedos individualmente essa seqüência de proximal para distal aconteceu em 93% no 2º dedo, 86% no 3º dedo, 80% no 4º dedo e 82% no 5º dedo. Em ambos os trabalhos os autores analisaram a sinergia de movimento entre as articulações de cada dedo, definindo seqüências de movimentos, entretanto a sinergia entre os dedos não foi analisada.

Um estudo para validar a análise tridimensional foi realizado por Rash et al., (1999), comparando essa análise à análise bidimensional por fluoroscopia, durante a realização dos movimentos de flexão e extensão livres do dedo indicador da mão direita, em 6 adultos normais. Foram utilizados marcadores esféricos reflexivos fixados à pele do dorso da mão nas regiões proximais e distais do 2º, 3º e 5º metacarpianos, articulação interfalangeana proximal e distal do 2º dedo e centro da unha do 2º dedo, a 2 mm da ponta da unha. O registro das imagens foi realizado simultaneamente por 3 câmeras e pelo fluoroscópio. Os valores dos coeficientes de determinação múltipla para as articulações MTC, IFP e IFD foram de 0,96; 0,98 e 0,94 respectivamente, sugerindo similaridade entre os métodos.

4.6 Análises da técnica pianística

Entre 1801 e 1839 vários trabalhos e exercícios foram amplamente divulgados para serem executados no piano, com o objetivo de desenvolvimento técnico (RICHERME, 1996).

Pianistas como Liszt, Chopin e Thalberg chegavam a pontos culminantes da técnica em nível prático, enquanto que a técnica teórica, nessa mesma época, ainda permanecia incipiente. As descrições que se têm documentadas sobre a maneira de tocar desses pianistas sugerem que eles faziam instintivamente o que não havia sido captado pelos teóricos (RICHERME, 1996, p.18).

Carl Czerny, professor de Franz Liszt, em um de seus livros dizia que as qualidades naturais são: flexibilidade, ligeireza de movimentos e leveza, sem ser fraca demais ou rija demais. Entretanto, Amy Fay, pianista norte americana, descreve em cartas dirigidas a seus pais (durante seus estudos na Alemanha de 1869 a 1875) que a exigência dos exercícios era tanta que a obrigavam a tocar tremendamente forte e o mais rápido possível, e as suas mãos ficavam tão cansadas, a ponto de paralisarem até ela não conseguir mais prosseguir (RICHERME, 1996).

Charles Hanon (1820-1900), pianista francês, dizia que “se todos os cinco dedos de cada mão forem absoluta e igualmente bem treinados, eles estarão prontos para executar qualquer obra escrita para o instrumento...” e com isso encorajou todos a praticar fielmente seus exercícios. Desilusão e frustração eram o que acontecia para a maioria dos estudantes (RICHERME, 1996).

Posteriormente, novas técnicas foram enfatizadas, tais como o relaxamento, o uso do peso e dos movimentos dos braços e, principalmente, a maneira de como estudar, que passou a ser mais importante do que o próprio estudar. Durante décadas, pesquisadores fizeram estudos polêmicos que não foram aceitos pelos pianistas; do ponto de vista científico, muito ainda poderá ser feito em benefício da técnica instrumental (RICHERME, 1996).

O conhecimento da anatomia, fisiologia e mecânica dos movimentos são de fundamental importância para o estudo de técnicas pianísticas. Um exemplo da importância de um estudo nesse sentido é o do pianista e compositor Robert Schumann, que, insatisfeito com o seu desempenho técnico, construiu um aparelho para exercitar seu dedo anular, o que acabou por paralisá-lo (RICHERME, 1996).

Para analisar o efeito do treinamento, estudos com pianistas foram realizados utilizando a ressonância nuclear magnética para avaliar a atividade cortical. Jäncke et al., (2000) verificaram que as áreas motora primária e secundária foram consideradas ativadas em menor grau nos pianistas do que nos não pianistas. Os autores sugerem que um treinamento intenso de habilidade manual, como no pianista, leva a uma maior eficiência do movimento, que é refletido pelo reduzido número de atividade neural necessária para desempenhá-lo. A resposta ao treinamento foi observada através da atividade neural, entretanto esse treinamento poderia refletir também nas atividades manuais realizadas no dia a dia?

Porém, um treinamento intenso, com contração muscular mantida por um longo tempo, pode ser identificado como um fator de risco para lesões do sistema músculo esquelético. Parlitz et al., (1998) realizaram um estudo com 10 pianistas amadores e 10 pianistas experientes utilizando um sistema de medida de pressão dinâmica acoplado às teclas de um piano, e analisou o pulso (intensidade) e a duração do toque na tecla durante a realização de 3 exercícios com os dedos, com aumento gradativo de dificuldade entre eles. Os autores observaram que para manter o mesmo pulso e a mesma sonoridade, os pianistas amadores exerciam uma força maior nas teclas, levando a um maior pulso médio por toque. Eles sugerem a utilização de um sistema de medida de força para auxiliar estudantes de música e professores a treinar a técnica pianística sem esforços (sobrecargas), prevenindo as lesões por esforços repetitivos.

A análise da reprodutibilidade do movimento dos dedos de pianistas foi analisada por Sforza et al., (2003), durante um exercício em que tocaram as notas nas diferentes oitavas, em 80, 112 e 160 bmp (batimentos por minuto). Foram avaliados 5 pianistas (3 homens e 2 mulheres) todos profissionais e as coordenadas tridimensionais das mãos e dos dedos do membro superior direito foram digitalizadas por um sistema de análise de movimento. Os autores encontraram diferenças significativas entre pianistas e velocidades. A pior reprodutibilidade foi observada no pianista concertista e que era o mais idoso (70 anos) e a melhor reprodutibilidade foi evidenciada na professora de piano com 39 anos de idade.

Tocar piano é uma habilidade na qual mãos e dedos se movimentam naturalmente em um padrão complexo e bem codificado. Entretanto essa habilidade adquirida para tocar piano pode estar aprimorada também em outras atividades não diretamente relacionadas ao piano?

Dessa forma a análise da trajetória de marcadores que representem o movimento pode ser utilizada para compreensão do padrão do movimento, através de variáveis obtidas por sistemas de análise, e com isso verificar e quantificar diferenças entre pianistas e não pianistas.

5 Metodologia

Considerando que o objetivo desta pesquisa foi analisar as alterações no movimento de preensão induzidas pelo treinamento, a metodologia proposta foi baseada na reconstrução tridimensional da posição de marcadores localizados no dorso da mão de pianistas e não pianistas, utilizando um sistema de análise cinemática.

Para tanto foi utilizado um sistema de análise cinemática que obtêm as coordenadas tridimensionais de marcadores passivos a partir de imagens de vídeo. Foram estudados os ângulos de flexão e extensão das 4 articulações metacarpofalangeanas do 2º ao 5º dedos. Estes foram definidos a partir da colocação de marcadores sobre a pele, nas extremidades proximais e distais dos ossos previamente identificados por palpação.

Depois de obtidas as coordenadas tridimensionais desses marcadores foram calculadas as variáveis experimentais descritoras do movimento dos dedos, durante a realização das tarefas. Foram calculados os ângulos de flexão e extensão das articulações metacarpofalangeanas, em função do tempo e, a partir da posição angular, foi obtida a velocidade angular. Posteriormente, foram calculadas as amplitudes angulares máximas, as variáveis obtidas do diagrama de fase através da análise por componentes principais e por último as correlações entre as curvas dos ângulos das articulações dos dedos. Todos os valores foram comparados entre os pianistas e não pianistas.

Além das variáveis cinemáticas, foram analisadas variáveis antropométricas (massa, altura e medidas antropométricas da mão) e a variável dinâmica (força máxima de preensão palmar).

Para a avaliação da metodologia, foram analisadas a acurácia das medidas, a sensibilidade através da variação do erro do sistema e a comparação de diferentes métodos de medidas de distâncias entre marcadores. O sistema de análise tridimensional utilizado foi o Dvideow e o tratamento dos dados foi realizado em ambiente Matlab® (The MathWorks, Inc.,

Natick, MA). Neste capítulo são apresentadas: a caracterização dos voluntários, o protocolo de avaliação, a descrição do modelo de representação da mão, todo o procedimento que envolveu o experimento, o ambiente da coleta, o sistema de calibração e de análise, a avaliação da metodologia, o tratamento dos dados, a obtenção das variáveis cinemáticas e análise estatística utilizada.

5.1 Caracterização dos voluntários

Os voluntários foram divididos em 2 grupos, sendo o primeiro grupo denominado de controle, com 14 voluntários (7 homens e 7 mulheres) sem história de patologias neuromusculares ou musculoesqueléticas, presença de dor ou fraqueza muscular e nem cirurgias no membro superior direito. O segundo grupo foi formado por 11 pianistas (5 homens e 6 mulheres) com tempo mínimo de 10 anos de prática da atividade. Dos 11 pianistas, 09 são alunos de graduação em música (no curso de instrumento/piano) do Instituto de Artes – Departamento de Música da UNICAMP e 02 são professoras de piano. Para as mulheres pianistas a média de tempo de prática foi de 15 anos ($\pm 3,06$) e para os homens a média foi de 12 anos ($\pm 2,50$).

Os valores médios e desvios padrões das características gerais dos voluntários do grupo controle e dos pianistas estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores médios e desvios padrões das características gerais dos voluntários

		n	Idade (anos)	Massa (kg)	Altura (m)	Lado dominante	
						D	E
Grupo controle	Mulheres	07	25 ($\pm 6,4$)	57,1 ($\pm 9,0$)	1,62 ($\pm 0,05$)	06	01
	Homens	07	29 ($\pm 7,2$)	71,3 ($\pm 8,2$)	1,76 ($\pm 0,06$)	07	00
	Total	14	27 ($\pm 7,2$)	64,2 ($\pm 11,3$)	1,69 ($\pm 0,09$)	13	01
Grupo pianistas	Mulheres	06	28 ($\pm 8,5$)	59,7 ($\pm 6,6$)	1,67 ($\pm 0,11$)	03	03
	Homens	05	22 ($\pm 2,2$)	67 ($\pm 4,0$)	1,76 ($\pm 0,06$)	05	00
	Total	11	25 ($\pm 7,7$)	63,1 ($\pm 6,2$)	1,70 ($\pm 0,11$)	08	03

n= número de voluntários; D= lado direito; E= lado esquerdo

Este trabalho foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Estadual de Campinas, conforme protocolo nº 507/ 2002. De acordo com a ética em pesquisa com seres humanos, todos os voluntários obtiveram

esclarecimentos prévios sobre os procedimentos a que foram submetidos e aceitaram participar da pesquisa, assinando o termo de consentimento livre e esclarecido (ANEXO A).

5.2 Protocolo de avaliação

Previamente à realização das tarefas, os voluntários foram submetidos a uma avaliação inicial, constando dos dados pessoais, anamnese, medidas antropométricas (massa, altura e medidas antropométricas da mão) e medidas dinamométricas (ANEXO B). Tanto as medidas antropométricas quanto as medidas de força foram realizadas apenas na mão direita.

5.2.1 Variáveis antropométricas

Foram realizadas medidas antropométricas da mão para caracterização dos grupos analisados, buscando verificar diferenças entre medidas antropométricas da mão de pianistas e não pianistas.

As medidas antropométricas realizadas foram as sugeridas por Webb Associates (1978) *apud* Chaffin et al., (1999) sendo a largura da palma (LP), o comprimento do dedo indicador (CD), a espessura da palma (EP), a largura da mão (LM), a circunferência da palma (CP) e a circunferência da mão (CM) (Figura 8). As medidas de circunferência da palma e a da mão foram realizadas com uma fita métrica, e as outras medidas com um paquímetro. A medida da largura da palma está representada na Figura 9.

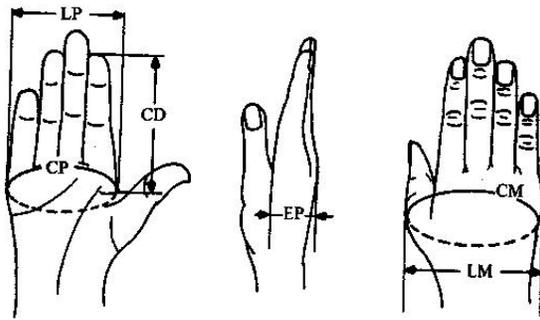


Figura 8 - Medidas antropométricas da mão
 Fonte: CHAFFIN et al., 1999, p. 449



Figura 9 - Medida da largura da palma (LM) realizada com o paquímetro.

Para a realização da medida da largura da palma (LP) o paquímetro foi colocado nas superfícies externas das cabeças do 2° e 5° metacarpos e na medida largura da mão (LM) foi colocado na superfície externa da falange proximal do polegar e cabeça do 5° metacarpo. Na medida do comprimento do dedo indicador (CD) as extremidades do paquímetro foram colocadas na prega de flexão da articulação metacarpofalangeana e extremidade distal do 2° dedo. Na medida da espessura da palma (EP) as extremidades do paquímetro foram colocadas na região dorsal e palmar da cabeça do 3° metacarpo. Para as medidas de circunferência, o ponto de referência do início e final da fita métrica foi o terço médio da diáfise do 3° metacarpo. Foi mantida a nomenclatura utilizada no trabalho de *Webb Associates (1978) apud Chaffin et al., (1999)*, porém a medida da circunferência corresponde à medida da perimetria da palma e da mão.

5.2.2 Medidas da força isométrica máxima - Variável dinamométrica

Para a realização das tarefas as posições utilizadas foram a preensão palmar grossa e em gancho, que são tipos de preensões de força. Nessas tarefas o tipo de exercício foi o resistido com resistência mecânica (exercitador) e por isso foi realizada uma medida da força máxima da preensão palmar buscando a graduação da força e a caracterização dos grupos.

Para a realização das medidas de força isométrica máxima foi utilizado um dinamômetro hidráulico da marca Jamar® com graduação de 0 kgf a 90 kgf. Os voluntários

permaneceram sentados com o cotovelo fletido a 90°, antebraço e punho em posição neutra, sem apoio para o antebraço (Figura 10), segundo a recomendação da Sociedade Americana dos Terapeutas da Mão (FESS e MORAN, 1981).



Figura 10 – Posição para o teste de força máxima.

Previamente à coleta dos dados de força, o dinamômetro foi calibrado com massas de chumbo aferidas de 1kg, 2kg, 2,1kg, 5 kg e 10kg, num total de 20,1 kg. Para a realização da calibração foi construído um equipamento semelhante a uma balança em que o dinamômetro foi adaptado e as massas foram acomodadas (Figuras 11 e 12). O suporte da balança que acomodou as massas de chumbo possui uma massa de 0,7 kg e as massas foram acrescentadas na seqüência descrita na Tabela 2.

Foi verificada a medida do dinamômetro a cada acréscimo da massa, elaborado um diagrama de dispersão e observada sua regressão linear. O coeficiente de correlação linear foi de 0,997. Os valores dos dados calibração e a reta da regressão linear estão apresentados na Tabela 2 e Figura 13. Os dados medidos no dinamômetro foram corrigidos de acordo com a reta da regressão linear.

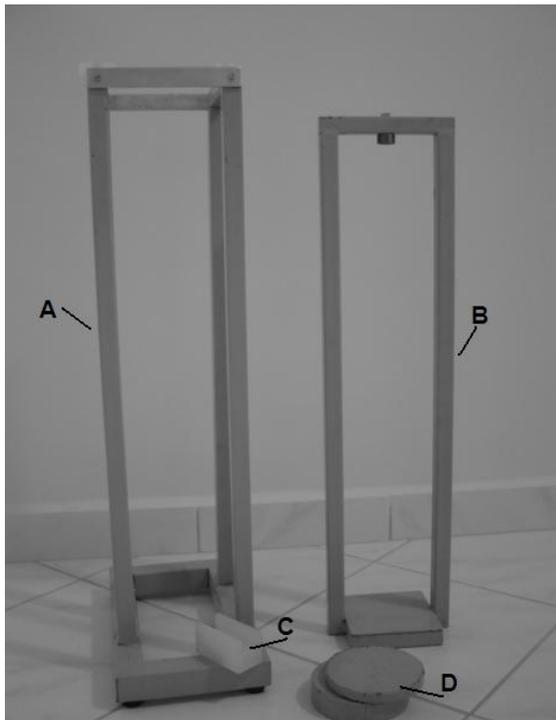


Figura 11 - Partes do equipamento. A - Base do equipamento. B – Suporte da balança para acomodarr as massas. C- Base de nylon para adaptação do dinamômetro. D -Massas de chumbo



Figura 12 - Equipamento com dinamômetro

Tabela 2 – Dados da leitura do dinamômetro em relação as massas colocadas na balança

Massas [kg]	Leitura no dinamômetro[Kgf]
0,7	1
1,7 (0,7+1,0)	2,1
3,8 (0,7+1,0+2,1)	4,1
5,8 (0,7+1,0+2,1+2,0)	6,2
10,8 (0,7+1,0+2,1+2,0)	11
15,8	17,5
20,8	21,9

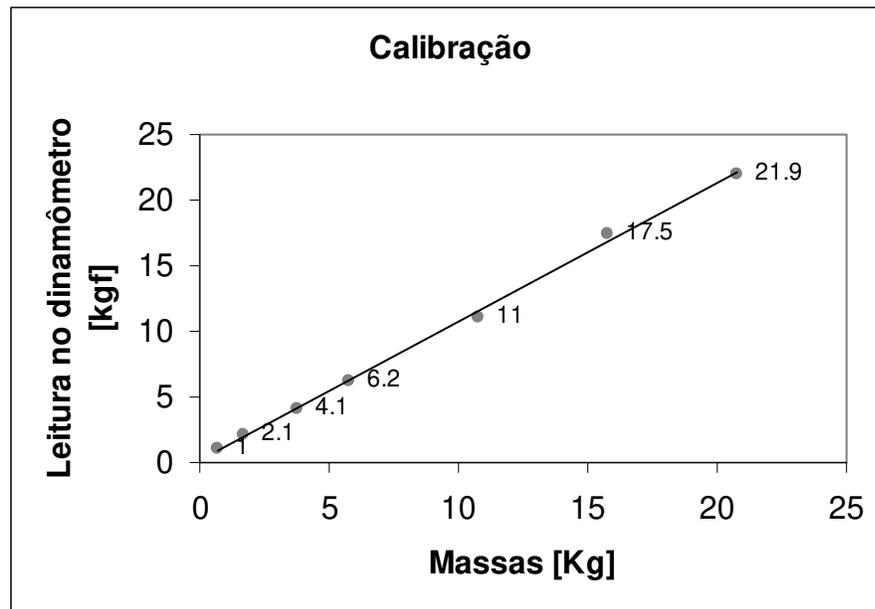


Figura 13 – Reta da regressão linear $\hat{y} = 1,05x + 0,16$ ajustada aos pontos experimentais relativos a resposta do dinamômetro em relação a colocação das massas. $R^2 = 0,997$

5.3 Modelo de representação da mão

Foram estudados os ângulos de flexão e extensão das articulações entre os 4 metacarpos e as 4 falanges proximais do 2º ao 5º dedos. Cada segmento foi definido no espaço pelas posições de 2 marcadores fixados nas extremidades desses ossos, sobre o eixo longitudinal. Assumiu-se que o menor ângulo entre os segmentos corresponde o ângulo de flexão da articulação metacarpofalangeana.

Marcadores retroreflexivos planos de 4 mm de diâmetro foram fixados no dorso da mão direita dos voluntários, em 16 pontos de referência palpáveis, localizados nas extremidades dos ossos metacarpianos e falanges proximais do segundo ao quinto dedos (Figura 14). O mesmo pesquisador colocou os marcadores em todos os voluntários, para padronizar o procedimento e minimizar os erros na colocação dos marcadores.

Os marcadores foram colados nas extremidades proximais e distais dos ossos buscando minimizar o efeito do deslocamento do marcador pelo movimento da pele. Este

deslocamento é maior quando os marcadores são colados sobre as articulações, principalmente nas regiões com pregas cutâneas, como no dorso da mão.

Para o cálculo dos ângulos de flexão e extensão das articulações metacarpofalangeanas, os marcadores foram identificados em ordem numérica, do segundo ao quinto dedo da mão (Figura 15).

As referências utilizadas para identificação dos marcadores foram:

P1: extremidade proximal do 2º metacarpo

P2: extremidade proximal do 3º metacarpo

P3: extremidade proximal do 4º metacarpo

P4: extremidade proximal do 5º metacarpo

P5: extremidade distal do 2º metacarpo

P6: extremidade distal do 3º metacarpo

P7: extremidade distal do 4º metacarpo

P8: extremidade distal do 5º metacarpo

P9: extremidade proximal da 2º falange proximal

P10: extremidade proximal da 3º falange proximal

P11: extremidade proximal da 4º falange proximal

P12: extremidade proximal da 5º falange proximal

P13: extremidade distal da 2º falange proximal

P14: extremidade distal da 3º falange proximal

P15: extremidade distal da 4º falange proximal

P16: extremidade distal da 5º falange proximal



Figura 14 - Disposição dos 16 marcadores no dorso da mão direita.

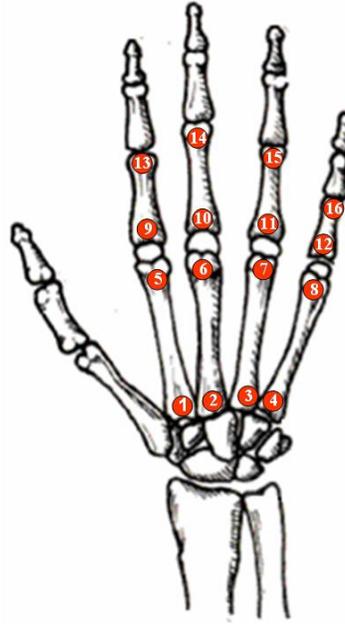


Figura 15 - Identificação numérica dos marcadores no modelo.

5.4 Procedimento experimental

Para a realização das tarefas, os voluntários permaneceram sentados em uma cadeira com apoio regulável para o antebraço (Figura 16), mantendo o cotovelo fletido a 90°, antebraço e punho em posição neutra. O antebraço foi fixado com uma faixa de neoprene ao apoio da cadeira para limitar os movimentos compensatórios de pronação (Figura 17).



Figura 16 – Cadeira de apoio regulável para antebraço.

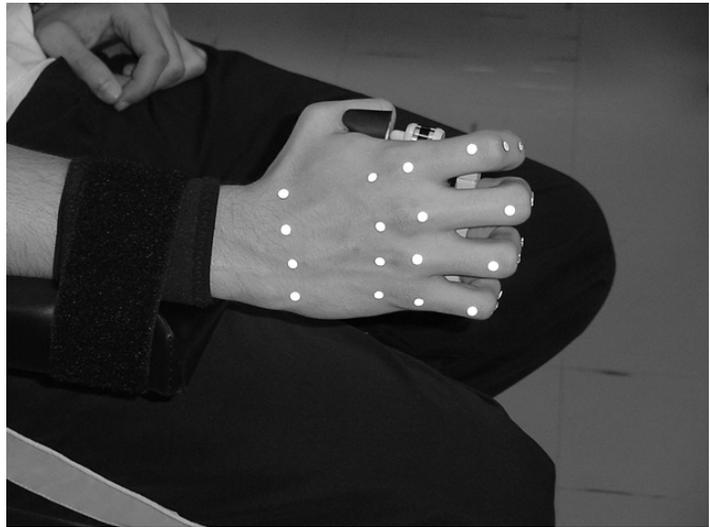


Figura 17 - Fixação do antebraço com uma faixa de neoprene no apoio da cadeira.

Para a realização do movimento de prensão de força foi utilizado um exercitador para mãos e dedos da marca digiflex®, com resistência de 0,7 kgf para cada dedo e 2,3 kgf para todos os dedos (Figura 18), a fim de padronizar a execução das tarefas.



Figura 18 - Exercitador de mãos e dedos utilizado para a realização das tarefas.

Para o protocolo dos testes foi solicitado que o voluntário realizasse 4 tarefas combinando os fatores do tipo de prensão e velocidade de execução contra o exercitador. Cada tarefa foi repetida 5 vezes com um intervalo de 3 segundos entre cada repetição e de 5 minutos

entre cada tarefa. Cada repetição foi realizada mediante um comando dado pelo pesquisador. Previamente à aquisição das imagens, os voluntários realizavam as tarefas para treinamento do movimento.

Para a primeira tarefa a mão do voluntário foi posicionada em preensão grossa (Figura 19) contra o exercitador e solicitado para o voluntário realizar 5 movimentos de flexão e extensão dos dedos o mais rápido possível (velocidade rápida). Na segunda tarefa foi mantida a mesma posição da mão e solicitado que o voluntário realizasse os movimentos de flexão e extensão contra o exercitador de forma bem lenta (velocidade lenta).

Na terceira e quarta tarefas a mão foi posicionada na preensão em gancho (Figura 20) e a seqüência do comando em relação à velocidade de execução e número de repetições foi o mesmo, sendo o movimento com velocidade rápida para a terceira tarefa e com velocidade lenta para a quarta tarefa.

O tempo médio para a realização do movimento de flexão e extensão em cada repetição foi de 1,5 segundo nas tarefas com velocidade rápida e de 7 segundos nas tarefas com velocidade lenta. O tempo de intervalo entre as repetições foi o mesmo (3 segundos) tanto para as tarefas realizadas com velocidade rápida quanto lenta.

Dessa forma o procedimento experimental foi constituído do registro em vídeo de quatro tarefas distintas, realizando a preensão palmar contra a resistência de um exercitador de dedos, na seqüência a seguir:

Tarefa 1 - Preensão grossa em velocidade rápida (T1)

Tarefa 2 - Preensão grossa em velocidade lenta (T2)

Tarefa 3 - Preensão em gancho em velocidade rápida (T3)

Tarefa 4 - Preensão em gancho em velocidade lenta (T4)



Figura 19 – Posição da mão para a realização da tarefa com preensão grossa.



Figura 20 – Posição da mão para a realização da tarefa com preensão em gancho.

5.5 Ambiente da coleta dos dados

O experimento foi realizado no Laboratório de Instrumentação para Biomecânica da Faculdade de Educação Física da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP.

Para o registro do movimento de preensão da mão foram utilizadas quatro câmeras digitais fixadas a quatro tripés e quatro iluminadores dispostos na mesma direção das câmeras (Figuras 21 e 22). Essa disposição busca uma maior reflexão dos marcadores. Os parâmetros das câmeras foram ajustados sendo o foco colocado no manual e o shutter (tempo de abertura) em $1/250[s]$.

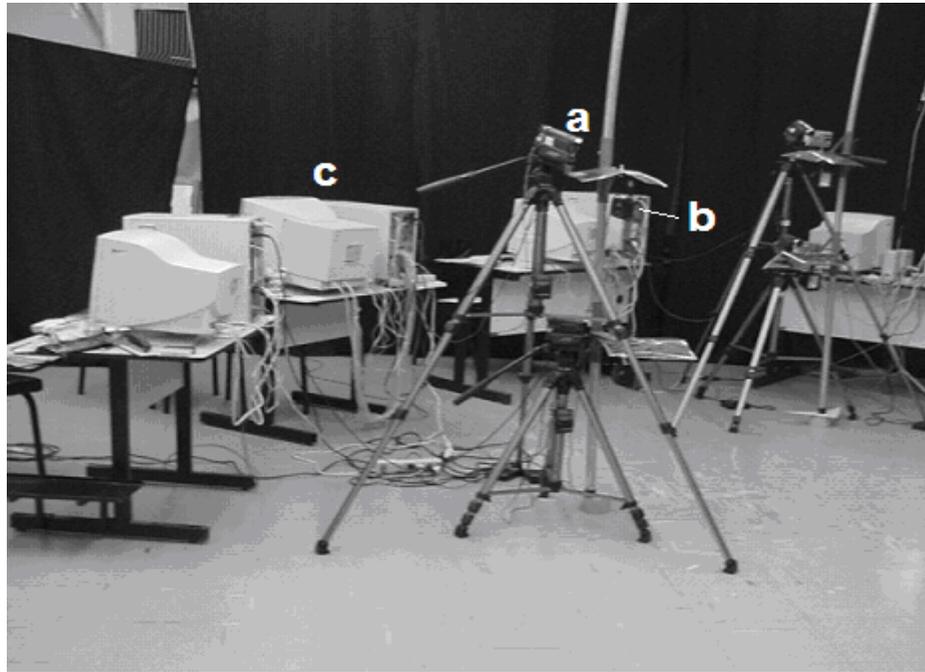


Figura 21 - Disposição das câmeras (a), iluminadores (b) e computadores (c) conectados via intranet.

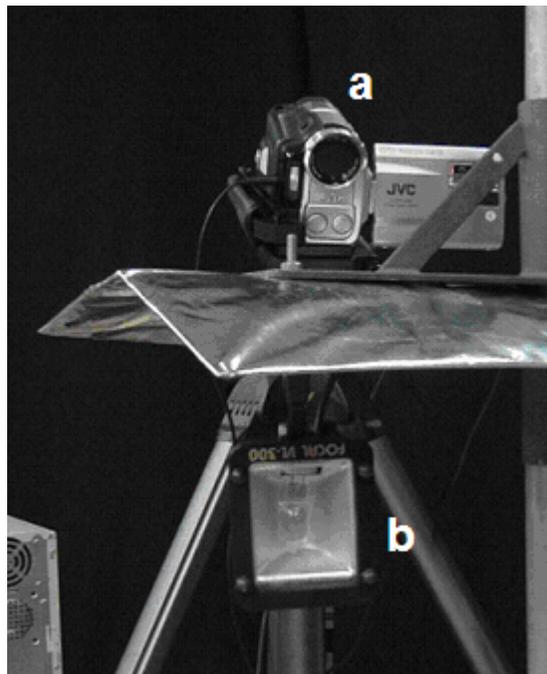


Figura 22 - Disposição da câmera (a) e do iluminador (b).

As câmeras foram dispostas do lado direito do voluntário e a cadeira foi posicionada de forma que o antebraço estivesse apoiado no braço da cadeira e a mão no local do enquadramento das câmeras. Uma representação esquemática do ambiente da coleta de dados com a disposição dos equipamentos está demonstrada na Figura 23. Nesse esquema não estão representados os computadores.

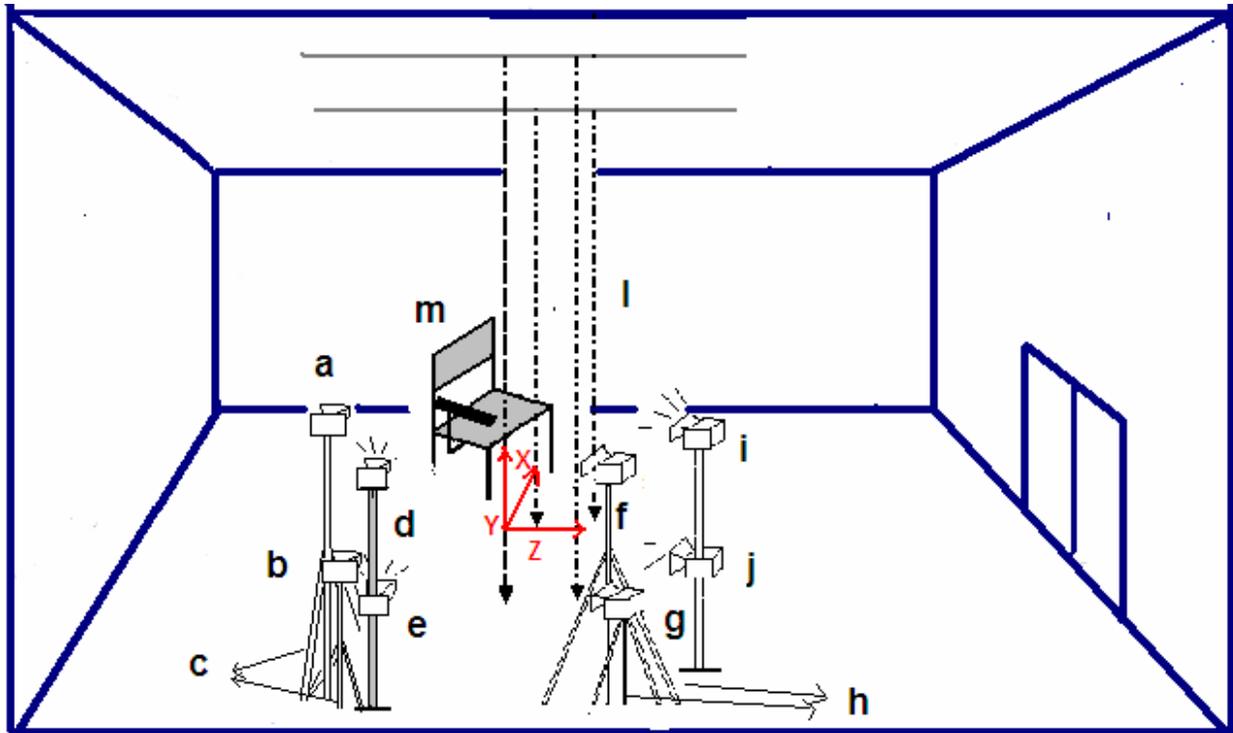


Figura 23 – Representação do ambiente da coleta dos dados com a disposição dos equipamentos:
Equipamentos: a) Câmera 1; b) Câmera 2; c) Tripés das câmeras 1 e 2; d) e e) Iluminadores; f) Câmera 3; g) Câmera 4; h) Tripés das câmeras 3 e 4; i) e j) Iluminadores; l) Calibrador; m) Cadeira com apoio para o antebraço.

5.6 Sistema de calibração

O movimento de um marcador pode ser descrito se conhecida a sua posição no espaço em relação a um dado referencial. Esta pode ser definida com a ajuda de um sistema de três coordenadas cartesianas (X,Y, Z).

O sistema utilizado para calibração das câmeras foi formado por 4 fios de aço de 0,5 mm de espessura, com um prumo fixado na extremidade de cada fio e esferas de 5 mm de diâmetro posicionadas nos fios a uma distância vertical de aproximadamente 100 mm entre cada esfera (Figura 24). Esses fios foram encaixados a um sistema de trilhos fixados no teto do laboratório e, nesse experimento o volume destinado para a execução do movimento foi de aproximadamente 163 mm de comprimento, 157 mm de largura e 150 mm de altura (Figura 25).



Figura 24 - Sistema de calibração.

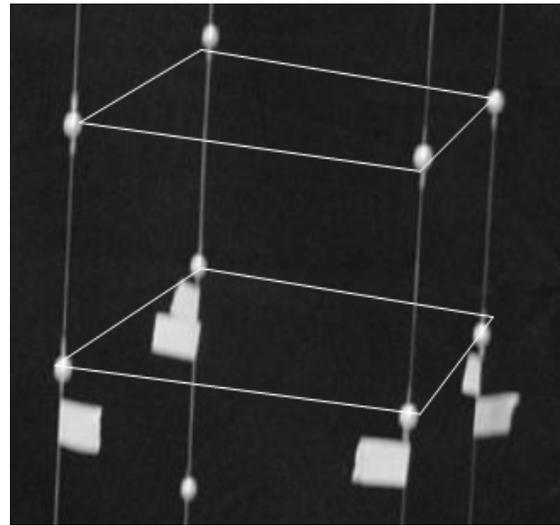


Figura 25 – Representação do espaço utilizado para aquisição das imagens da mão.

O sistema de coordenada foi definido por 3 eixos ortogonais e a origem deste sistema foi localizada na esfera pósterio-inferior direita da base inferior do retângulo. A orientação adotada foi eixo vertical (coordenada Y) com sentido positivo para cima, o eixo horizontal (coordenada Z) com sentido positivo para frente (do punho para mão) e eixo transversal (coordenada X), ortogonal aos outros dois eixos com sentido positivo da direita para a esquerda. Na Figura 26 está representado o sistema de referência utilizado.

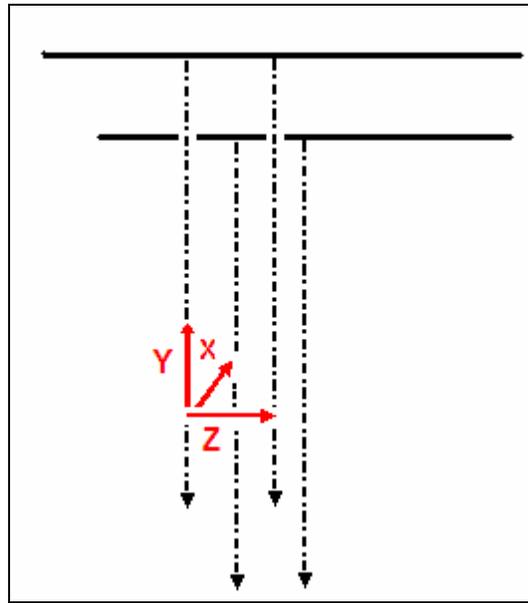


Figura 26 - Sistema de referência: Coordenada Y de direção vertical e sentido positivo para cima, coordenada Z de direção horizontal e sentido positivo para frente e coordenada X, ortogonal aos outros dois eixos com sentido positivo da direita para a esquerda.

Depois de preparado o ambiente experimental e ajustados os parâmetros das câmeras foi realizado o registro dos marcadores nos fios que correspondem ao volume de interesse. Os arquivos das imagens da calibração foram armazenados e utilizados durante o processamento das imagens das mãos, no Dvideow.

5.7 Sistema de análise cinemática

O sistema de videogrametria utilizado para aquisição e processamento das imagens foi o Dvideow - *Digital Vídeo for Biomechanics*, desenvolvido no Laboratório de Instrumentação para Biomecânica – Faculdade de Educação Física – UNICAMP (BARROS et al., 1999; FIGUEROA et al., 2003).

Este sistema obtém as coordenadas tridimensionais de marcadores passivos a partir de imagens bidimensionais obtidas por câmera de vídeo. Neste trabalho foram utilizadas câmeras de vídeo digitais padrão NTSC, da marca JVC modelo GR-DVL 9500, conectadas a

microcomputadores que se comunicam via intranet através de placas de comunicação padrão IEEE 1394.

5.7.1 Aquisição e armazenamento dos dados

Após a realização da calibração os fios são removidos. O voluntário é posicionado no local, a sua mão é colocada no espaço correspondente ao previamente calibrado e iniciada a captura da imagem da mão realizando as tarefas.

O sistema Dvideow permite a captura *on line* da imagem, não havendo a necessidade de digitalização posterior, como acontece quando são utilizadas câmeras com fitas. Os movimentos registrados pelas câmeras foram armazenados como seqüência de imagens em arquivos de formato AVI (*Audio Vídeo Interleaved*) no disco rígido de cada microcomputador conectado ao sistema. Posteriormente foram realizadas as medições das coordenadas de tela dos marcadores e a reconstrução tridimensional para cada arquivo gerado. A freqüência de amostragem foi de 60 Hz.

5.7.2 Sincronização dos registros

Durante a captura das imagens é comum ocorrer uma defasagem temporal entre os registros de diferentes câmeras, levando a uma não correspondência no total dos quadros filmados entre as câmeras. A reconstrução tridimensional exige que as projeções dos pontos de interesse sejam simultâneos, sendo necessária a utilização de um procedimento de sincronização.

O método de sincronização utilizado foi proposto por Barros et al., (2005); e consiste em adaptar um sinal de áudio reproduzido durante a aquisição das imagens e transmitido para as câmeras via freqüência modulada (FM). No Dvideow está implementada uma rotina que identifica esse sinal, lê o código armazenado e interpreta-o determinando a defasagem temporal entre os registros. Sendo assim o sinal de áudio é identificado na seqüência de imagem de cada câmera e selecionada uma câmera para servir de referência, às outras são sincronizadas em relação a esta.

5.7.3 Medição das coordenadas e reconstrução tridimensional

Para a medição das coordenadas os marcadores da mão foram identificados em ordem numérica do segundo ao quinto dedo, no primeiro quadro de cada seqüência de imagem e realizado seu rastreamento. Foram realizadas as medições das quatro seqüências de imagens para cada tarefa, de cada voluntário, num total de 400 seqüências de imagens (4 câmeras, 4 tarefas e 25 voluntários).

Cada arquivo gerado por câmera contém aproximadamente 500 quadros para as tarefas rápidas e 1000 quadros para as tarefas lentas; o tempo médio de processamento de cada arquivo foi de 30 minutos (dependendo da máquina) para os arquivos com 500 quadros e de 1 hora para os arquivos com 1000 quadros, para medições automáticas. Quando foi utilizada a medição semi-automática esse tempo foi maior.

Um exemplo das medições das quatro seqüências de imagem, para uma tarefa está apresentado na Figura 27.

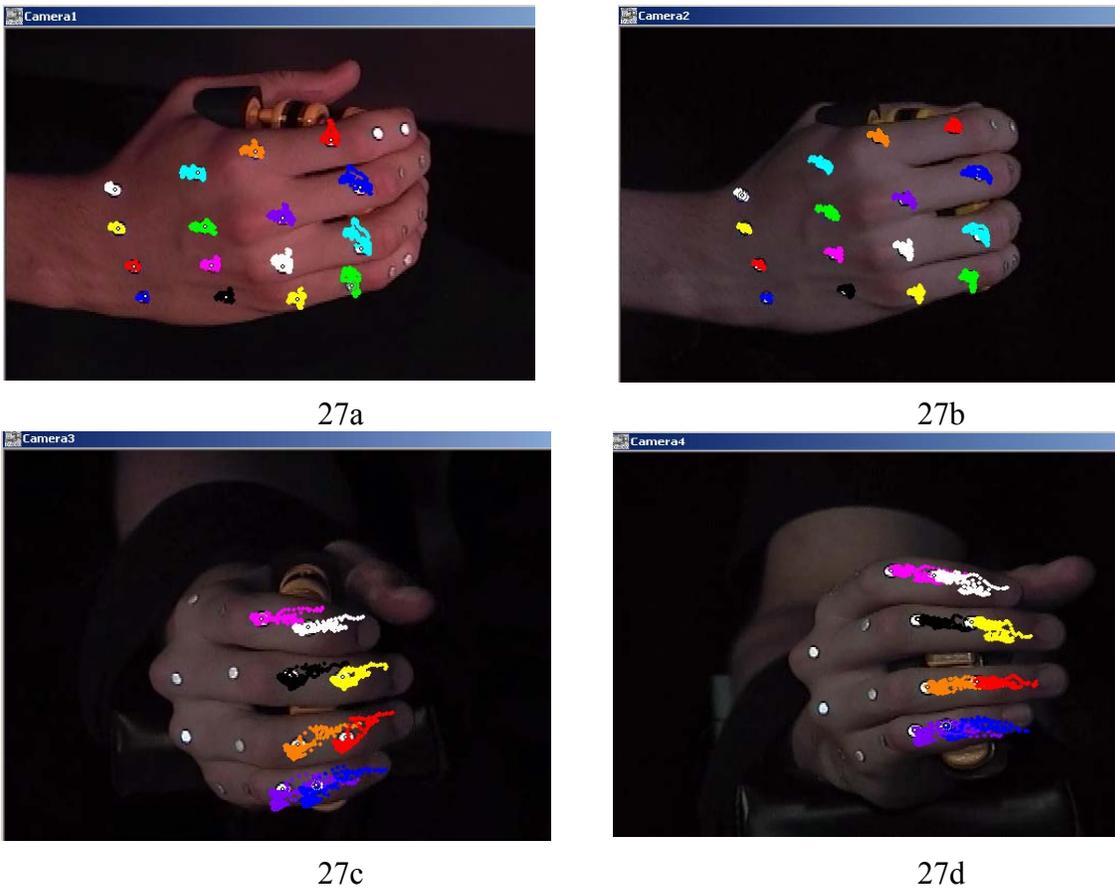


Figura 27 – Imagens das quatro câmeras após a medição das coordenadas. 27a) Câmera 1; 27b) Câmera 2; 27c) Câmera 3; 27d) Câmera 4. A trajetória dos marcadores está representada pelos pontilhados coloridos.

Neste trabalho as medições foram feitas, em sua maioria, por medição automática, porém em alguns arquivos a medição foi semi-automática. A busca da medição automática foi uma preocupação desde o início do trabalho, sendo que no planejamento do experimento, foram realizados testes com diferentes marcadores (esféricos e planos de diferentes diâmetros), diferentes posicionamentos das câmeras e dos iluminadores, buscando um melhor enquadramento da imagem, para que fosse possível a medição totalmente automática. Entretanto a medição semi-automática foi utilizada nos casos em que o voluntário realizou movimentos do antebraço ou punho, antes ou durante a realização da tarefa. Quando isso ocorre o marcador não fica na direção do feixe de luz do iluminador sendo que a diminuição do contraste do marcador dificulta o rastreamento automático.

Na reconstrução tridimensional, cada marcador deve ser visível por no mínimo duas câmeras simultaneamente. Para a realização da reconstrução é necessário que as quatro seqüências de imagens, suas medições e o arquivo de calibração de cada câmera tenham sido carregados no Dvideow. Tanto o procedimento de reconstrução quanto de calibração foram pelo método DLT (*Direct Linear Transformation*), inicialmente proposto por Abdel-Aziz e Karara. (1971) e está implementado *software*. Uma descrição mais detalhada pode ser encontrada em Barros (1997).

5.8 Avaliação da metodologia

5.8.1 Acurácia das medições

Com o objetivo de avaliar a acurácia das medições, foi realizado um experimento reconstruindo-se o movimento de um corpo rígido na forma de cruz, no espaço, com 8 marcadores fixados sobre ele (Figura 28). Um voluntário segurou a cruz entre os dedos e realizou movimentos rotacionais na cruz através do movimento de pronação e supinação do antebraço. A imagem desse corpo rígido, sendo movimentado por um voluntário, foi capturada pelas câmeras dispostas da mesma maneira que para a realização da coleta das imagens das tarefas. Foi aplicada a mesma rotina de medidas da trajetória das coordenadas e de reconstrução tridimensional.



Figura 28 – Corpo rígido em forma de cruz.

Foram calculadas as distâncias entre 2 marcadores para todos os possíveis segmentos do corpo rígido pelo sistema de análise e analisadas as variações destas distâncias. As medidas reais das distâncias entre os marcadores foram realizadas com um paquímetro.

Segundo Vuolo (2000), “a acurácia ou exatidão é um conceito qualitativo para descrever quanto o resultado de uma medição é próximo do valor verdadeiro. Isso significa que um valor muito acurado é um valor muito próximo do verdadeiro, com um erro total muito pequeno”.

E a precisão é definida pelo mesmo autor como “um conceito qualitativo para caracterizar resultados com erros estatísticos pequenos, com pequena dispersão em relação ao valor médio verdadeiro”.

Admitindo-se que os erros associados ao sistema apresentam distribuição normal, a acurácia (a) foi estimada pela seguinte expressão:

$$a^2 = b^2 + p^2 \quad (1)$$

Em que:

a = acurácia

b = é a diferença entre o valor médio observado e o valor esperado (*bias*)

p = medida da dispersão de um conjunto de dados em relação ao seu valor médio, dado pelo desvio-padrão

A normalidade dos erros está demonstrada no capítulo dos resultados.

A acurácia relativa foi calculada pela razão entre a média da acurácia das distâncias entre os marcadores e a maior dimensão do volume de calibração, que foi de 161,9 mm.

5.8.2 Análise da sensibilidade através da avaliação dos erros do sistema na determinação das variáveis

Com o objetivo de estimar a sensibilidade das variáveis angulares ao erro padrão do sistema, neste caso dado pela sua acurácia, foi realizado uma simulação em que erros

aleatórios de distribuição normal, com média zero e desvio padrão igual a acurácia do sistema (1,4 mm) foram adicionados às coordenadas tridimensionais dos pontos (marcadores), que representavam o metacarpo e falange proximal do segundo dedo de um voluntário. Este procedimento foi simulado para 100 repetições e, a partir desses dados foram calculadas as distâncias entre os marcadores e os ângulos entre os segmentos.

5.8.3 Comparação das medidas das distâncias entre os marcadores sobre a mão

Durante a avaliação inicial foram realizadas medidas diretas das distâncias entre os marcadores posicionados no dorso da mão. Essas medidas foram comparadas às calculadas pelo sistema, buscando avaliar o deslocamento do marcador na pele, durante a realização das tarefas.

Para a realização da medida direta, após a colocação dos marcadores no dorso da mão, os voluntários permaneciam sentados, com o antebraço em posição neutra, apoiado em uma mesa, o punho em posição neutra e flexão das articulações metacarpofalangeanas dos dedos. As medidas foram realizadas com um paquímetro partindo da extremidade externa de cada marcador e posteriormente subtraindo o valor do diâmetro do marcador, considerando a medida da distância à correspondente ao centro de um marcador a outro. As medidas foram realizadas nesta posição buscando medir a maior distância entre os marcadores.

Em relação às medidas calculadas pelo sistema, foram realizados dois testes, o primeiro denominado teste estático, em que os voluntários permaneciam com o antebraço e punho em posição neutra, dedos em extensão e se mantiveram nessa posição durante 5 segundos para aquisição da imagem (Figura 29). O segundo teste foi denominado dinâmico e correspondeu às medidas das distâncias entre os marcadores durante a realização das 4 tarefas.

As medidas entre as distâncias calculadas pelo sistema e a medida direta foram analisadas para apenas 12 voluntários, sendo 6 do grupo controle (3 mulheres e 3 homens) e 6 do grupo pianista (3 mulheres e 3 homens).

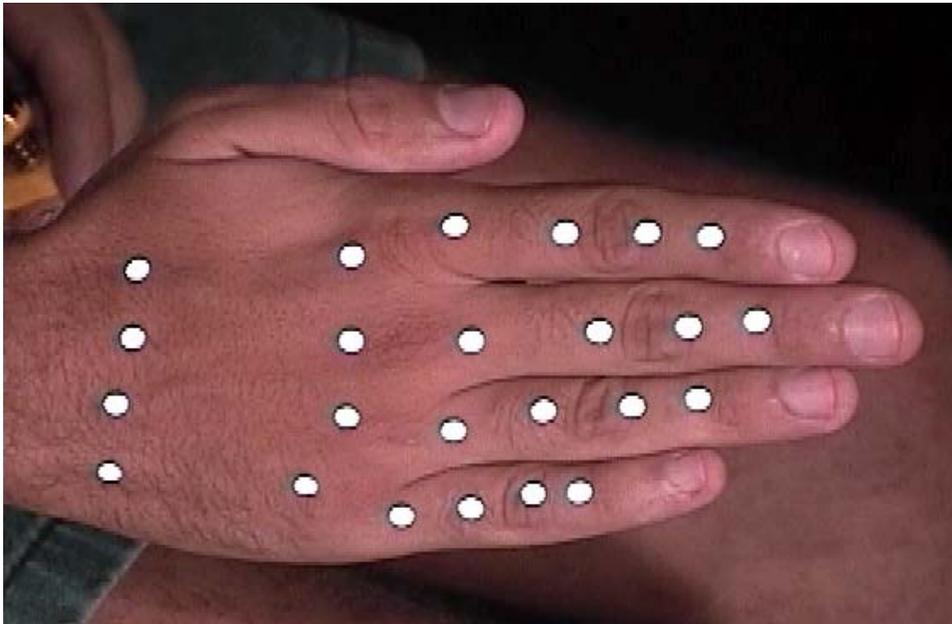


Figura 29 - Posição da mão durante a realização do teste estático.

5.9. Variáveis cinemáticas

A partir das coordenadas tridimensionais dos marcadores obtidas pelo sistema Dvideow, foram desenvolvidas rotinas em ambiente Matlab®, para obtenção das variáveis cinemáticas representativas dos movimentos dos dedos da mão.

As rotinas foram desenvolvidas para:

- Calcular as distâncias lineares entre os marcadores para obter os ângulos articulares e para avaliar a metodologia utilizada comparando diferentes métodos para a medida das distâncias lineares.
- Calcular os ângulos de flexão e extensão das articulações metacarpofalangeanas
- Suavizar as curvas desses ângulos utilizando filtro digital
- Calcular a velocidade angular
- Calcular a amplitude angular máxima baseada na localização do valor máximo e mínimo de cada curva da posição angular no tempo.

- Construir os diagramas de fase e obter as variáveis para caracterização do padrão e regularidade dos ciclos, a partir da ACP.
- Calcular as correlações entre as curvas dos ângulos de flexão e extensão das articulações metacarpofalangeanas do 2° ao 5° dedos.

5.9.1 Distâncias lineares entre os marcadores

Considerando que o Dvideow fornece a posição 3D dos marcadores em função do tempo, é possível calcular a distância linear entre quaisquer dois pontos.

Como são utilizadas coordenadas tridimensionais, a distância obtida entre dois marcadores corresponde à distância no espaço e, como essas distâncias são calculadas em função do tempo, é possível obter a variação dessas distâncias durante a realização das tarefas.

Segundo Boulos e Camargo (1987), quando fixado um sistema ortogonal de coordenadas, a distância entre dois pontos $A = (x_1, y_1, z_1)$ e $B = (x_2, y_2, z_2)$ é:

$$d(A, B) = \|\vec{BA}\| = \|x_1 - x_2, y_1 - y_2, z_1 - z_2\| \quad (2)$$

$$d(A, B) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} \quad (3)$$

Em que:

$d(A, B)$ = distância entre A e B.

$\|\vec{BA}\|$ = norma do vetor \vec{BA}

5.9.2 Ângulos de flexão e extensão das articulações metacarpofalangeanas

Os ângulos de flexão e extensão das articulações metacarpofalangeanas (MTC-F) foram obtidos a partir do cálculo do ângulo entre vetores. Cada vetor está associado a um segmento definido pela posição de dois marcadores, sendo que para cada articulação MTC-F, o segmento do metacarpo foi definido pelos marcadores localizados nas extremidades proximal e distal e o segmento da falange proximal por outros marcadores também localizados nas

extremidades proximal e distal. Assumiu-se que o menor ângulo ente os segmentos corresponde ao ângulo de flexão da articulação metacarpofalangeana.

Na Figura 30 estão esquematizados os vetores associados aos segmentos do metacarpo e falange proximal do 2º dedo, e o ângulo θ formado por esses vetores. Sejam a e b dois vetores não nulos no espaço tridimensional, o ângulo θ é o ângulo entre a e b .

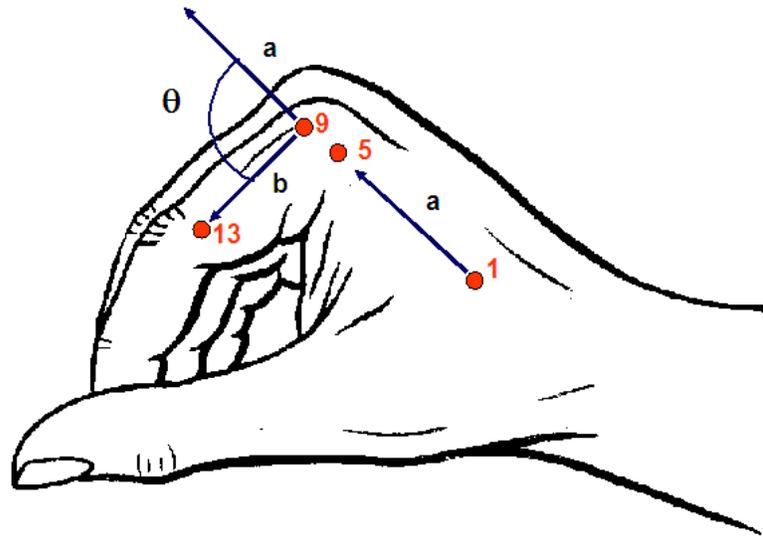


Figura 30 – Descrição do cálculo dos ângulos articulares. Os marcadores 1 e 5 localizados nas extremidades proximais e distais do 2º metacarpo; marcadores 9 e 13 localizados nas extremidades proximais e distais da 2ª falange proximal; θ = ângulo formado pelos vetores a e b .

O cálculo do ângulo θ , para cada articulação, em cada instante foi obtido da seguinte forma:

$$\theta_{(t)} = \cos^{-1} \left(\frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{\|\vec{a}\| \cdot \|\vec{b}\|} \right) \cdot \frac{180}{\pi} \quad (4)$$

Em que:

θ = ângulo [graus]

\vec{a} = vetor a (coordenadas x_a, y_a, z_a)

\vec{b} = vetor b (coordenadas x_b, y_b, z_b)

$\vec{a} \cdot \vec{b}$ = produto escalar

$$\|\vec{a}\| \cdot \|\vec{b}\| = \text{produto da norma dos vetores } a \text{ e } b$$

5.9.2.1 Filtragem

Os dados originais dos ângulos foram filtrados com filtro digital passa-baixa *Butterworth* de 4ª ordem, com frequência de corte entre 3 Hz e 6 Hz, definidos a partir da comparação entre dados brutos e suavizados (análise dos resíduos), aceitando como erros do sistema um desvio padrão de até ± 5 graus, definido na avaliação da metodologia. Foram utilizadas frequências de cortes diferentes devido ao fato das curvas apresentarem características específicas em relação às tarefas.

Um exemplo da aplicação do filtro para o 2º dedo de um voluntário, durante a realização da tarefa 1, está demonstrado na Figura 31. Os dados brutos estão representados pelas cruzes e os dados filtrados pela curva.

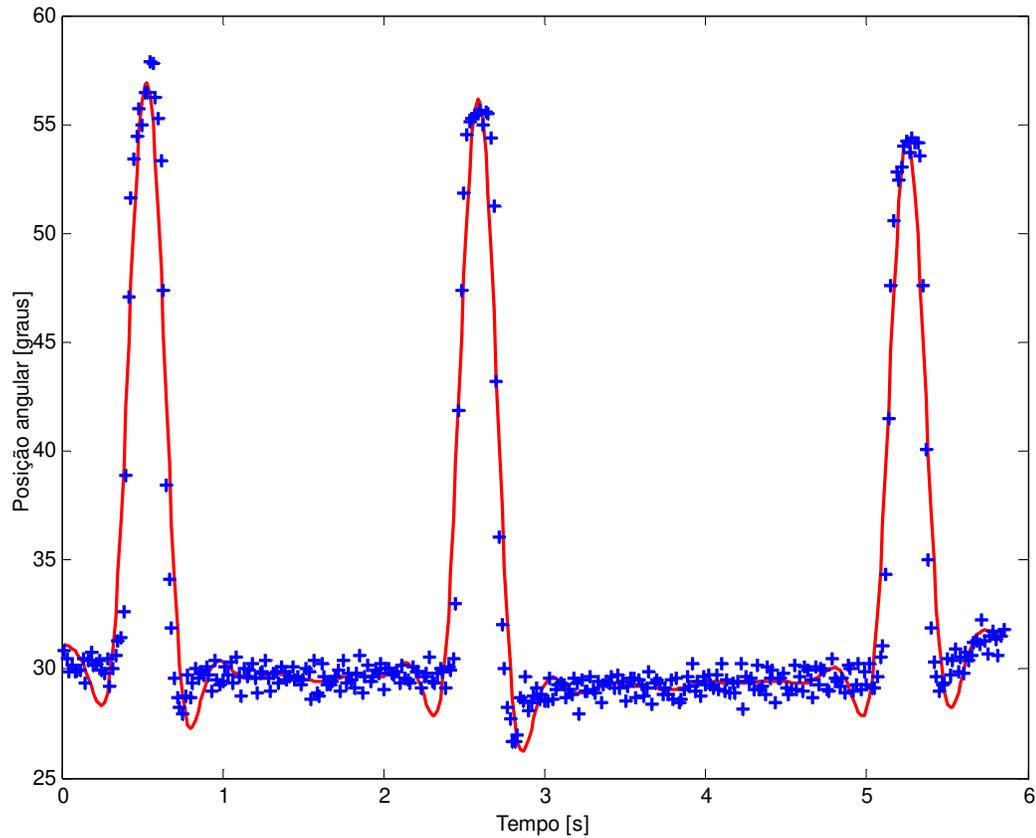


Figura 31 – Exemplo de filtragem da curva da variação angular de flexão e extensão da articulação metacarpofalangeana do segundo dedo (filtro Butterworth).

O resíduo dos dados deste mesmo voluntário, depois de aplicado o filtro, apresentou distribuição normal com média de $-0,0097$ graus e desvio padrão de $0,89$ graus. Um histograma da frequência dos valores do resíduo está demonstrado na Figura 32 e a curva em vermelho representa a curva normal.

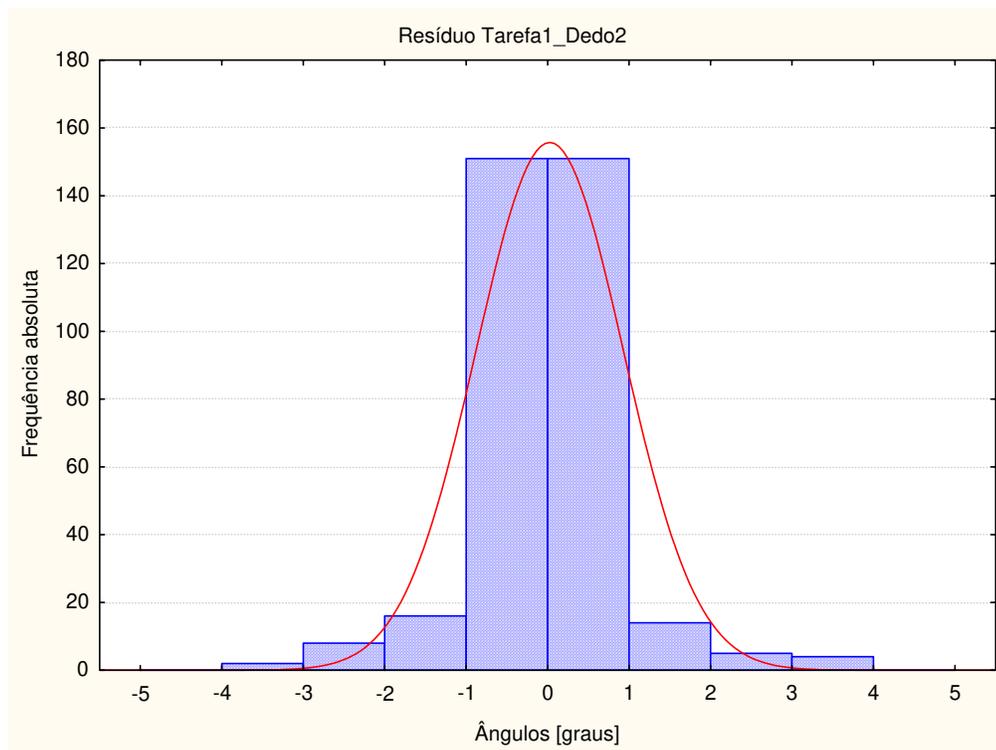


Figura 32 – Histograma da frequência do resíduo, em relação à curva normal, para a variação angular da articulação metacarpofalangeana do 2º dedo e um voluntário durante a realização da tarefa 1.

Além da frequência de corte estar relacionada ao erro do sistema, outro critério para a escolha do parâmetro foi baseado em uma filtragem com um menor resíduo em que fosse possível realizar a primeira derivada da curva da posição angular (velocidade angular), permitindo a identificação do início e final do ciclo de movimento.

5.9.3. Velocidade angular

A primeira derivada da variação angular é a velocidade angular. A derivada utilizada foi a derivada numérica. A velocidade angular foi obtida da seguinte forma:

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad (5)$$

Como os dados são discretos, a velocidade angular em cada instante(i) foi calculada:

$$\omega_i = \frac{\theta_{i+1} - \theta_i}{t_{i+1} - t_i} \quad (6)$$

5.9.4. Amplitude angular máxima (*range máxima*)

Para a automação do cálculo da amplitude articular (*range*) nas diferentes tarefas foi implementado um algoritmo no ambiente Matlab®. Esse algoritmo está representado na forma de diagrama de bloco (Anexo C) e, na seqüência do texto, todas as etapas da automatização estão ilustradas e apresentadas na forma de Figuras.

Para o cálculo do *range*, as repetições selecionadas foram a 2ª, 3ª, 4ª, sendo desprezadas a 1ª e a 5ª repetições. A partir do arquivo dos ângulos articulares filtrados (Mfilt) com as 3 repetições dos movimentos de flexão e extensão para cada dedo, as repetições foram separadas e construída uma matriz $n \times 3$ para cada dedo. Na Figura 33 estão apresentadas as curvas dos ângulos de flexão e extensão da articulação metacarpofalangeana do 2º, 3º, 4º e 5º dedos, para um voluntário durante as três repetições da tarefa 1 (T1).

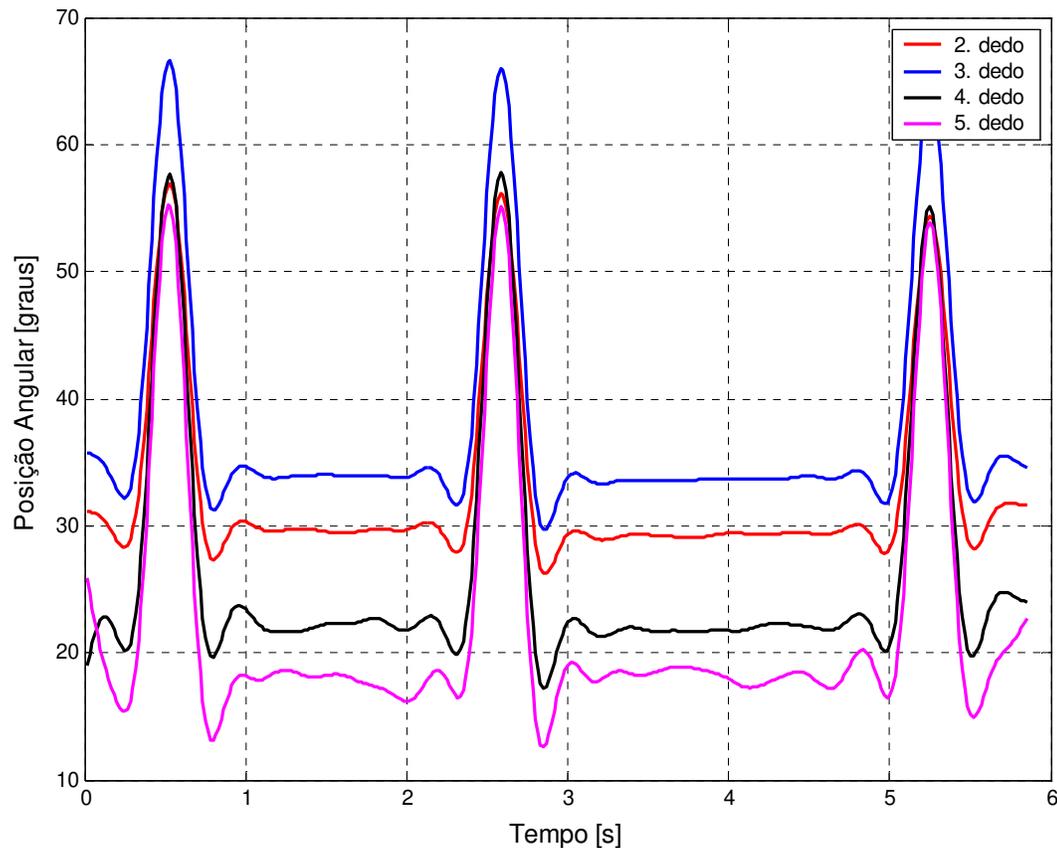


Figura 33 – Posição angular, em função do tempo, da flexão e extensão da articulação metacarpofalangeana dos quatro dedos de um voluntário durante a realização da tarefa 1.

Para a localização precisa do ciclo de movimento (representado por cada repetição), foi utilizada a curva da velocidade angular (Figura 34) e foram localizados os valores da maior e menor velocidades, o ponto onde a velocidade é zero dentro desse intervalo, e na sequência, foi localizado o ponto onde a velocidade é zero para o lado esquerdo da curva a partir da maior velocidade, e para o lado direito da curva a partir da menor velocidade (representada pelas cruzes pretas).

Na Figura 34 estão representados esses pontos na curva da velocidade angular para apenas uma repetição do 2º dedo de um voluntário. Os três pontos onde a velocidade é zero representam, na curva da posição angular, o instante do início do movimento (primeira cruz preta), o instante da mudança entre o movimento de flexão e extensão (círculo vermelho) e o final

do movimento, quando é finalizada a tarefa (segunda cruz preta). Os valores da maior e menor velocidade estão representados pelos círculos verdes.

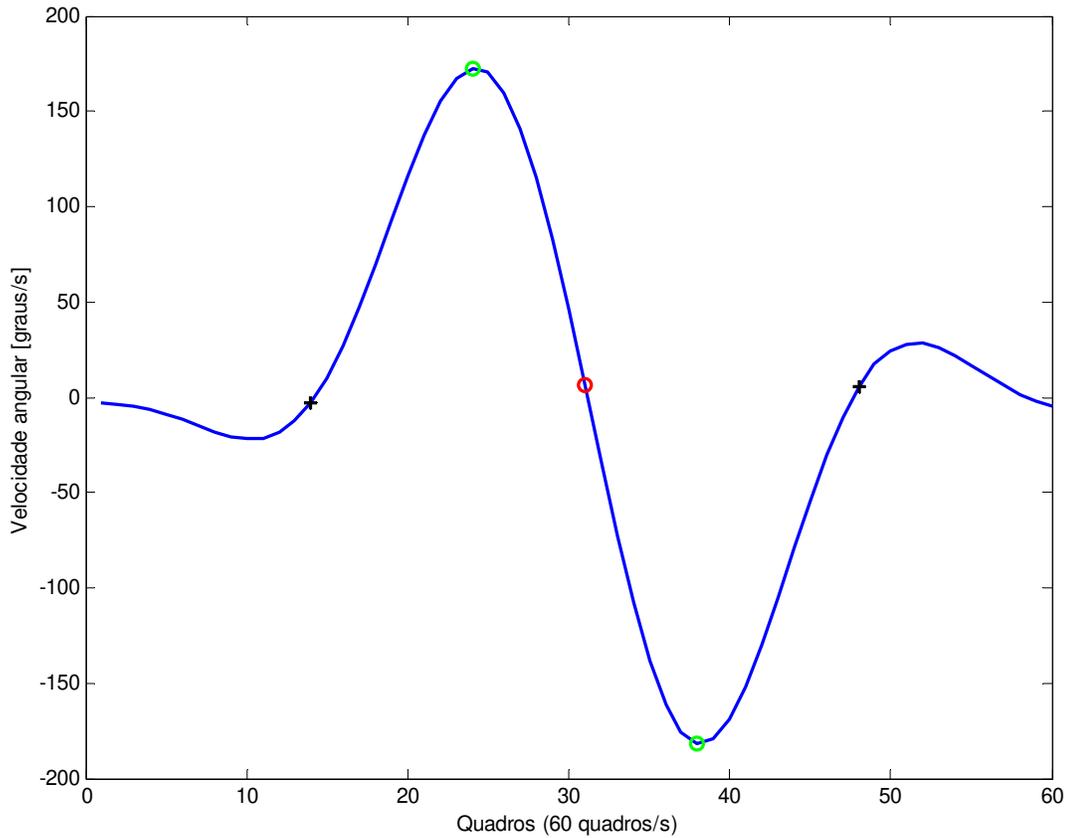


Figura 34 – Identificação do ciclo de movimento a partir da curva da velocidade angular para uma repetição do 2º dedo. A curva azul representa a velocidade angular, os círculos verdes representam os instantes de maior e menor velocidades, o círculo vermelho o instante em que a velocidade é zero nesse intervalo e as cruzes pretas os instantes em que a velocidade é zero no sentido da esquerda da curva em relação a maior velocidade e no sentido da direita da curva em relação a menor velocidade.

Na Figura 35 estão demonstradas as localizações desses pontos a partir da rotina automatizada para as três repetições, nos quatro dedos de um voluntário, durante realização da tarefa 1.

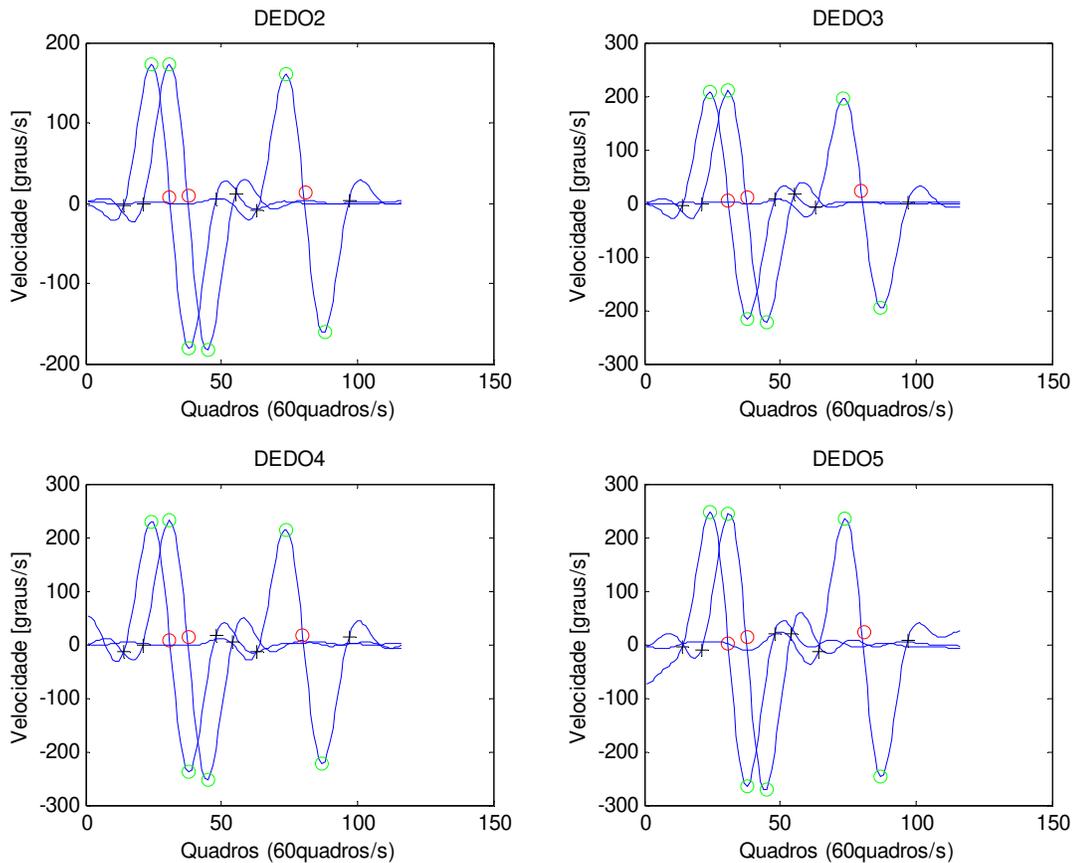


Figura 35 – Identificação dos ciclos de movimento a partir da curva da velocidade angular para as três repetições nos 4 dedos. As curvas azuis representam as três repetições da velocidade angular em cada dedo. Os círculos verdes representam os instantes de maior e menor velocidades, os círculos vermelhos os instantes em que a velocidade é zero nesse intervalo. As cruzes pretas representam os instantes em que a velocidade é zero no sentido da esquerda da curva em relação a maior velocidade e no sentido da direita da curva em relação a menor velocidade.

Posteriormente à identificação do início e final do ciclo na curva da velocidade, esses pontos são localizados na curva dos ângulos. Na Figura 36 estão representados os pontos do início e final da curva dos ângulos de flexão e extensão de uma repetição, do 2º dedo de um voluntário.

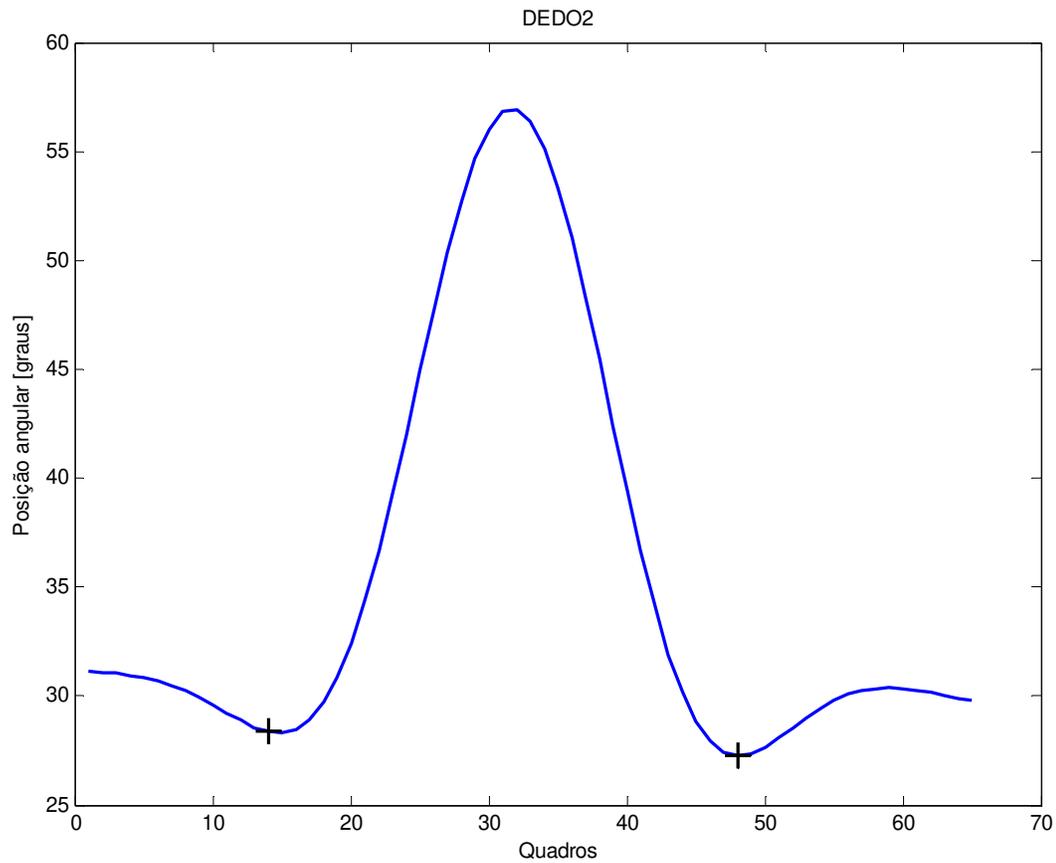


Figura 36 – Identificação do ciclo de movimento a partir da curva da posição angular para o 2º dedo. As cruzes pretas definem o início e o final do ciclo para uma repetição.

A partir da identificação de cada ciclo de movimento, as curvas foram cortadas nos pontos iniciais e finais e normalizadas em porcentagem de ciclo (100%); os ângulos que não pertenciam ao ciclo foram excluídos. Para a normalização foi realizada a interpolação utilizando a função *Spline cúbico* do Matlab®. Na Figura 37 estão representadas os três ciclos de movimento, normalizados, para cada dedo de um voluntário durante a realização da tarefa 1.

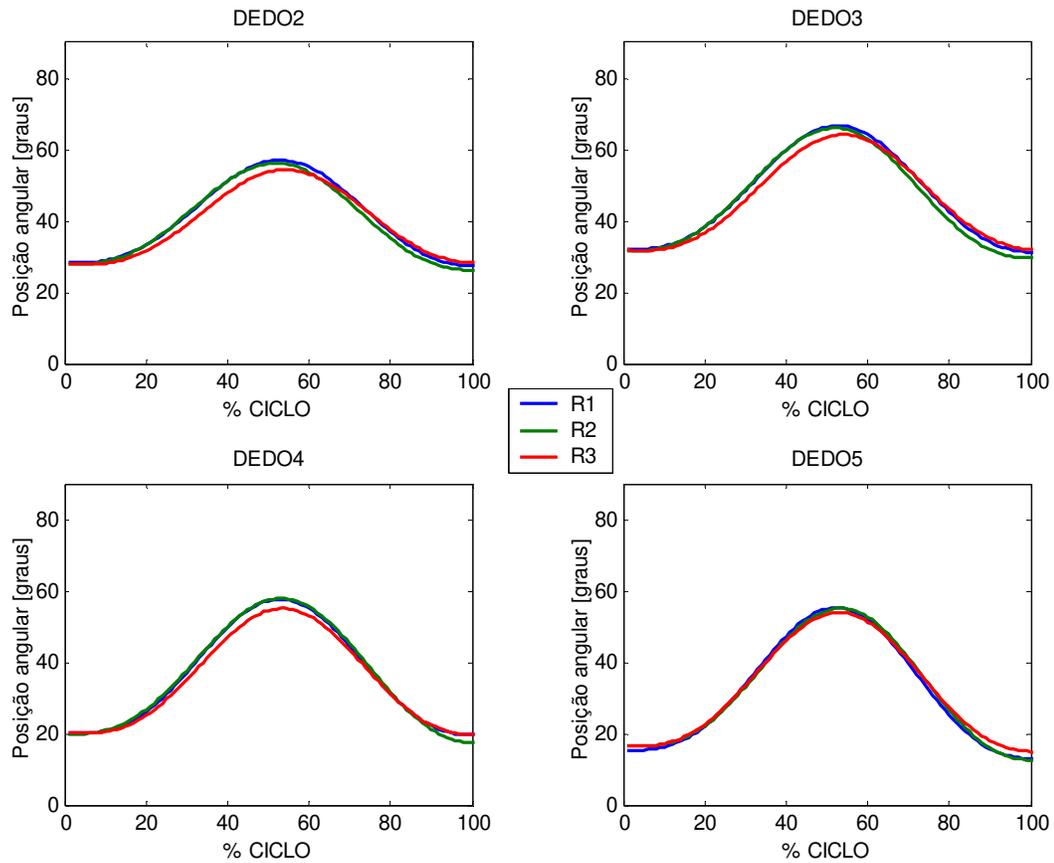


Figura 37 – Representação das três repetições de movimento, para 2°, 3°, 4° e 5° dedos de um voluntário durante a realização da tarefa 1. R1) Primeira repetição; R2) Segunda repetição; R3) Terceira repetição.

A partir dessas curvas, foram calculados os *ranges* de repetição, para cada dedo. O *range* foi calculado a partir da diferença entre o maior valor e o menor valor do ângulo em cada repetição (ciclo). Uma demonstração do cálculo do *range*, para uma repetição, está apresentada na Figura 38.

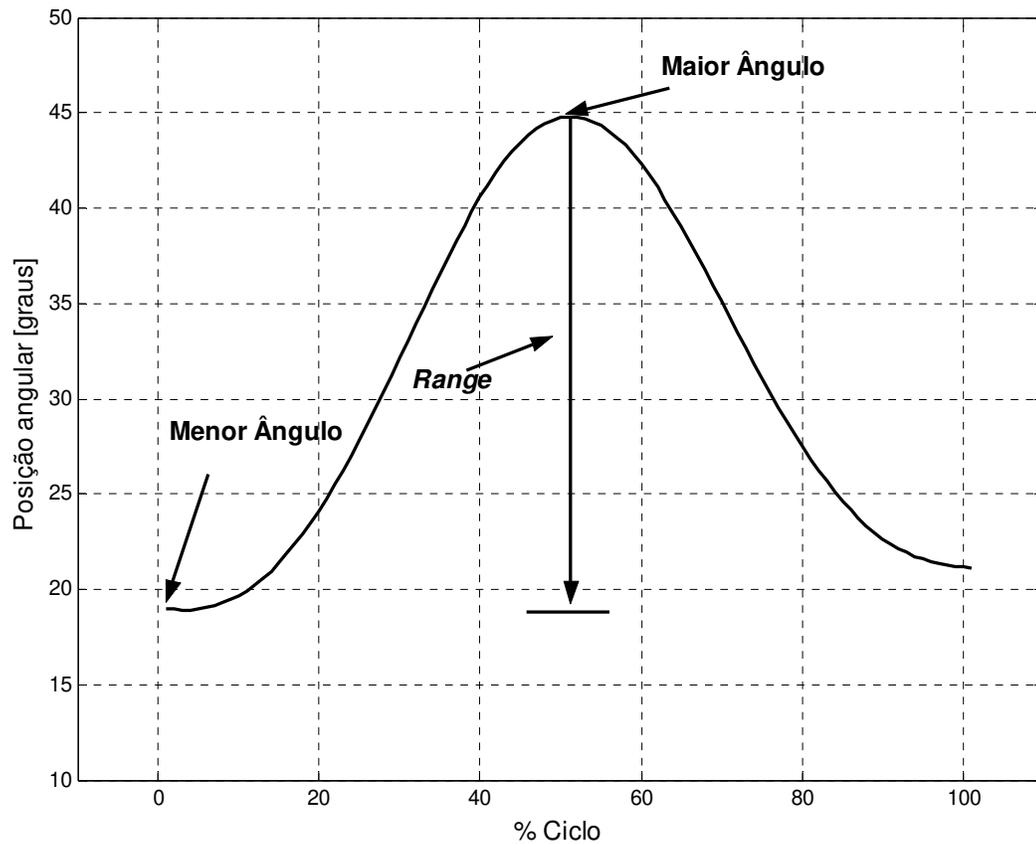


Figura 38 – Representação do *range* calculado pela diferença entre o maior e o menor valor dos ângulos de flexão da articulação metacarpofalangeana

Após o cálculo do *range* para as três repetições (ciclos) foi escolhida a curva com maior *range*, para cada dedo, em cada tarefa. O valor do maior *range* entre as três repetições foi chamado de *range* máximo ou amplitude angular máxima. As curvas com os maiores *ranges* para 2º, 3º, 4º e 5º dedos, de um voluntário, durante a realização da tarefa 1, estão demonstradas na Figura 39.

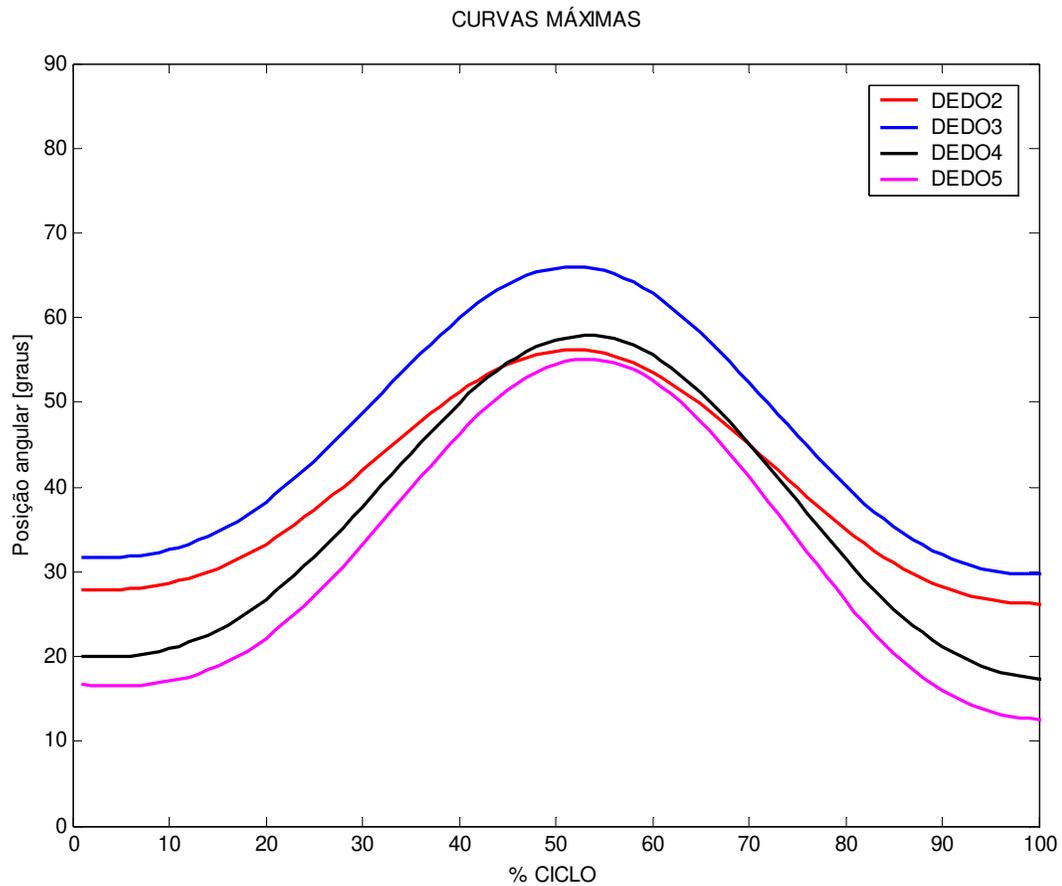


Figura 39 – Representação das curvas com os maiores *ranges* entre as repetições, para cada dedo, de um voluntário, durante a realização da tarefa 1.

5.9.5 Variáveis obtidas do diagrama de fase

5.9.5.1 Construção dos diagramas de fase

O diagrama de fase é a representação gráfica da posição angular em função da velocidade angular. Essa forma de representação permitiu a análise qualitativa e quantitativa do movimento eliminando-se o fator tempo, e foi usada para caracterizar o padrão de movimento. Um exemplo de um diagrama de fase com as três repetições do movimento do 2º dedo, de um voluntário, durante a realização da tarefa 1 está apresentado na Figura 40.

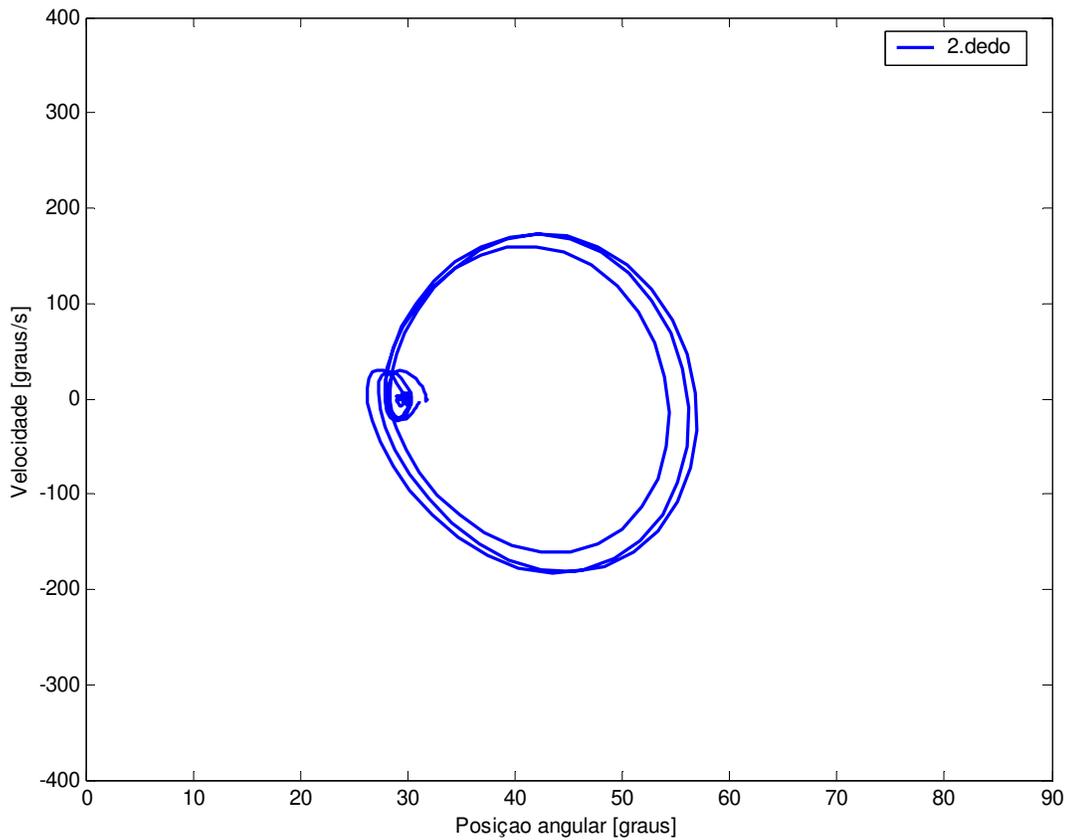


Figura 40 – Diagrama de fase com as três repetições do movimento do 2º dedo, de um voluntário, durante a realização da tarefa 1

5.9.5.2 Análise qualitativa

Na análise qualitativa buscou-se comparar o padrão de movimento e a regularidade das 3 repetições, verificando diferenças entre os grupos controle e pianista e entre as tarefas. Para o padrão de movimento foram observadas as características das trajetórias. Para a regularidade foi observada a reprodutibilidade das repetições, sendo que a maior variabilidade entre as trajetórias das 3 repetições do movimento, representa a menor regularidade das repetições.

5.9.5.3 Análise por componentes principais (ACP)

A idéia central desta análise quantitativa foi representar as variáveis posição e velocidade angular pelas componentes principais a elas relacionadas e usar o maior autovalor (λ_1), o autovetor correspondente ao maior autovalor (v_1) e o ângulo (α) entre esse autovetor e o eixo da abscissa, como medidas dos conceitos de interesse.

A análise por componentes principais (ACP) foi empregada neste estudo para caracterizar o padrão e a regularidade dos ciclos de movimento. É um método de análise rigoroso, que gera um novo conjunto de variáveis, chamado de componentes principais (CP). A primeira componente principal é um único eixo central no espaço. Quando cada observação é projetada nesse eixo, resulta o valor da nova variável e a variância destas variáveis é a máxima entre todas as escolhas possíveis da primeira linha central. A segunda componente principal é o outro eixo no espaço, perpendicular ao primeiro. A projeção de cada observação nesse eixo gera outra variável e a variância destas variáveis também é a máxima entre todas as escolhas possíveis deste segundo eixo central (JACKSON, 1991).

Geometricamente, essas combinações lineares representam um novo sistema de coordenadas obtido por rotação do sistema original, sendo as variáveis da CP os eixos da coordenada. Esses novos eixos representam as direções com máxima variabilidade do conjunto original de dados. No Apêndice A estão apresentados alguns conceitos para uma maior compreensão dessa análise e as etapas para se obter as componentes principais.

Os dados de entrada consistiram de uma matriz $\mathbf{m}(x(i), y(i))$, onde $x(i)$, $y(i)$ são coordenadas da posição angular (θ) e da velocidade angular (ω) respectivamente, com $i = 1, \dots, n$, onde n é o número de quadros, com os três ciclos de movimento, para cada dedo, em cada tarefa de cada voluntário. A partir do par $(\theta(t), \omega(t))$ foram obtidos os dois autovalores (λ_1 e λ_2) e os dois autovetores (v_1 e v_2), sendo v_1 o autovetor associado ao maior autovalor representado por λ_1 .

5.9.5.4 Variáveis obtidas pelo diagrama de fase através da ACP

As variáveis obtidas foram:

a) Vetor posição média no espaço de fase ou origem (o) com as coordenadas x_o e y_o .

A coordenada x_o desse vetor é a média dos valores da posição angular ($\theta(i)$) e a coordenada y_o é a média dos valores velocidade angular $\omega(i)$ da matriz **m**. Esse vetor foi então representado por $o(\bar{\theta}, \bar{\omega})$.

b) Autovalor normalizado em função da variabilidade total (λ).

O autovetor (\mathbf{v}_1) associado ao maior autovalor (λ_1) corresponde a primeira componente principal, o segundo autovetor (\mathbf{v}_2) associado ao maior autovalor (λ_2) corresponde a segunda componente principal. Neste trabalho a matriz de covariância dos dados tem 2 dimensões (R^2), por isso são calculadas duas componentes, porém o autovalor selecionado para a análise é o correspondente a primeira componente principal, uma vez que no R^2 , $\lambda_1 + \lambda_2 = 1$ (ou =100%).

O autovalor normalizado (λ) em função da variabilidade total foi calculado pela equação abaixo:

$$\lambda = \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2} \right) \times 100 \quad (7)$$

c) Ângulo (α) entre a direção correspondente a primeira componente e o eixo da abscissa (a).

Esse ângulo (α) foi calculado segundo a expressão abaixo:

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{\vec{a} \cdot \vec{u}}{\|\vec{a}\| \cdot \|\vec{u}\|} \right) \cdot \frac{180}{\pi} \quad (8)$$

As variáveis obtidas do diagrama de fase estão apresentadas para uma repetição, na Figura 41.

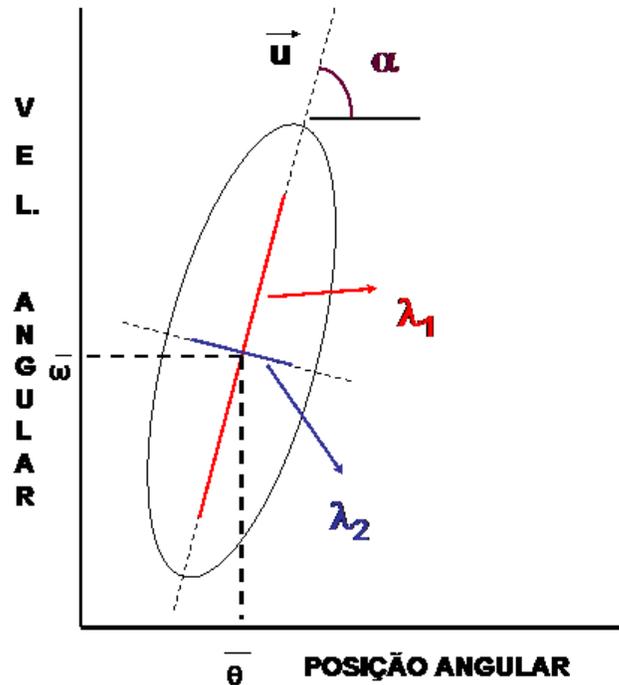


Figura 41 – Exemplo das variáveis obtidas do diagrama de fase. Coordenadas do vetor posição média no espaço de fase $(\bar{\theta}, \bar{\omega})$, autovetor (\vec{u}), autovalores (λ_1 e λ_2) e ângulo α .

A partir dessas variáveis obtidas pelos diagramas de fase foram analisadas a caracterização de padrão e a regularidade das três repetições através da construção de dois vetores: o vetor caracterização de padrão e o vetor regularidade.

O vetor caracterização de padrão foi construído a partir de 5 parâmetros extraídos da média entre as três repetições de cada variável obtida do espaço de fase: a) média da posição angular ($\bar{\theta}$); b) média da velocidade angular ($\bar{\omega}$); c) média dos autovalores normalizados ($\bar{\lambda}$); d) média da variabilidade (em valores absolutos) em relação a primeira componente ($\bar{\lambda}_1$) e) média dos ângulos entre a direção correspondente a primeira componente de cada repetição e o eixo da abscissa ($\bar{\alpha}$). O vetor caracterização de padrão foi descrito como $\vec{P} = [\bar{\theta}, \bar{\omega}, \bar{\lambda}, \bar{\lambda}_1, \bar{\alpha}]$. Os parâmetros foram calculados da seguinte forma:

$$\text{a) } \bar{\theta} = \frac{\sum_{i=1}^3 \bar{\theta}_i}{3} \quad (9)$$

$$\text{b) } \bar{\omega} = \frac{\sum_{i=1}^3 \bar{\omega}_i}{3} \quad (10)$$

$$\text{c) } \bar{\lambda} = \frac{\sum_{i=1}^3 \lambda_i}{3} \quad (11)$$

$$\text{d) } \bar{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^3 \alpha_i}{3} \quad (12)$$

Para definir a regularidade foram calculadas as variabilidades entre as três repetições do movimento. O vetor regularidade foi construído a partir de 4 parâmetros extraídos da diferença entre o maior e o menor valor nas três repetições, para cada variável obtida do espaço de fase: a) diferença entre as normas dos vetores que representam a posição média em cada repetição (ΔO), b) diferença entre os autovalores normalizados ($\Delta \lambda$); c) diferença entre o maior e o menor valor da variabilidade em relação a primeira componente ($\Delta \lambda_1$); d) desvio padrão da diferença entre todas as combinações dos três ângulos ($\Delta \alpha$). O vetor regularidade foi descrito como $\vec{R} = [\Delta O, \Delta \lambda, \Delta \lambda_1, \Delta \alpha]$. Os parâmetros foram calculados da seguinte forma:

a) Para calcular a diferença entre as normas, inicialmente foi calculada a norma para cada vetor que representa a posição média em cada repetição: $a = \|\vec{o}_1\|$; $b = \|\vec{o}_2\|$; $c = \|\vec{o}_3\|$. Dos três valores das normas (a, b, c) foram encontrados o maior e o menor valor a calculada a diferença entre eles. A diferença entre o maior ($r \text{ max}$) e o menor ($r \text{ min}$) foi denominada de diferença entre as normas (ΔO):

$$\Delta O = \|r \text{ max} - r \text{ min}\| \quad (13)$$

b) Para cada repetição foi encontrado o maior autovalor normalizado e a partir desses 3 autovalores foram encontrados o maior e o menor autovalor entre esses três e calculada a diferença entre eles. Foi denominado de diferença entre os autovalores normalizados ($\Delta \lambda$):

$$\Delta\lambda = \lambda_{\max} - \lambda_{\min} \quad (14)$$

c) Para calcular a diferença entre variabilidade foram encontrados o maior e o menor valor da variabilidade (em valores absolutos) em relação a primeira componente e realizada a diferença entre esses valores:

$$\Delta\lambda_1 = \lambda_{1\max} - \lambda_{1\min} \quad (15)$$

d) Para cada repetição foi calculado um ângulo entre a direção correspondente a primeira componente e o eixo da abscissa e calculadas as diferenças entre cada ângulo $\alpha_{1,2} = \alpha_1 - \alpha_2$; $\alpha_{1,3} = \alpha_1 - \alpha_3$; $\alpha_{2,3} = \alpha_2 - \alpha_3$ e posteriormente calculado o desvio padrão entre esses três novos ângulos:

$$\Delta\alpha = DP(\alpha_{1,2}, \alpha_{1,3}, \alpha_{2,3}) \quad (16)$$

5.9.6 Correlações entre os ângulos dos dedos

Foram calculadas as correlações entre as curvas dos ângulos de flexão e extensão da articulação metacarpofalangeana do 2º ao 5º dedos da mão, na seqüência $\theta_2(t) \times \theta_3(t)$, $\theta_2(t) \times \theta_4(t)$, $\theta_2(t) \times \theta_5(t)$, $\theta_3(t) \times \theta_4(t)$, $\theta_3(t) \times \theta_5(t)$, $\theta_4(t) \times \theta_5(t)$. As correlações entre todas as combinações dos dedos, para todas as tarefas foram analisadas e estes dados foram comparados entre os voluntários do grupo controle e pianista.

O exercitador utilizado neste experimento possui os pontos de resistência separados para cada dedo, permitindo o movimento individual. Dessa forma o cálculo da correlação entre os ângulos dos dedos permite analisar como esses dedos se movimentaram durante as tarefas, ou seja, uma alta correlação entre dois dedos demonstra que estes se movimentaram juntos.

5.10. Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise estatística descritiva e inferencial com nível de significância de 5%, com o objetivo de verificar diferença entre os grupos e entre as

tarefas. Para a análise estatística descritiva foram utilizados a média, o desvio padrão e a apresentação dos dados na forma de Boxplot.

O Boxplot é representado por uma caixa (*box*) que é delimitada pelos valores correspondentes ao primeiro quartil, mediana e terceiro quartil. A distância entre a extremidade superior e inferior da caixa representa a distância interquartílica e as extremidades dessa distância o valor máximo e mínimo. Os outliers estão representados pelo sinal de “+” e demonstram os valores maiores que 1,5 vezes a distância interquartílica. O intervalo de confiança é representado pela chanfradura no meio da caixa e corresponde o nível de significância de 5% para a média.

Na estatística inferencial para a verificação da normalidade e da homocedasticidade foram utilizados os testes *Kolmogorov-Smirnov* e *Bartlett*, respectivamente. Nos dados com distribuição normal e homocedasticidade foi utilizada a ANOVA. Para os dados em que a ANOVA foi significativa foi utilizado o Teste de *Tukey* para comparações múltiplas.

Outra análise realizada foi à correlação de *Pearson*. Para $H_0: \rho=0$, o teste para significância para o coeficiente de correlação foi baseado na distribuição de *Student*. Nos dados em que $H_0: \rho \neq 0$ foi necessário usar a transformação proposta por *Fisher* e para comparação dos dados transformados (z) a significância foi testada pela ANOVA.

Considerando que os coeficientes de correlação não apresentam distribuição normal, foi aplicada uma transformação proposta por *Fisher* (ZAR, 1999). A transformação de *Fisher* para uma boa aproximação da curva normal é:

$$z_t = 0,5 \times \ln \left[\frac{(1+r_t)}{(1-r_t)} \right] \quad (17)$$

Em que:

\ln = logaritmo natural

r = valor na correlação linear

A variável z_t tem distribuição aproximadamente normal, com média $= 0,5 \times \ln \left[\frac{(1+\rho)}{(1-\rho)} \right]$ e erro padrão $= \sqrt{1/(n-3)}$, em que ρ é a correlação na população.

6 RESULTADOS

A apresentação dos resultados foi disposta segundo os objetivos propostos e tem início pela análise da metodologia aplicada a partir da acurácia das medições, da sensibilidade das variáveis aos erros do sistema e da comparação entre os diferentes métodos de medição da distância entre os marcadores. Em seguida, foi disposta segundo a metodologia apresentada para as variáveis estudadas: medidas antropométricas da mão, força isométrica máxima de preensão palmar, curvas dos ângulos articulares, amplitude angular máxima, análise dos diagramas de fase e correlações entre os ângulos das articulações metacarpofalangeanas do 2º ao 5º dedos. As análises estatísticas acompanham a apresentação dos resultados.

6.1 Avaliação da metodologia

6.1.1 Acurácia das medições

A acurácia das medições foi avaliada pelo cálculo das distâncias entre cada 2 pontos (marcadores) fixados a um corpo rígido. Os valores da precisão, bias e acurácia para todas as medidas entre os pontos, estão demonstrados na Tabela 3. A média da acurácia nas distâncias entre os marcadores foi de 1,4 mm.

Tabela 3 - Valores da precisão, *bias* e acurácia do teste do corpo rígido

Pontos	Precisão (mm)	Bias (mm)	Acurácia (mm)
1 e 2	0,5	1,9	2,0
3 e 4	1,6	-0,2	1,6
5 e 6	0,6	-0,6	0,9
7 e 8	0,4	-0,0	0,4
1 e 5	1,3	-1,3	1,8
3 e 7	1,9	0,2	1,9

Considerando-se que a acurácia é afetada pelo enquadramento das câmeras, pode-se estimar a acurácia relativa ao enquadramento utilizado. A maior dimensão medida do volume calibrado foi de 161,9 mm e estimou-se a acurácia relativa em 0,86%.

6.1.2 Análise da sensibilidade

Através da simulação realizada a partir da acurácia média foi possível estimar a sensibilidade das variáveis angulares aos erros do sistema. Os valores dos ângulos da articulação metacarpofalangeana do 2º ao 5º dedos no primeiro quadro (β_1), a média ($\bar{\beta}_e$) dos valores obtidos por simulação e o desvio padrão (β_{std}), estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores dos ângulos das articulações metacarpofalangeanas (graus) obtidos pela simulação dos erros do sistema

	β_1 (graus)	$\bar{\beta}_e$ (graus)	$\beta_1 - \bar{\beta}_e$ (graus)	β_{std} (graus)
2º dedo	30,82	31,85	-1,03	5,36
3º dedo	35,27	35,29	-0,02	4,64
4º dedo	18,62	19,39	-0,77	5,08
5º dedo	25,52	26,85	-1,33	6,54

β_1 = valor do ângulo da articulação MTC-F no primeiro quadro (valor esperado); $\bar{\beta}_e$ = média dos valores obtidos por simulação; $\beta_1 - \bar{\beta}_e$ = diferença entre os valor do ângulo no primeiro quadro e a média das variáveis simuladas; β_{std} = desvio padrão das variáveis simuladas.

Um exemplo da variação do ângulo de flexão e extensão da articulação metacarpofalangeana simulado para o 2º dedo e a distribuição dos ângulos simulados estão apresentados nas Figuras 42 e 43, respectivamente.

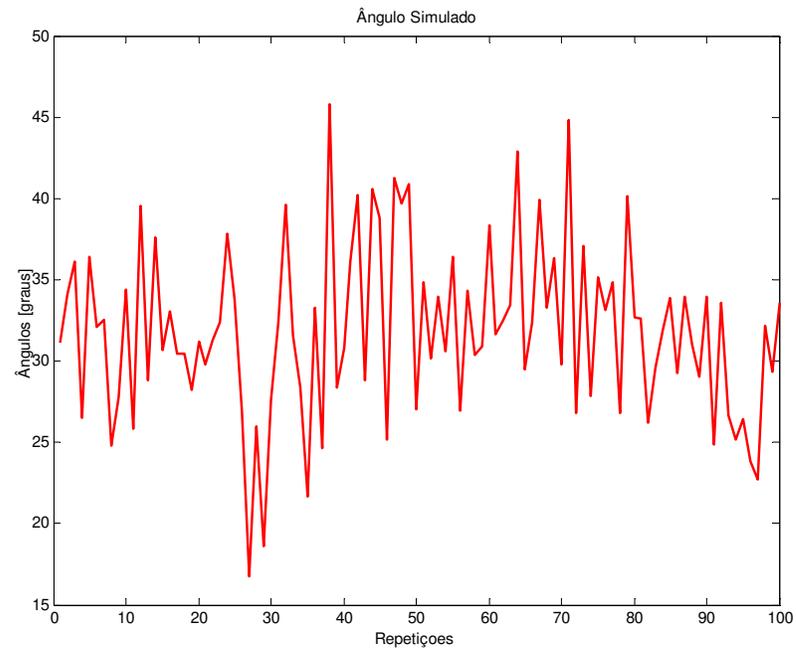


Figura 42 – Variação do ângulo simulado para o 2º dedo

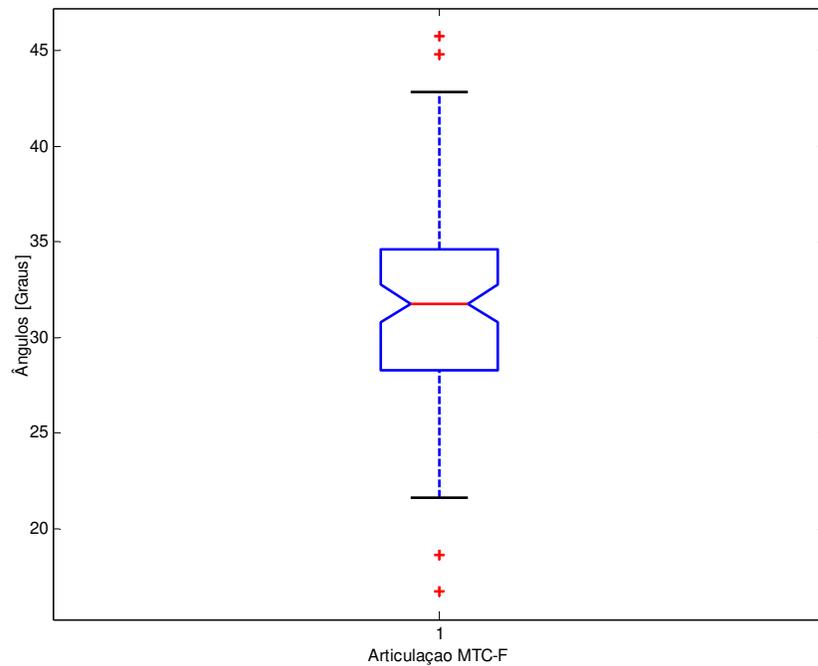


Figura 43 – Distribuição dos ângulos simulados

Os valores da média ($\overline{dm_e}$) das distâncias entre os 2 marcadores dos metacarpos obtidas por simulação, os valores da medida direta, o *bias*, a precisão e a acurácia estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores das distâncias (mm) entre dois marcadores dos metacarpos obtidos pela simulação dos erros do sistema

	$\overline{dm_e}$ (mm)	Medida direta (mm)	Bias (mm)	Precisão (mm)	Acurácia (mm)
2º dedo	50,3	50,7	-0,4	2,0	2,1
3º dedo	49,1	48,8	0,3	1,9	1,9
4º dedo	51,1	51,2	-0,1	1,9	1,9
5º dedo	46,7	45,3	1,4	1,8	2,3

$\overline{dm_e}$ = média das distâncias obtidas por simulação

Uma representação na forma de Boxplot (Figura 44) demonstra a variação da distância simulada para o 2º metacarpo. O valor obtido por medição direta (50,7 mm) está dentro do intervalo de confiança do Boxplot.

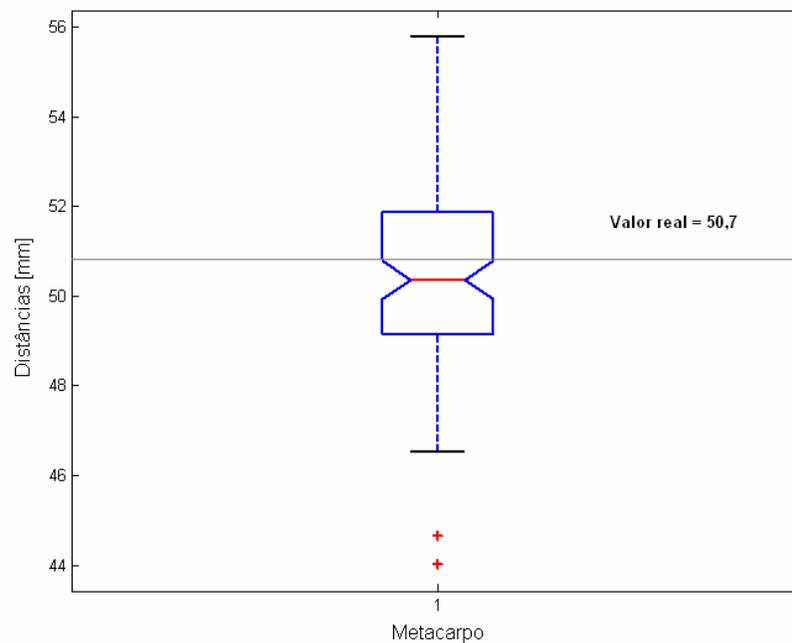


Figura 44 – Variação da distância simulada entre os marcadores para o 2º metacarpo

Os valores da média ($\overline{df_e}$) das distâncias entre os dois marcadores das falanges proximais obtidas por simulação, a medida direta, o *bias*, precisão e a acurácia estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores das distâncias (mm) entre dois marcadores das falanges proximais obtidos pela simulação dos erros do sistema

	$\overline{df_e}$ (mm)	Medida direta (mm)	Bias (mm)	Precisão (mm)	Acurácia (mm)
2º dedo	2,22	22,3	-0,10	2,0	2,0
3º dedo	2,88	28,9	-0,10	1,8	1,8
4º dedo	2,53	25,5	-0,20	1,8	1,8
5º dedo	1,67	16,2	0,50	1,8	1,8

$\overline{df_e}$ = média das distâncias obtidas por simulação

Uma representação na forma de Boxplot (Figura 45) apresenta a variação da distância simulada para a 2ª falange proximal. O valor obtido por medição direta (22,3 mm) está dentro do intervalo de confiança do Boxplot.

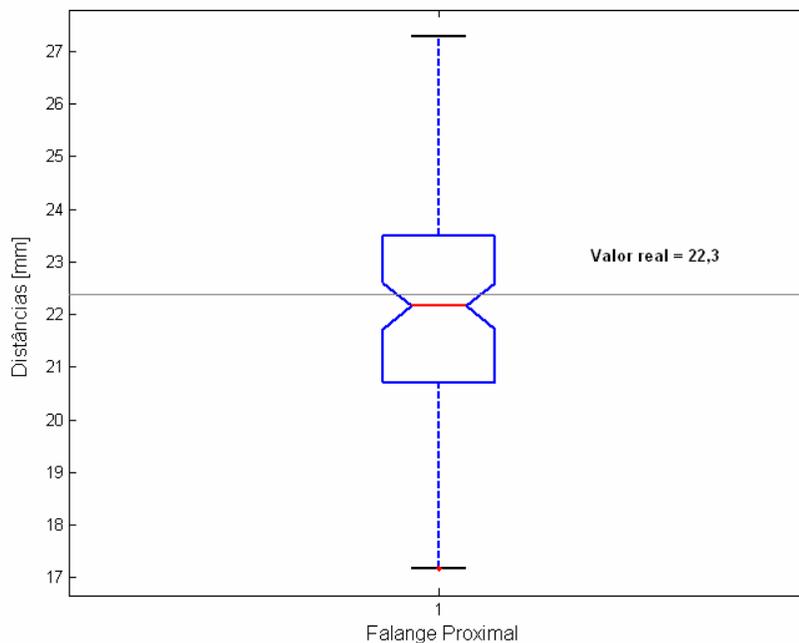


Figura 45 - Variação da distância simulada entre os marcadores para a 2ª falange proximal

6.1.3 Comparação das medidas das distâncias lineares entre os marcadores, avaliada pela acurácia.

As distâncias entre os marcadores foram calculadas pelo sistema através de dois métodos denominados estático e dinâmico e também através da medida direta feita por um paquímetro. As variações das medidas das distâncias no tempo para um voluntário durante a tarefa 1 (teste estático) está apresentada na Figura 46 e as variações das distâncias no tempo para o mesmo voluntário durante o teste dinâmico está representada na Figura 47.

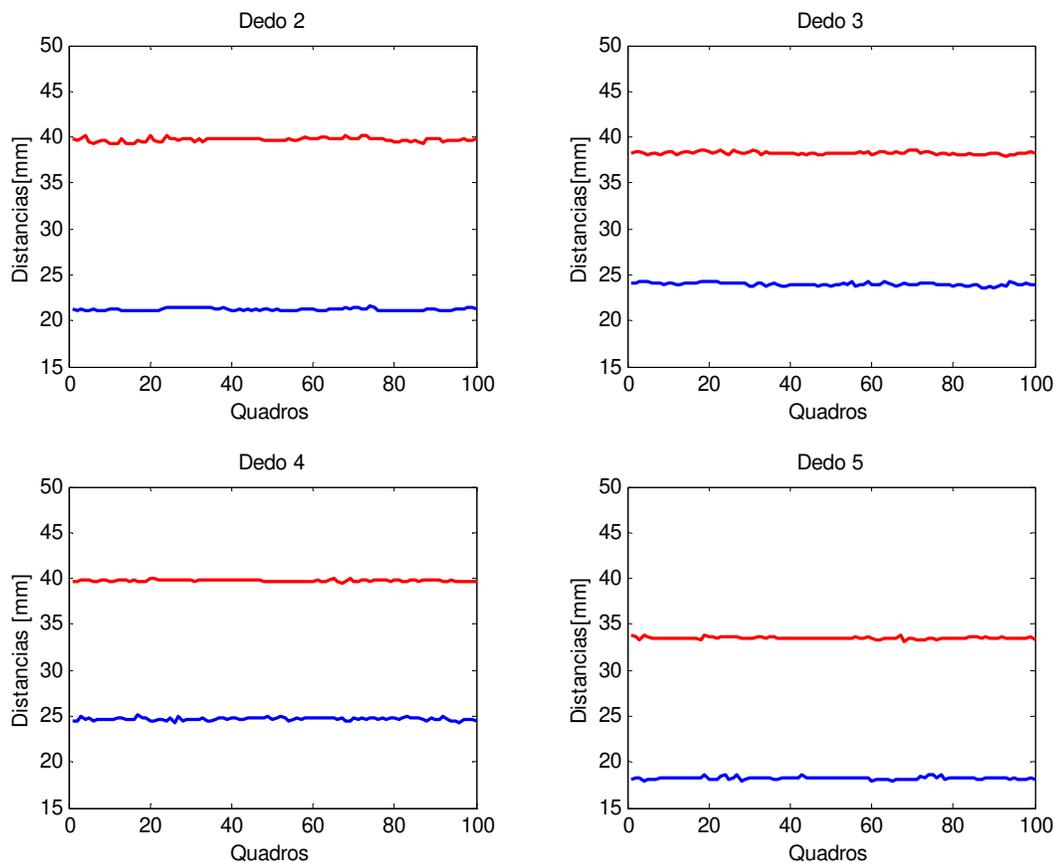


Figura 46 – Variação das distâncias entre os marcadores correspondentes aos ossos metacarpo (vermelho) e falange proximal (azul), para os quatro dedos, durante a realização do teste estático, de apenas um voluntário.

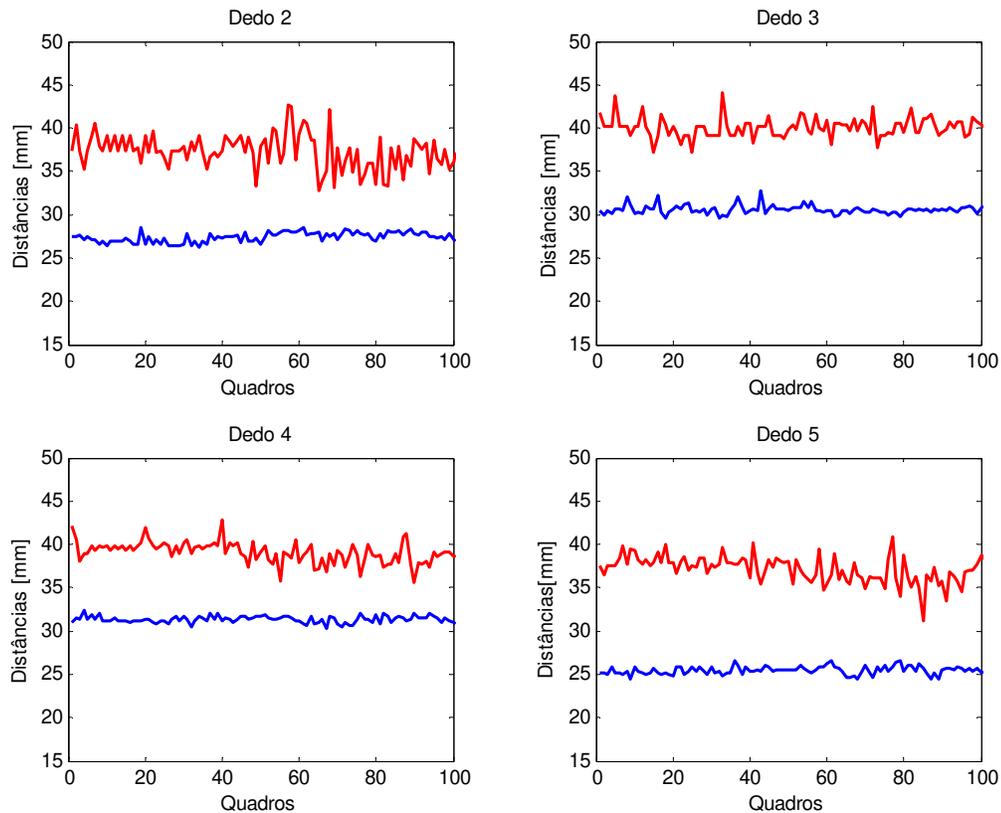


Figura 47 - Variação das distâncias entre os marcadores correspondentes aos ossos metacarpo (vermelho) e falange proximal (azul), para os quatro dedos, durante a realização do teste dinâmico para a tarefa 1, de apenas um voluntário .

Nos exemplos apresentados para apenas um voluntário, o desvio padrão das medidas das distâncias para os metacarpos de todos os dedos foi de 0,1 mm no método estático e no método dinâmico variou de 0,3 mm a 1,7 mm em relação os quatro dedos. Para a falange proximal o desvio padrão foi também de 0,1mm no método estático e no método dinâmico variou de 0,6 mm a 0,7 mm. Os valores médios e desvio padrão das medidas das distâncias entre os marcadores localizados nos metacarpos e falanges proximais deste voluntário estão apresentados no Apêndice B.

A distribuição dos valores da acurácia das medidas das distâncias entre os marcadores do 2º metacarpo, nos testes estático e dinâmico, para os 12 voluntários, está apresentada na Figura 48. A acurácia média foi 3,9 mm para tarefa 1 do teste dinâmico; 3,4 mm

para tarefa 2 do teste dinâmico; 4,8 mm para tarefa 3 do teste dinâmico; 5,5 mm para tarefa 4 do teste dinâmico; 1,9 mm para o teste estático.

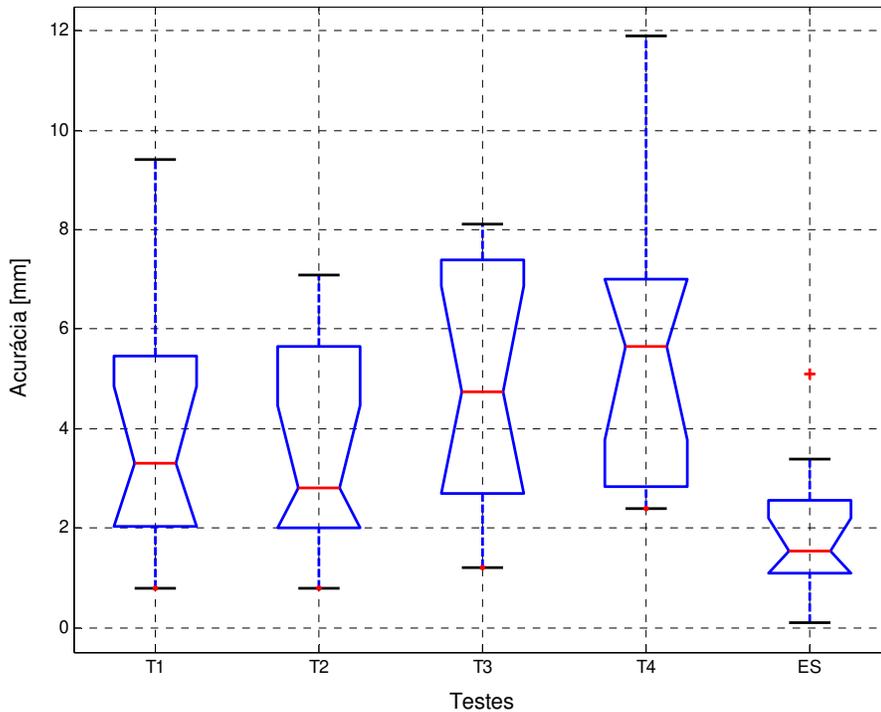


Figura 48 – Distribuição dos valores da acurácia para o 2º metacarpo. T1= tarefa 1; T2=tarefa 2; T3=tarefa 3; T4 = tarefa 4; Es=estático.

Quando comparados os testes dinâmicos (T1, T2, T3 e T4) e o teste estático através da ANOVA, foi observada uma diferença significativa entre os testes ($p < 0,005$). Como a ANOVA foi significativa foi utilizado o teste de Tukey. Neste teste as diferenças encontradas foram entre T3 (do teste dinâmico) e o teste estático (ES) com $p < 0,028$ e entre a T4 (do teste dinâmico) e o teste estático (ES) com $p < 0,003$. Essa diferença entre os testes estático e dinâmico foi mais evidente entre o teste estático (em que os dedos permanecem em extensão total) e os testes T3 e T4 da posição em gancho (em que todos os dedos permanecem em flexão).

6.2 Variáveis antropométricas

Foram realizadas medidas antropométricas na mão direita dos voluntários e os valores dessas medidas, separadas por sexo, nos grupos controle e pianista, estão descritos na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores médios e desvios padrões das medidas antropométricas da mão direita.

Grupos		LP (mm)	CP (mm)	EP (mm)	CD (mm)	LM (mm)	CM (mm)
Controle	Homens	81,7	225,7	32,2	74,1	105,0	252,9
	(n=7)	(±3,2)	(±10,5)	(±2,7)	(±4,1)	(±8,7)	(±10,3)
Mulheres		73,6	189,3*	26,0	6,7,9	87,4	213,3
	(n=7)	(±1,4)	(±3,5)	(±1,6)	(±1,5)	(±2,2)	(±5,4)
Pianista	Homens	80,4	218,3	32,7	7,4,0	95,8	245,0
	(n=5)	(±5,6)	(±7,6)	(±1,1)	(±4,2)	(±8,7)	(±13,2)
Mulheres		72,2	195,0*	27,8	6,4,0	8,4,1	210,0
	(n=6)	(±2,9)	(±5,0)	(±0,6)	(±5,8)	(±2,4)	(±5,0)

LP = largura da palma, CP = circunferência da palma, EP= espessura da palma, CD = comprimento do dedo indicador, LM = largura da mão, e CM = circunferência da mão.

* = significativo para $p < 0,05$.

Para todas as medidas antropométricas da mão, os valores médios dos homens foram maiores que os das mulheres, tanto no grupo controle quanto no grupo dos pianistas. Foi realizada a ANOVA para comparar os voluntários do mesmo sexo nos diferentes grupos e não foram encontradas diferenças significativas entre todas as medidas para os homens do grupo controle e pianista. Para as mulheres, foi encontrada diferença significativa para a medida da circunferência da palma (CP) quando comparados os grupos controle e pianista ($p < 0,01$). Essa diferença pode estar relacionada a um maior trofismo da musculatura intrínseca da mão das mulheres pianistas. Os valores de p estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Valores de p para as medidas antropométricas

Sexo	Grupo	LP	CP	EP	CD	LM	CM
Homens	C x P	0,68	0,33	0,65	0,77	0,16	0,57
Mulheres	C x P	0,64	0,01*	0,09	0,74	0,77	0,23

C= Grupo Controle; P= Grupo Pianista; * Significativo para $p < 0,05$.

6.3 Variáveis dinamométricas

As medidas de força isométrica de preensão palmar foram realizadas com um dinamômetro hidráulico. Os dados da média e desvio padrão para os grupos controle e pianista estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Valores médios e desvios padrões das medidas de força isométrica de preensão palmar

Grupos		Média (kgf)	Desvio padrão (kgf)
Controle	Homens (n=7)	44,30	± 6,27
	Mulheres (n=7)	21,57	±3,95
Pianistas	Homens (n=5)	31,84	±7,49
	Mulheres (n=6)	23,23	±5,00

A média e o desvio padrão da força para os homens (do grupo controle e pianista) foi de 38,05 kgf ($\pm 9,30$), e para as mulheres (do grupo controle e pianista) foi de 22,33 kgf ($\pm 4,35$). Os dados da força máxima de preensão palmar dos homens e das mulheres do grupo controle e pianistas estão apresentados na forma de Boxplot na Figura 49.

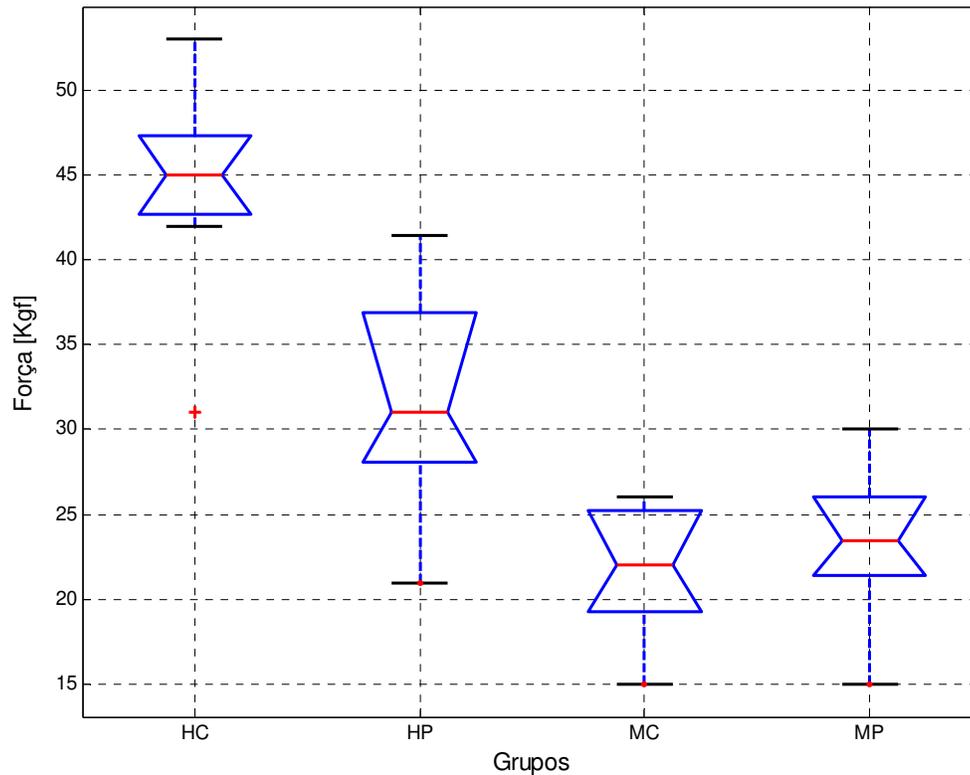


Figura 49 - Boxplot da força de prensão palmar (HC= homens controle, HP = homens pianistas, MC= mulheres controle e MP = mulheres pianistas).

Foi realizada a ANOVA para avaliar a força entre os sexos para cada grupo e entre os grupos, e foi observada diferença significativa entre os homens e mulheres quando não separados por grupo ($p < 0,000$). Quando comparados homens do grupo controle e homens do grupo pianista houve diferença significativa ($p < 0,01$), ao passo que as médias não foram significantes entre as mulheres do grupo controle e do grupo pianista ($p < 0,51$).

Foram realizadas medidas de correlação da antropometria da mão, massa e altura com a força de prensão palmar, para todos os voluntários, para os voluntários separados por sexo e por grupo (Tabela 10).

Tabela 10 – Valores da correlação entre as medidas antropométricas e medidas de força entre os grupos

Medidas antropométricas e dinamométricas	Todos (n=25)	Grupo Controle		Grupo Pianista	
		Homens (n=7)	Mulheres (n=7)	Homens (n=5)	Mulheres (n=6)
Massa e força	0,48*	0,25	-0,18	-0,83	-0,46
Altura e força	0,46*	-0,06	-0,27	-0,13	-0,13
LP e força	0,64*	0,45	-0,35	-0,24	-0,10
CP e força	0,79*	0,37	-0,21	0,04	-0,24
EP e força	0,67*	0,78*	-0,23	-0,52	-0,30
CD e força	0,36	-0,38	-0,30	-0,41	-0,01
LM e força	0,71*	0,70	-0,77*	-0,47	-0,36
CM e força	0,75*	0,77*	-0,53	-0,25	-0,06

LP = largura da palma, CP = circunferência da palma, EP= espessura da palma, CD = comprimento do dedo indicador, LM = largura da mão, e CM = circunferência da mão. * Significância para $p < 0,05$

Quando comparadas às correlações para todos os voluntários, esta foi significativa para todas as combinações, exceto comprimento do dedo (CD) e força; quando separados por sexo, para cada grupo, a correlação foi significativa nos homens do grupo controle somente para as medidas espessura da palma (EP) e circunferência da mão, relacionadas à força, e nas mulheres do grupo controle para a medida largura da mão (LM) relacionada com a força.

6.4 Variáveis cinemáticas

6.4.1 Amplitude angular (*range*)

As amplitudes angulares (*ranges*) foram calculadas pela diferença entre o maior e o menor valor do ângulo para cada repetição e selecionada a curva com o maior *range*. O *range* da curva selecionada foi denominado de *range* máximo. Os valores dos *ranges* máximos para os quatro dedos, de todos os voluntários durante a realização das quatro tarefas estão apresentados na forma de Boxplot na Figura 50. Os valores dos *ranges* estão apresentados em Tabelas no Apêndice C.

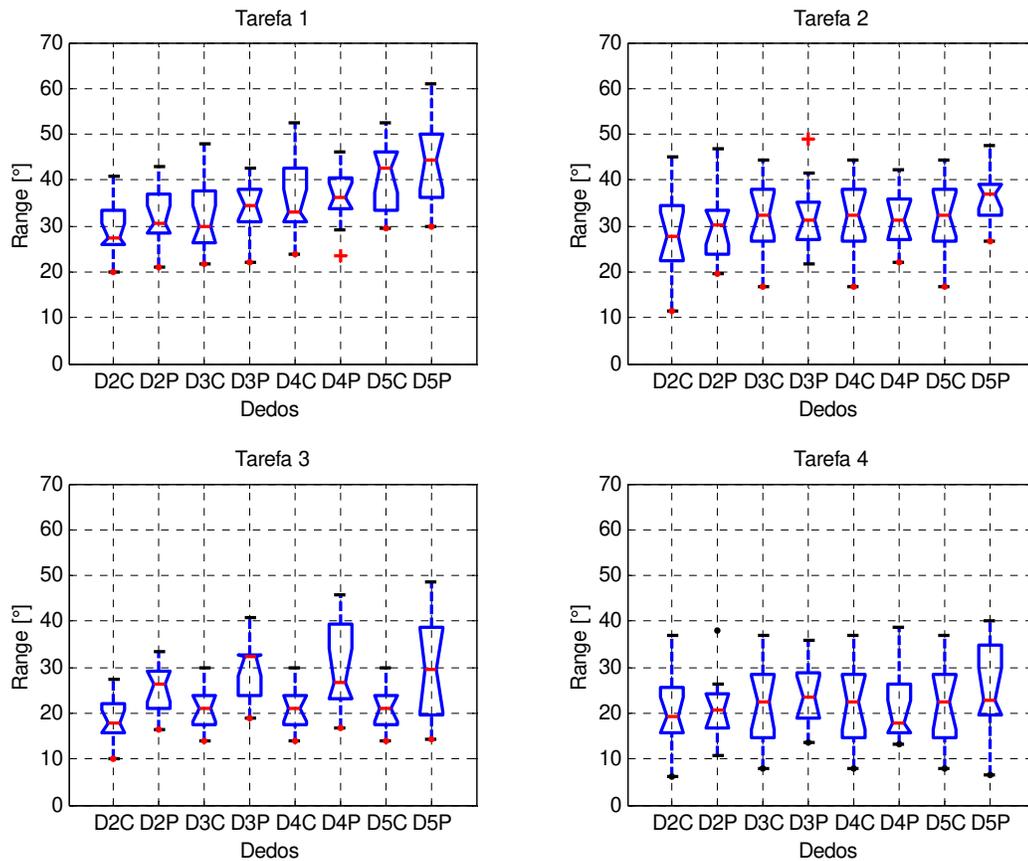


Figura 50 – Boxplot dos valores do *range* máximo do 2º, 3º, 4º e 5º dedos de todos os voluntários durante a realização das quatro tarefas. D2C=Dedo 2 do grupo controle, D2P=Dedo2 do grupo pianista, D3C=Dedo 3 do grupo controle, D3P=Dedo3 do grupo pianista, D4C=Dedo 4 do grupo controle, D4P=Dedo4 do grupo pianista, D5C=Dedo 5 do grupo controle, D5P=Dedo5 do grupo pianista.

As medianas dos valores do *range* das articulações metacarpofalangeanas do 2º, 3º, 4º e 5º dedos foram menores durante a realização da tarefa 4 para ambos os grupos. Para o 2º dedo os maiores valores do *range* foram durante a tarefa 2 para ambos os grupos, do 3º dedo durante a tarefa 1 para o grupo controle e durante tarefa 2 para o grupo pianista, do 4º dedo durante a tarefa 1 para o grupo controle e durante tarefa 3 para o grupo pianista e do 5º dedo os maiores valores do *range* foram durante a tarefa 1 para ambos os grupos.

Os valores dos *ranges* para as tarefas comparando os grupos controle e pianista, com todos os dedos agrupados, estão apresentados na forma de Boxplot na Figura 51.

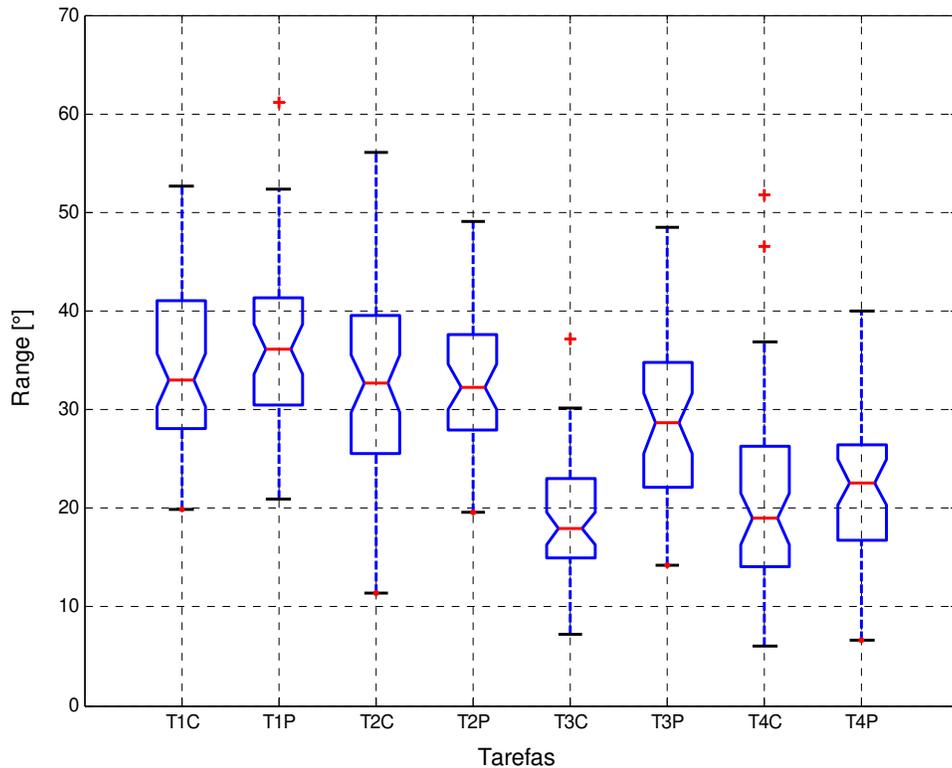


Figura 51 – Boxplot das tarefas comparando os grupos controle e pianista, com os valores dos ranges sem separar os dedos. (T1C = tarefa 1 controle, T1P = tarefa 1 pianista, T2C = tarefa 2 controle, T2P = tarefa 2 pianista, T3C = tarefa 3 controle, T3P = tarefa 3 pianista, T4C = tarefa 4 controle, T4P = tarefa 4 pianista).

Com o objetivo de verificar diferenças entre os grupos controle e pianista, os *ranges* foram analisados, comparando os grupos pela ANOVA. Foi encontrada diferença significativa entre os grupos controle e pianista para a tarefa 3 ($p < 0,000$). Para as outras tarefas não foram encontradas diferenças significativas ($p < 0,25$ para a tarefa 1, $p < 0,83$ para a tarefa 2, $p < 0,29$ para a tarefa 3). Nessa análise os dedos foram analisados em conjunto. A diferença foi observada na tarefa considerada pelos voluntários como a mais difícil de executar.

Os dados do *range* foram comparados também para os dedos separadamente através da ANOVA. Quando comparados os grupos controle e pianista não foram encontradas diferenças significativas. Quando comparadas às tarefas estas foram estatisticamente significativas. Os valores de p estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Valores de p para comparação entre os grupos e entre as tarefas para os homens

	Dedo 2	Dedo 3	Dedo 4	Dedo 5
Grupo	0,75	0,81	0,64	0,28
Tarefas	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*
Grupo*Tarefas	0,94	0,95	0,53	0,79

* Significativo para $p < 0,05$

Para os dados em que a ANOVA foi significativa foi utilizado o teste de *Tukey*. As tarefas que apresentaram diferenças foram, na maioria, entre as tarefas realizadas com a preensão grossa e as tarefas realizadas com a posição em gancho. As tarefas que apresentaram diferenças significativas estão demonstradas na Tabela 12.

Tabela 12 – Tarefas que apresentaram diferenças significativas para os grupos controle e pianista.

	Dedo 2	Dedo 3	Dedo 4	Dedo 5
Grupo Controle	T1 x T3	T1 x T3	T1 x T3	T1 x T3
	T1 x T4	T1 x T4	T1 x T4	T1 x T4
	T2 x T3	T2 x T4	T2 x T3	T2 x T3
	T2 x T4		T2 x T4	T2 x T4
Grupo Pianista	T1 x T4	T1 x T3	T1 x T3	T1 x T3
		T1 x T4	T1 x T4	T1 x T4
		T2 x T3	T2 x T3	T2 x T3
		T2 x T4	T2 x T4	T2 x T4

T1 - Preensão grossa em velocidade rápida, T2 - Preensão grossa em velocidade lenta, T3 - Preensão em gancho em velocidade rápida, T4 - Preensão em gancho em velocidade lenta.

6.4.2 Análise das curvas de flexão e extensão

Buscando uma caracterização do padrão dos movimentos de preensão palmar, as curvas da posição angular e velocidade angular foram analisadas em relação às diferentes tarefas, e em relação aos grupos controle e pianista.

6.4.2.1. Curvas da posição angular e velocidade angular nas diferentes tarefas

Um exemplo das curvas da posição angular e da velocidade angular está demonstrada para um voluntário do grupo controle durante a realização da tarefa 1 (Figura 52). Todas as curvas da posição angular e da velocidade angular foram analisadas entre os grupos controle e pianista, através dos diagramas de fase.

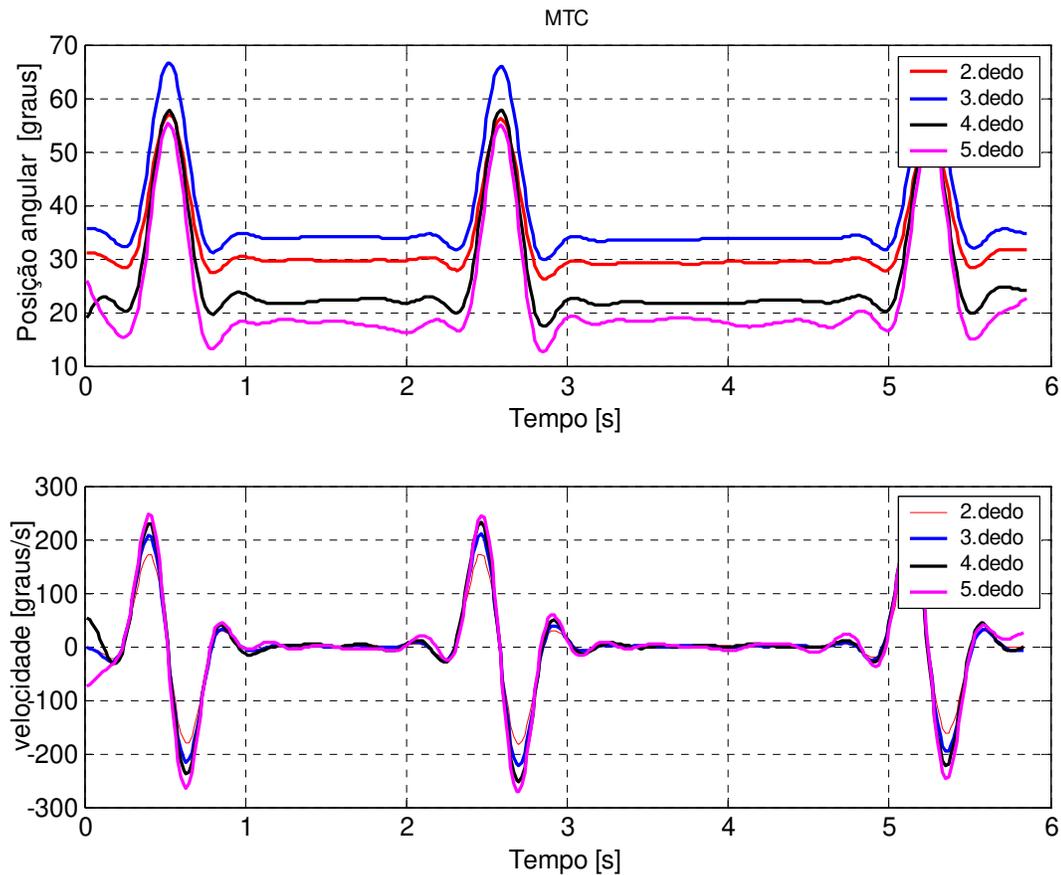


Figura 52 - Um exemplo da curva da posição e velocidade angular das três repetições de movimento, de um voluntário do grupo controle, durante a tarefa 1.

6.4.2.2 Análise do movimento usando diagrama de fase – análise qualitativa

Os dados da posição angular foram plotados contra a velocidade angular, eliminando o fator tempo e buscando uma caracterização do padrão de movimento nas diferentes tarefas e nos diferentes grupos. No texto estão apresentados os diagramas de fase da posição angular e velocidade angular para o 2º dedo. Os diagramas estão apresentados nas Figuras 54 para os homens do grupo controle (n=7) e pianista (n=5) e na Figura 55 para as mulheres do grupo controle (n=7) e pianista (n=5).

Todos os diagramas estão representados de maneira que na horizontal estão os ciclos de movimento de todos os voluntários em uma mesma tarefa e na vertical as diferentes tarefas. Nas linhas pares estão os voluntários do grupo controle e nas linhas ímpares do grupo pianista. As cores diferenciam as tarefas sendo a cor vermelha para representar a tarefa 1 (T1), a cor azul para a tarefa 2 (T2), a cor preta para a tarefa 3 (T3) e a cor lilás para a tarefa 4. Os voluntários estão representados pela letra V.

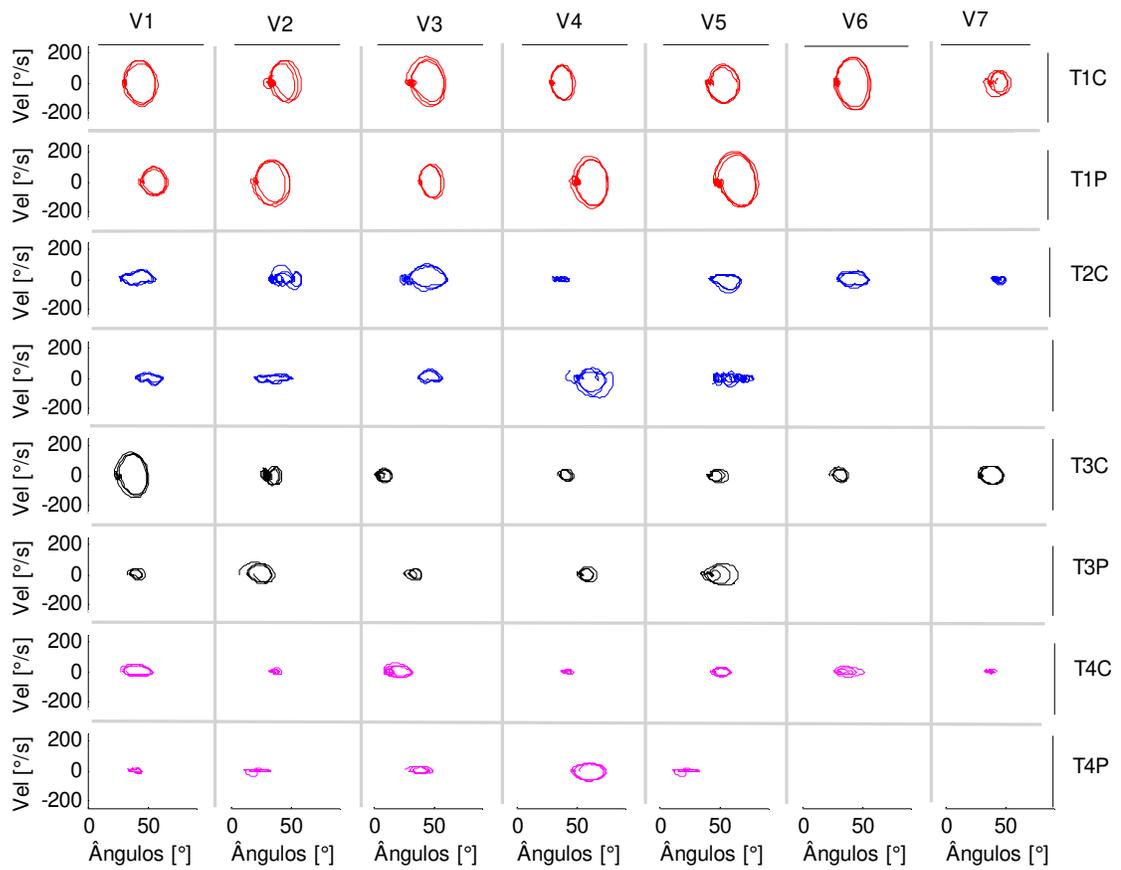


Figura 53 - Diagramas de fase para os homens do grupo controle (n=7) e para os homens do grupo pianista (n=5). T1C = tarefa 1 - grupo controle ; T1P = tarefa 1 - grupo pianista; T12C = tarefa 2 - grupo controle ; T2P = tarefa 2 - grupo pianista; T3C = tarefa 3 - grupo controle ; T3P = tarefa 3 - grupo pianista; T4C = tarefa 4 - grupo controle ; T4P = tarefa 4 - grupo pianista. Grupo controle (n=7); Grupo pianista (n=5).

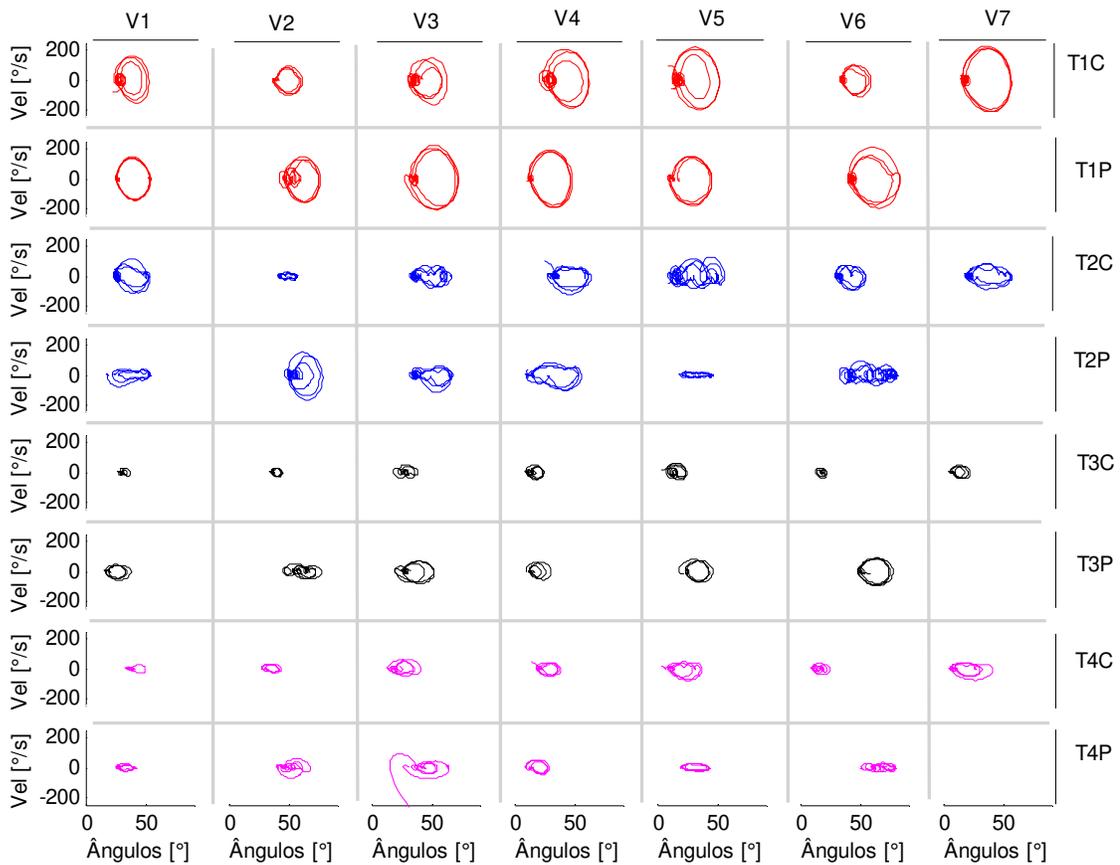


Figura 54 - Diagramas de fase para as mulheres do grupo controle (n=7) e para as mulheres do grupo pianista (n=6). T1C = tarefa 1 - grupo controle ; T1P = tarefa 1 - grupo pianista; T12C = tarefa 2 - grupo controle ; T2P = tarefa 2 - grupo pianista; T3C = tarefa 3 - grupo controle ; T3P = tarefa 3 - grupo pianista; T4C = tarefa 4 - grupo controle ; T4P = tarefa 4 - grupo pianista. Grupo controle (n=7); Grupo pianista (n=6).

Um total de 400 diagramas de fase foram construídos para descrever os padrões de movimento dos 25 voluntários, durante a execução das 4 tarefas, para cada dedo. Os diagramas de fase da posição angular e velocidade angular para o 3º, 4º e 5º dedos estão apresentados no Apêndice D.

A maneira de representar o padrão de movimento através de diagramas de fase permitiu uma análise qualitativa e quantitativa do efeito das diferentes tarefas nos grupos controle e pianista.

Em relação à análise qualitativa, quando comparadas às tarefas, foram observados mudanças nos padrões do movimento para todos os voluntários, independente do

grupo. Foi observado que uma maior dificuldade na execução da tarefa afeta o padrão do movimento, sendo que a maior semelhança no padrão de movimento dos voluntários foi durante a realização da tarefa 1. Quando analisados os padrões de movimento nos diferentes grupos, não foram observados padrões característicos em que fosse possível diferenciar de maneira qualitativa os grupo controle e pianista. Para a regularidade, quando comparados os grupos também não foi observada uma maior regularidade para o grupo pianista ou para o controle. Na comparação entre as tarefas a regularidade foi mais evidente na tarefa 1 para todos os grupos.

6.4.2.3 Análise do movimento usando diagrama de fase – análise quantitativa inter-dedos.

Para a análise quantitativa foram selecionados os diagramas de fase do 2º dedo, durante a realização das quatro tarefas. Somente o 2º dedo está representado porque não foram encontradas diferenças nas análises em relação aos outros dedos.

Da Análise por Componentes Principais (ACP), foram obtidos os autovetores e autovalores e a partir dessas variáveis foram construídos: A) vetor caracterização de padrão (\vec{P}) e B) o vetor regularidade (\vec{R}):

A) Vetor caracterização de padrão: Foram calculadas as variáveis do vetor caracterização de padrão $\vec{P} = [\bar{\theta}, \bar{\omega}, \bar{\lambda}, \bar{\lambda}_1, \bar{\alpha}]$, através da média entre as 3 repetições de movimento para cada variável obtida pela ACP. As variáveis foram comparadas entre os grupos e entre as tarefas.

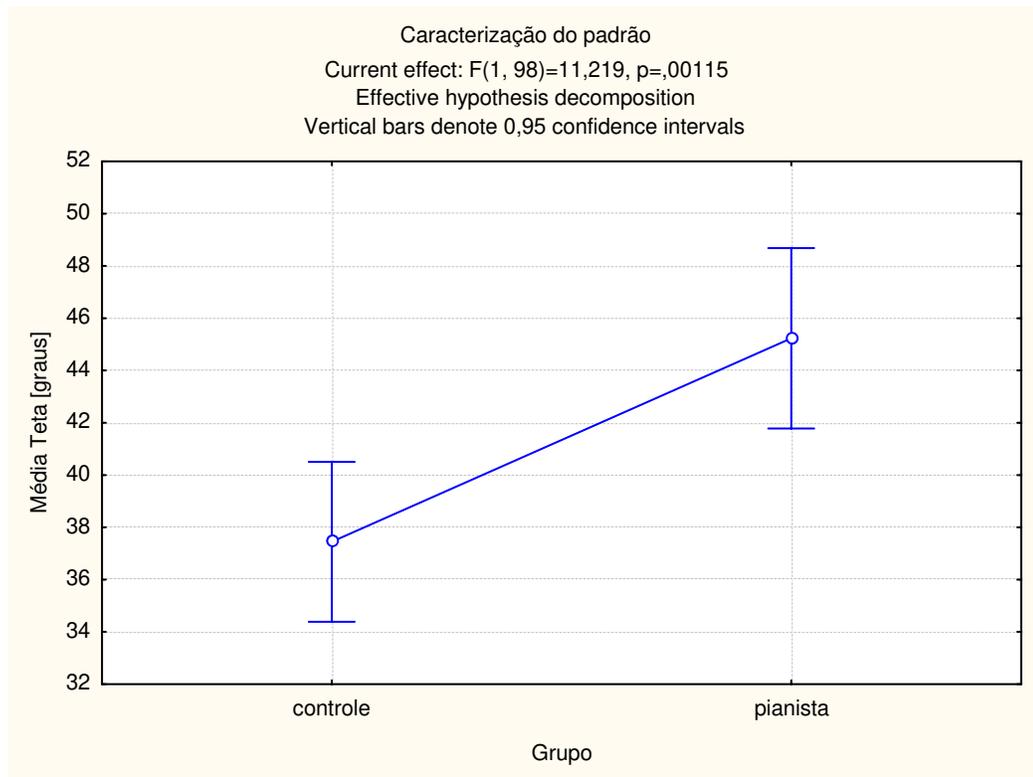
A1) Comparação entre os grupos: Foi verificada que não houve interação entre grupos e tarefas, dessa forma os grupos controle e pianista foram comparados em relação aos 5 parâmetros do vetor caracterização do padrão, sem separar as tarefas. Foi encontrada diferença significativa para a variável $\bar{\theta}$. Os valores de F e p para a análise dos grupos estão descritos na Tabela 13.

Tabela 13 – Valores de F e p para as variáveis do vetor caracterização de padrão comparadas entre os grupos

GRUPOS	$\bar{\theta}$	$\bar{\omega}$	$\bar{\lambda}$	$\bar{\lambda}_1$	$\bar{\alpha}$
F	11,21	0,96	2,57	1,94	0,00
p	0,0011*	0,328	0,112	0,165	0,961

Média da posição angular ($\bar{\theta}$); Média da velocidade angular ($\bar{\omega}$); Média dos autovalores normalizados ($\bar{\lambda}$); Média da variabilidade (em valores absolutos) em relação a primeira componente ($\bar{\lambda}_1$); Média dos ângulos entre a direção correspondente a primeira componente de cada repetição e o eixo da abscissa ($\bar{\alpha}$);

Na Figura 55 está demonstrada a comparação entre as médias dos grupos controle e pianista para a variável média da posição angular ($\bar{\theta}$), que apresentou diferença significativa entre os grupos controle e pianista..

**Figura 55 – Comparação da variável média da posição angular ($\bar{\theta}$) entre os grupos controle e pianista**

A2) Comparação entre as tarefas: Quando comparadas as tarefas, foram encontradas diferenças significativas para as variáveis: média da posição angular ($\bar{\theta}$), média dos

autovalores normalizados ($\bar{\lambda}$) e para a variabilidade (em valores absolutos) em relação a primeira componente ($\bar{\lambda}_1$). Os valores de F e p para a análise tarefas estão descritos na Tabela 14.

Tabela 14 - Valores de F e p para as variáveis do vetor caracterização de padrão comparadas entre as tarefas

TAREFAS	$\bar{\theta}$	$\bar{\omega}$	$\bar{\lambda}$	$\bar{\lambda}_1$	$\bar{\alpha}$
F	4,85	2,52	10,59	7,34	1,2
p	0,003*	0,06	0,000*	0,000*	0,32

Média da posição angular ($\bar{\theta}$); Média da velocidade angular ($\bar{\omega}$); Média dos autovalores normalizados ($\bar{\lambda}$); Média da variabilidade (em valores absolutos) em relação a primeira componente ($\bar{\lambda}_1$); Média dos ângulos entre a direção correspondente a primeira componente de cada repetição e o eixo da abscissa ($\bar{\alpha}$);

Nas variáveis com ANOVA significativa foi utilizado o teste de *Tukey*. As tarefas que apresentaram diferença estão demonstradas na Tabela 15.

Tabela 15 - Tarefas que apresentaram diferenças significativas para os grupos controle e pianista, no vetor caracterização do padrão.

	$\bar{\theta}$	$\bar{\lambda}$	$\bar{\lambda}_1$
Caracterização do padrão	T2 x T3 T2 x T4	T1 x T2 T2 x T3 T3 x T4	T1 x T2 T1 x T3 T1 x T4

Média da posição angular ($\bar{\theta}$); Média dos autovalores normalizados ($\bar{\lambda}$); Média da variabilidade (em valores absolutos) em relação a primeira componente ($\bar{\lambda}_1$);

B) Vetor regularidade: Foram calculadas as variáveis do vetor regularidade $\vec{R} = [\Delta O, \Delta \lambda, \Delta \lambda_1, \Delta \alpha]$ através da diferença entre os maiores e menores valores para cada variável obtida pela ACP. As variáveis foram comparadas estatisticamente entre os grupos e entre as tarefas.

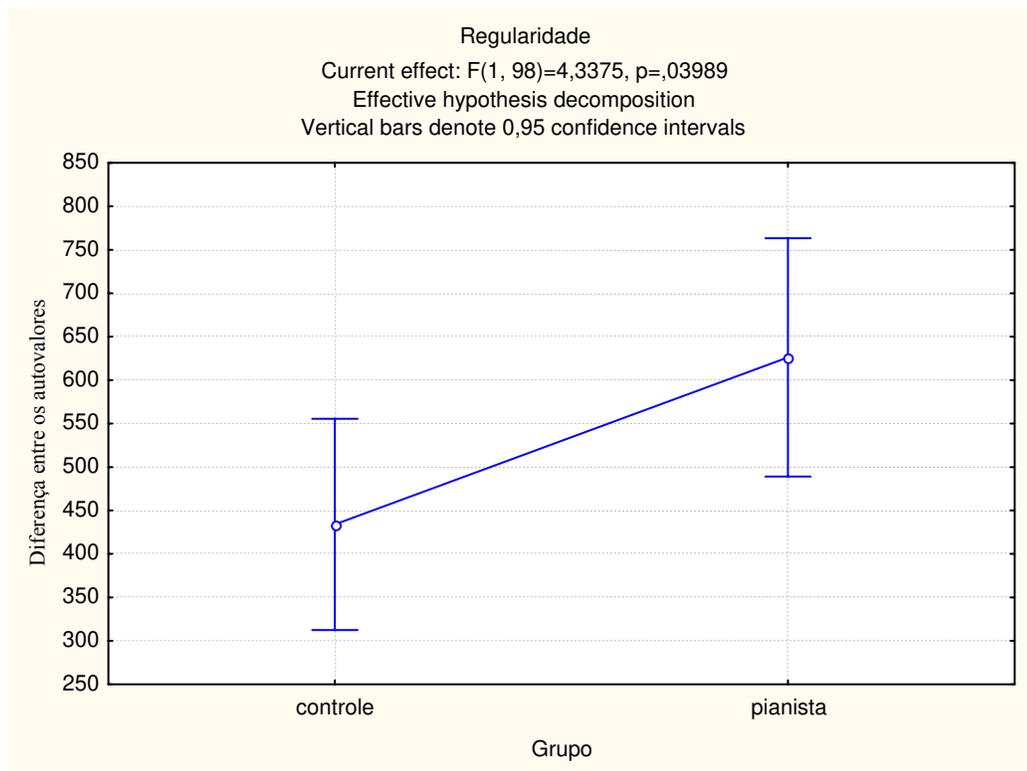
B1) Comparação entre os grupos: Foi verificada que não houve interação entre grupos e tarefas, dessa forma os grupos controle e pianista foram comparados em relação aos 4 parâmetros do vetor regularidade. Houve diferença significativa para a variável $\Delta \lambda_1$. Os valores de F e p para a análise dos grupos estão descritos na Tabela 16.

Tabela 16 – Valores de F e p para as variáveis do vetor regularidade comparadas entre os grupos

GRUPOS	ΔO	$\Delta \lambda$	$\Delta \lambda_1$	$\Delta \alpha$
F	3,77	3,66	4,33	3,93
p	0,054	0,058	0,039*	0,050

Diferença entre as normas dos vetores que representam a posição média (ΔO); Diferença entre os autovalores normalizados ($\Delta \lambda$); Diferença entre o maior e o menor valor da variabilidade em relação a primeira componente ($\Delta \lambda_1$); Desvio padrão da diferença entre as combinações dos 3 os ângulos ($\Delta \alpha$).

Na Figura 56 está demonstrada a variável diferença da variabilidade (em valores absolutos) em relação a primeira componente ($\Delta \lambda_1$), que apresentou diferença significativa entre os grupos controle e pianista.

**Figura 56 – Comparação da variável diferença entre os autovalores ($\Delta \lambda_1$), entre os grupos controle e pianista**

B2) Comparação entre as tarefas: Quando comparadas às tarefas foram encontradas diferenças significativas para as variáveis: diferença entre os autovalores

normalizados ($\Delta\lambda$) e o desvio padrão da diferença entre todas as combinações dos três ângulos ($\Delta\alpha$). Os valores de F e p para a análise tarefas estão descritos na Tabela 17.

Tabela 17 - Valores de F e p para as variáveis do vetor regularidade comparadas entre as tarefas

TAREFAS	ΔO	$\Delta\lambda$	$\Delta\lambda_1$	$\Delta\alpha$
F	0,94	9,74	2,04	15,69
p	0,42	0,000*	0,113	0,000*

Nas variáveis com ANOVA significativa foi utilizado o teste de *Tukey*. As tarefas que apresentaram diferença estão demonstradas na Tabela 18

Tabela 18 - Tarefas que apresentaram diferenças significativas para os grupos controle e pianista, no vetor regularidade.

	$d\lambda$	$d\alpha$
Regularidade	T1 x T2	T1 x T2
	T1 x T3	T1 x T4
	T1 x T4	T2 x T3
	T2 x T3	T3 x T4
	T3 x T4	

A variabilidade das variáveis dos vetores caracterização do padrão e regularidade foram comparados em relação aos grupos controle e pianista, em cada tarefa. A dispersão da média da posição angular ($\bar{\theta}$ - Teta), a média da velocidade angular ($\bar{\omega}$ - Omega), a média dos autovalores normalizados ($\bar{\lambda}$ - Percentual-Lambda), a média da variabilidade (em valores absolutos) em relação a primeira componente ($\bar{\lambda}_1$ - Lambda 1) e média dos ângulos ($\bar{\alpha}$ - Alfa), para os todos os voluntários do grupo controle e do grupo pianista estão apresentadas na Figura 57.

Classificação dos grupos para a Figura 57: T1C = tarefa 1 para todos os voluntários do grupo controle; T1P = tarefa 1 para todos os voluntários do grupo pianista ; T2C = tarefa 2 para todos os voluntários do grupo controle; T2P a tarefa 2 para todos os voluntários do grupo pianista; T3C = tarefa 3 para todos os voluntários do grupo controle; T3P = tarefa 1 para

todos os voluntários do grupo pianista; T4C = tarefa 4 para todos os voluntários do grupo controle; T4P = tarefa 4 para todos os voluntários do grupo pianista.

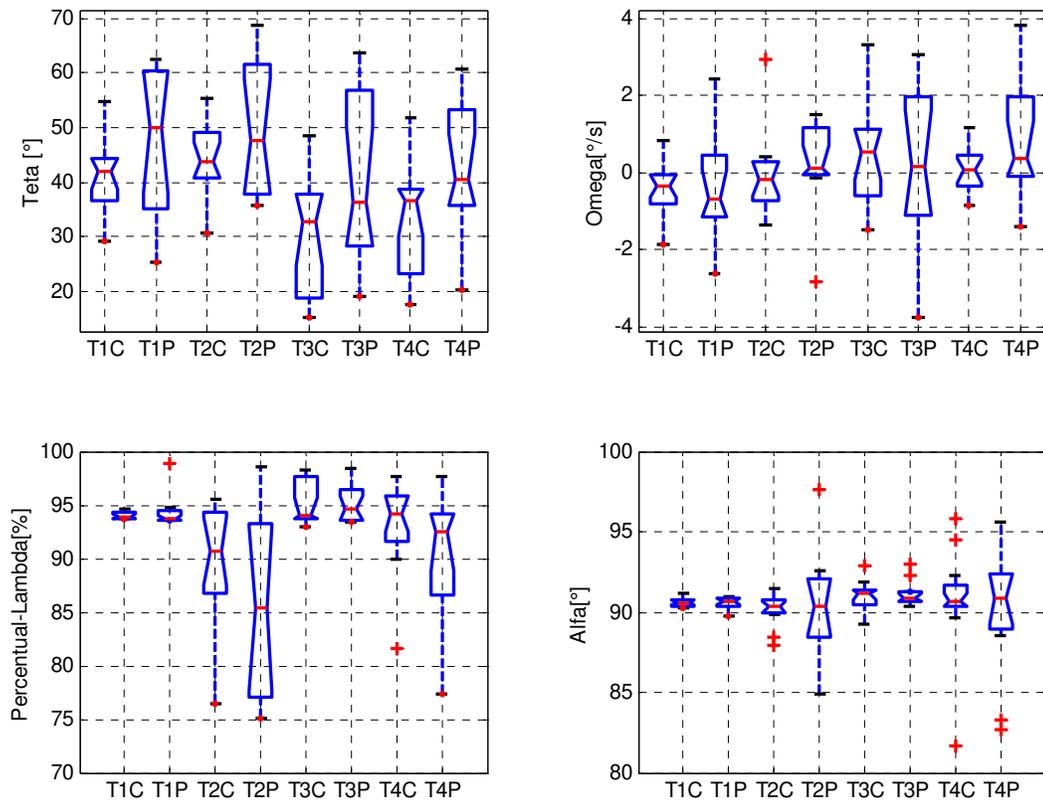


Figura 57 – Variabilidade dos valores da média da posição angular ($\bar{\theta}$ - Teta), média da velocidade angular ($\bar{\omega}$ - Omega), da média dos autovalores normalizados ($\bar{\lambda}$ - Percentual- Lambda) e da média dos ângulos entre a direção correspondente a primeira componente o eixo da abscissa ($\bar{\alpha}$ - Alfa), para os todos os voluntários do grupo controle e do grupo pianista.

A dispersão dos dados da diferença entre as normas dos vetores que representam a posição média em cada repetição (ΔO - DifNorma), a diferença entre os autovalores normalizados ($\Delta \lambda$ - Percentual Lambda), a diferença entre o maior e o menor valor da variabilidade em relação a primeira componente ($\Delta \lambda_1$ - Dif Lambda) e desvio padrão da diferença entre todas as combinações dos três ângulos ($\Delta \alpha$ - DPAlfa), para os todos os voluntários do grupo controle e do grupo pianista, estão apresentadas na Figura 58.

Classificação dos grupos para a Figura 58: T1C = tarefa 1 para todos os voluntários do grupo controle; T1P = tarefa 1 para todos os voluntários do grupo pianista ; T2C = tarefa 2 para todos os voluntários do grupo controle; T2P a tarefa 2 para todos os voluntários do grupo pianista; T3C = tarefa 3 para todos os voluntários do grupo controle; T3P = tarefa 1 para todos os voluntários do grupo pianista; T4C = tarefa 4 para todos os voluntários do grupo controle; T4P = tarefa 4 para todos os voluntários do grupo pianista.

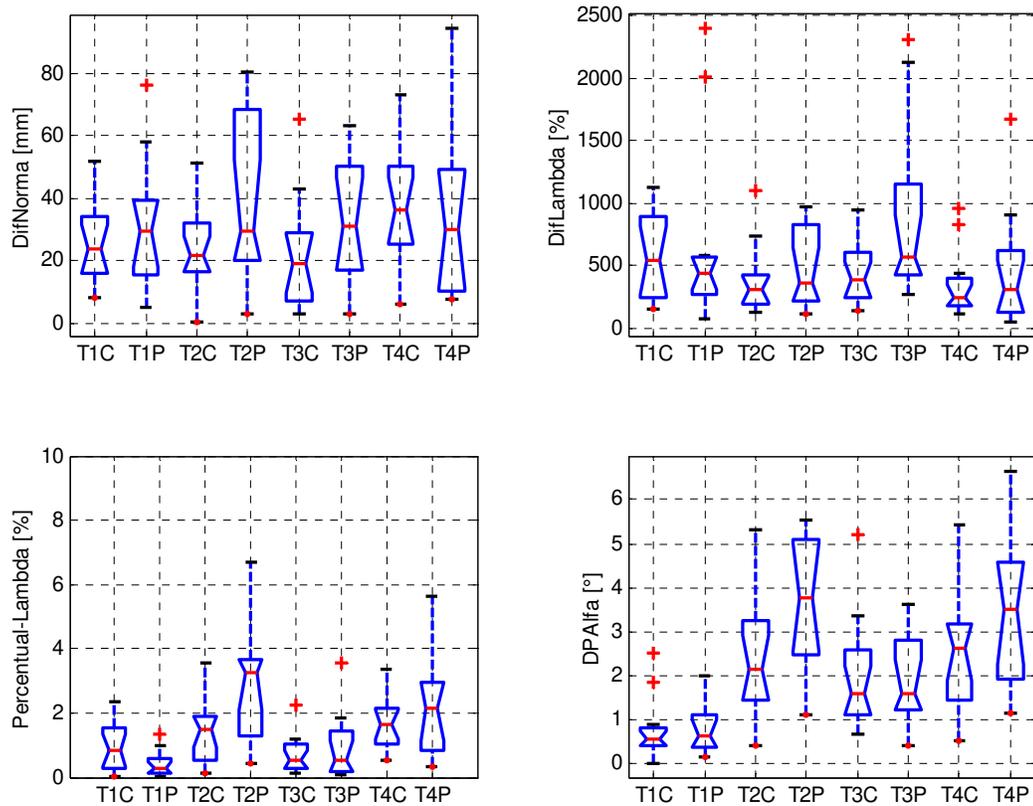


Figura 58 – Variabilidade dos valores da diferença entre as normas dos vetores que representam a posição média (DifNorma), da diferença entre os autovalores ($d\lambda$ -Percentual Lambda), a diferença entre o maior e o menor valor da variabilidade em relação a primeira componente ($\Delta\lambda_1$ -Dif Lambda) e do desvio padrão da diferença entre todas as combinações dos três ângulos (DPAIfa).

A representação das componentes principais nos diagramas de fase, para o 2º dedo de todos os voluntários estão apresentadas na Figura 73 do Apêndice D

6.4.3 Correlações das variações angulares entre os dedos

Para correlações foram analisados os 14 voluntários do grupo controle (7 homens e 7 mulheres) e 11 pianistas (5 homens e 6 mulheres). Foram calculadas as correlações entre os dados brutos dos ângulos de flexão e extensão da articulação metacarpofalangeana do 2º ao 5º dedos da mão, no tempo, combinando o 2º e 3º dedos, 2º e 4º dedos, 2º e 5º dedos, 3º e 4º dedos, 3º e 5º dedos e 4º e 5º dedos, para todos os testes, as quais estão descritas na forma de Boxplot. As variabilidades das correlações para todos os dedos, em relação às tarefas, comparando os grupos controle e pianista, estão apresentadas na Figura 59.

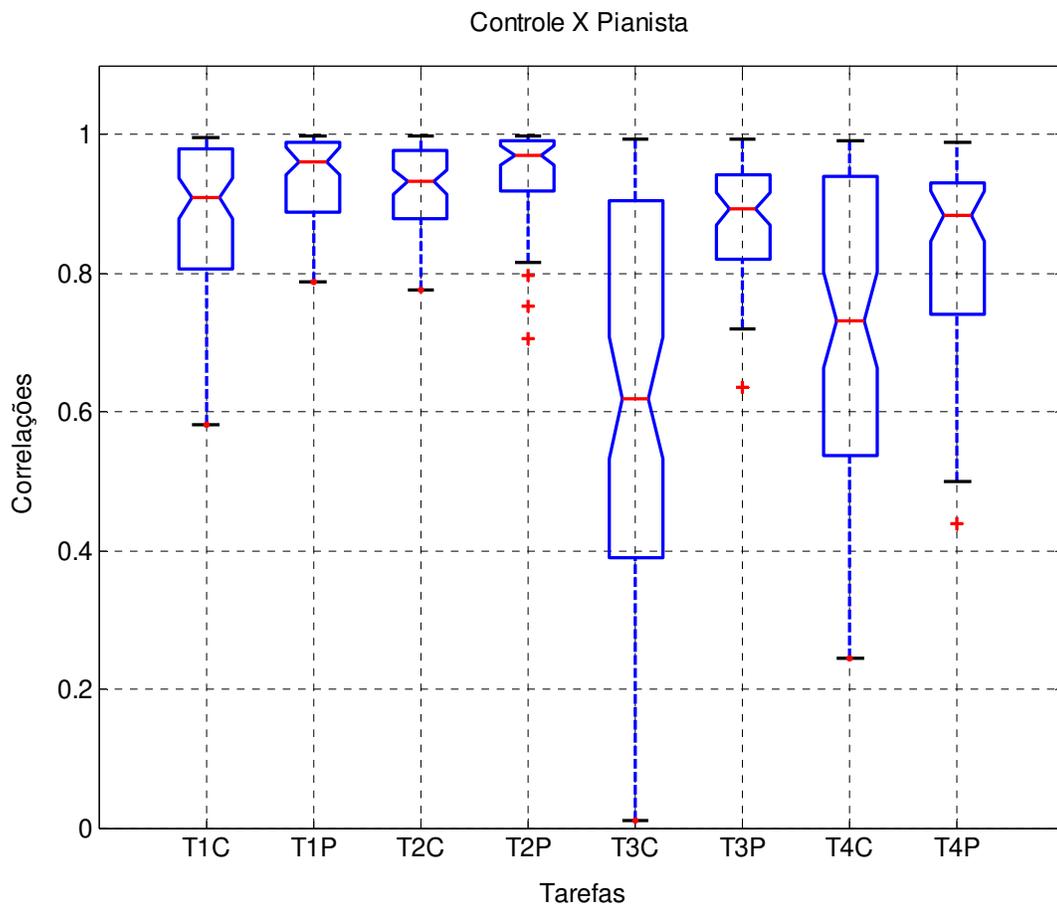


Figura 59 – Boxplot dos valores das correlações comparando as tarefas entre os grupos controle e pianista
T1C = tarefa 1 para todos os voluntários do grupo controle (n=14), T1P = tarefa 1 para todos os voluntários do grupo pianista (n=11), T2C = tarefa 2 para todos os voluntários do grupo controle (n=14), T2P = tarefa 2 para todos os voluntários do grupo pianista (n=11), T3C = tarefa 3 para todos os voluntários do grupo controle (n=14), T3P = tarefa 1 para todos os voluntários do grupo pianista (n=11), T4C = tarefa 4 para todos os voluntários do grupo controle (n=14), T4P = tarefa 4 para todos os voluntários do grupo pianista (n=11).

Foram observadas altas correlações para todas as tarefas do grupo pianista, sendo muito próximas de +1 para as tarefas 1 e 2, e maiores que 0,8 para as tarefas 3 e 4.

A variabilidade das correlações comparando o grupo controle e o grupo pianista, em relação às combinações dos dedos, separando as 4 tarefas, estão mostradas na Figura 60.

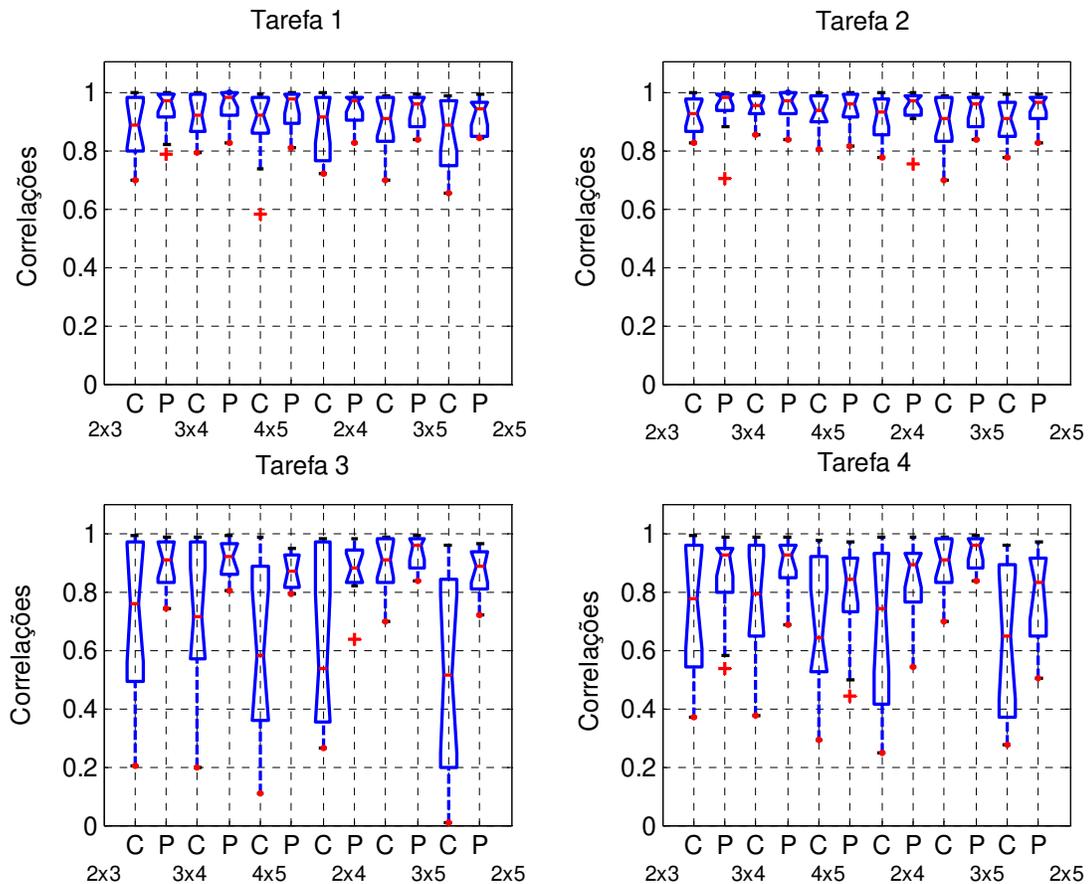


Figura 60 – Boxplot das correlações separando as combinações e comparando os grupos controle e pianista. C = Controle e P = Pianista; 2x3 = correlações entre o 2º e o 3º dedos, 3x4 = correlações entre o 3º e o 4º dedos, 4x5 = correlações entre o 4º e o 5º dedos, 2x4 = correlações entre o 2º e o 4º dedos, 3x5 = correlações entre o 3º e o 5º dedos, 2x5 = correlações entre o 2º e o 5º dedos).

Os valores das correlações para o grupo pianista foram próximos de +1 para todas as combinações dos dedos para as tarefas 1 e 2. Para as tarefas 3 e 4 os valores das correlações foram acima de +0,8, com exceção da correlação entre o 2 e 5 dedos para a tarefa 4. Para o grupo controle as maiores correlações foram para as tarefas 1 e 2. Na tarefa 3 os valores da

correlação para a combinação 2 e 5 variou de 0 a próximo de +1. As variabilidades das correlações entre os dedos foi maior no grupo controle, principalmente nas tarefas 3 e 4.

Para a análise estatística o coeficiente de correlação foi transformado para comparação entre os grupos controle e pianista. Considerando que os valores da correlação não apresenta distribuição normal foi aplicada uma transformação proposta por *Fisher* (ZAR, 1999).

Posteriormente à transformação dos dados, foi utilizada a ANOVA para se verificar diferenças entre os grupos em relação às correlações entre os ângulos dos dedos nas diferentes tarefas e foram encontradas diferença significativa entre os grupos controle e pianista em todas as tarefas (Tabela 19).

Tabela 19 – Valores de p para a ANOVA das correlações entre os dedos durante a realização das tarefas

	Tarefa 1	Tarefa 2	Tarefa 3	Tarefa 4
Grupo (controle X pianista)	0,002*	0,012*	0,000*	0,002*

* Significativo para $p < 0,05$

Para a comparação entre as tarefas foi realizada ANOVA fatorial e foi encontrada diferença significativa entre os grupo e entre as tarefas (Tabela 20) e posteriormente aplicado o Teste de Tukey para comparações múltiplas. Não houve interação significativa entre grupos e tarefas.

Tabela 20 – Valores de p para comparação entre os grupos e entre as tarefas para os homens

	Valores da correlação entre os ângulos transformada
Grupo	0,0000*
Tarefas	0,0000*
Grupo*Tarefas	0,27

* Significativo para $p < 0,05$

Foram encontradas diferenças entre as tarefas T1 e T3; T1 e T4; T2 e T3; T2 e T4. Dessa maneira as diferenças apareceram entre os diferentes tipos de prensão, não tendo diferença entre as velocidades de execução.

7 DISCUSSÃO

Estudos prévios de análise tridimensional da mão empregando diversas técnicas de aquisição de dados, métodos de análise dos ângulos articulares e da coordenação dos dedos estão descritos na literatura. Entretanto, poucos trabalhos de análise dos padrões de movimento de preensão, buscando evidenciar diferenças entre indivíduos treinados e não treinados, foram encontrados. Além disso, dos trabalhos encontrados que tinham relação com a análise da mão de pianistas, estes eram específicos para a análise da atividade pianística. Dessa forma, este estudo buscou preencher essa lacuna em relação à análise do movimento dos dedos entre grupos não treinados e submetidos a treinamento específico para a mão, como no caso dos pianistas.

Para a realização dessa análise, foi necessário inicialmente desenvolver uma metodologia para análise da preensão palmar durante a realização de diferentes tarefas executadas contra um exercitador de dedos. A metodologia proposta, assim como qualquer outra apresenta limitações que serão discutidas, bem como as vantagens e as possíveis utilizações. Inicialmente serão discutidos os aspectos relacionados à metodologia proposta e posteriormente serão discutidos os resultados encontrados na literatura.

Mesmo tendo sido realizada uma análise baseada em coordenadas tridimensionais, o movimento analisado foi somente o de flexão e extensão da metacarpofalangeana do 2º ao 5º dedos. Isso porque o movimento analisado foi o da preensão palmar, em que são realizados os movimentos de flexão e extensão dos dedos. Contudo, a disposição dos marcadores utilizada nesse modelo permite a análise da abdução e adução, não limitando para a flexão e extensão. Como os dedos permaneciam no exercitador, não foi uma preocupação do modelo calcular a abdução e adução; porém, foi observado nas imagens um movimento de abdução do 5º dedo e/ou do 2º dedo para alguns voluntários. Em relação ao movimento de rotação axial das articulações dos dedos, segundo Rash et al., (1999), os clínicos não consideram o movimento de rotação axial, e segundo Kapandji (2000) as articulações

metacarpofalangeanas não possuem um movimento de rotação ativo individualizado; essas articulações possuem um movimento de rotação longitudinal automática no sentido da supinação, devido à assimetria dos côndilos metacarpianos e da desigualdade de tensão e comprimento dos ligamentos laterais. Esse movimento é máximo no 5º dedo para a realização da oposição. Somia et al., (1998), Rash et al., (1999) e Braido e Zhang (2004) têm utilizado a análise tridimensional para avaliar os movimentos de flexão e extensão dos dedos da mão. Rash et al. (1999) relataram que os movimentos de abdução e adução foram examinados, entretanto devido à importância clínica dos movimentos de flexão e extensão, foram apresentados somente os dados referentes a esses movimentos. Somia et al., (1998), Rash et al., (1999) também colocam como uma limitação do modelo o fato de assumir a não rotação axial da articulação metacarpofalangeana.

O ambiente da coleta de dados também é um fator limitante da metodologia. Devido à disposição das câmeras para o enquadramento da mão, estas não podem ser mudadas de posição após a calibração. Neste trabalho a disposição das câmeras limitou a análise para apenas a mão direita. Para que fosse possível a realização da filmagem, tanto na mão direita quanto na esquerda, seria necessário que o ambiente da coleta estivesse preparado para as duas possibilidades, com mais câmeras posicionadas para permitir a escolha da posição do voluntário previamente ao início da coleta das imagens. A opção para analisar as duas mãos ou a mão dominante, vai depender principalmente do objetivo do trabalho.

Nesse experimento, o objetivo foi comparar a mão direita de pianistas com a mão direita de não pianistas, submetidos a uma tarefa realizada contra a resistência de um exercitador. Dos voluntários avaliados, o lado esquerdo foi dominante para 3 pianistas e 1 não pianista. Na medida da força de preensão palmar realizada com dinamômetros, Caporrino et al., (1998) e Mathiowetz et al., (1985) não encontraram diferenças significativas entre a mão direita e esquerda. Além disso, na metodologia proposta foram utilizadas 4 câmeras, não permitindo uma variação em relação a dominância da mão durante experimento. Os autores Somia et al., (1998), Rash et al., (1999) e Braido e Zhang (2004) realizaram as filmagens também somente na mão direita e Fowler e Nicol (1999) utilizaram a mão dominante.

Uma das dificuldades para o estudo do movimento da mão é a colocação dos marcadores, em virtude do movimento da pele e dos tecidos moles. Segundo Hoppenfeld (1987), a pele do dorso da mão é mais fina e mais frouxa que a da palma para permitir o movimento da

preensão, e as pregas formadas sobre as articulações levam a uma maior amplitude de movimento. É conhecido que os marcadores colocados no dorso da mão se movimentam juntamente com o movimento da pele. Com o objetivo de minimizar esses efeitos foram utilizados marcadores dispostos nas extremidades proximais e distais dos ossos metacarpos e falanges proximais. Disposições semelhantes da colocação de marcadores foram utilizadas por Somia et al., (1998), Rash et al., (1999) e Braido e Zhang (2004). Esse modo de colocação nas extremidades evita que o marcador fique sobre a articulação, que é o local de maior mobilidade da pele devido às pregas. Evitou-se também a colocação de marcadores sobre os tendões extensores localizados no dorso da mão. Para avaliar o movimento do marcador na pele foram realizadas três medidas diferentes para as mesmas distâncias entre os marcadores na mão e serão discutidas na avaliação da metodologia.

Outra dificuldade é com relação à análise simultânea de todos os dedos. Muitos estudos têm considerado apenas o movimento do dedo indicador (Darling et al., 1994), ou o movimento do polegar e do dedo indicador realizando a pinça (Jakobson e Goodale, 1991; Kuhtz-Buschbeck et al., 1998). Em relação à localização dos marcadores, Darling et al., (1994) estudou o movimento do dedo indicador colocando marcadores na face lateral do dedo. Embora útil para analisar o segundo e o quinto dedos, esse método é inadequado para mensurar o movimento do terceiro e quarto dedos, ou para analisar todos os dedos simultaneamente. Dessa forma, a colocação dos marcadores no dorso favorece a análise simultânea de todos os dedos. Neste trabalho foram utilizados 16 marcadores fixados no dorso da mão. O que permitiu a análise do movimento das articulações metacarpofalangeanas.

Uma preocupação com o procedimento experimental foi com relação ao número e posicionamento das câmeras. Cada marcador deve ser visto pelo menos por duas câmeras para que seja possível a reconstrução tridimensional. No planejamento do procedimento experimental buscou-se um posicionamento das câmeras para que se obtivesse a captura dos marcadores com um número mínimo de câmeras. Somia et al., (1998) e Fowler e Nicol (1999) utilizaram 6 câmeras e Braido e Zhang (2004) utilizaram 5 câmeras para filmagem de marcadores dispostos da mesma maneira que o modelo proposto. Neste trabalho foram utilizadas 4 câmeras, sendo 2 para capturas das imagens dos metacarpos e 2 para as das falanges proximais. A utilização de quatro câmeras foi suficiente para a captura das imagens com todos os

marcadores e com esse menor número de câmeras o tempo de processamento das imagens foi reduzido. O tempo de processamento depende da velocidade do computador, do número de marcadores e do número de quadros. Neste trabalho, o tempo aproximado de processamento para um voluntário foi de 10 horas, para as quatro tarefas. Sendo o total da amostra 25 voluntários, o tempo médio de processamento foi de 250 horas utilizando 4 câmeras. Utilizando 6 câmeras ocorre um aumento de 50% nesse tempo.

Outro fator que influenciou o processamento das imagens foi à proximidade dos marcadores. Os marcadores foram fixados nas extremidades dos metacarpos e falanges proximais e na mão esses ossos são pequenos, comprados aos ossos dos membros, ficando muito próximos e com isso os marcadores ficaram muito próximos também. Dependendo da projeção dos marcadores na imagem, estes acabaram tendo alguma área de sobreposição, dificultando o rastreamento automático necessitando da atenção de um operador. Esse fator, além de influenciar no processamento, compromete a medição.

O tamanho do marcador também pode comprometer a qualidade dos dados. Neste trabalho foram utilizados marcadores com 4 mm de diâmetro. São marcadores pequenos, porém a proporção desse marcador em relação ao comprimento do segmento pode levar a erros experimentais comprometendo a qualidade das medições. Nas medidas diretas das distâncias entre os marcadores (medidas realizadas diretamente na mão do voluntário com um paquímetro), foi verificado que o diâmetro do marcador correspondeu, em média, a 9% do comprimento do metacarpo e 16% comprimento da falange proximal. Somia et al., (1998), Rash et al., (1999) e Braido e Zhang (2004) utilizaram marcadores de 5 mm de diâmetro, porém nenhum dos autores relataram a avaliação da metodologia proposta em relação a acurácia das medições.

A metodologia proposta foi avaliada em relação à acurácia das medições, da sensibilidade aos erros experimentais e da comparação entre medidas das distâncias. A acurácia média foi de 1,4 mm e a acurácia relativa ao enquadramento das câmeras foi de 0,86%, considerando a maior dimensão do volume igual 161,9 mm. Sarro (2003), utilizando o mesmo sistema de análise e o mesmo procedimento para avaliação da metodologia, encontrou uma acurácia de 2,4 mm para um volume com maior dimensão de 400 mm (acurácia relativa foi de 0,60%), sendo que a acurácia das medições da metodologia proposta foi considerada satisfatória.

Na análise da sensibilidade foi encontrado um erro de médio de 5 graus na simulação quando as medidas das distâncias entre os marcadores apresentaram uma variação máxima 10 mm. Tendo o marcador 4 mm de diâmetro e, considerando que durante as medições as distâncias podem variar até os extremos do marcador (8 mm), esse erro de 5 graus foi aceito para a metodologia proposta. A acurácia dos valores obtidos pela simulação em relação aos valores das medidas diretas das distâncias entre os marcadores dos metacarpos foi de 2,1 mm. Entretanto, como as medidas das distâncias são pequenas, marcadores com diâmetros menores poderiam resultar em menores erros.

A colocação dos marcadores e o movimento da pele também foram analisados. Foram realizadas três medidas diferentes (medida direta, medida estática e medida dinâmica) para uma mesma distância entre os marcadores. Quando comparadas às medidas realizadas pelo sistema de análise nos testes estático e dinâmico, foi encontrada uma variação maior das medidas das distâncias no teste dinâmico sendo de 0,3 mm a 1,7 mm para os metacarpos e 0,6 a 0,7 mm para as falanges proximais para o teste dinâmico em relação a 0,1 mm do teste estático, tanto para o metacarpo quanto para a falange proximal, o que é esperado, porque durante o movimento dos dedos ocorre o deslocamento do marcador. Porém, essa variação não compromete a metodologia, pois uma variação de 0,3 a 1,7 mm para a distância dos marcadores do metacarpo é pequena considerando o diâmetro de 4 mm do marcador e a média da medida real dos metacarpos de 47 mm. Os testes foram analisados estatisticamente e foram encontradas diferenças significativas nas tarefas 3 e 4 quando comparados os testes estático e dinâmico. Isso se deve ao fato da medida estática ter sido realizada com os dedos em extensão e nas tarefas 3 e 4 os dedos ficam em flexão devido a posição em gancho; sendo comparados os extremos das medidas. Dessa forma, a colocação dos marcadores nas extremidades dos ossos minimizou o deslocamento dos marcadores durante a realização das tarefas.

Para o protocolo de avaliação, foram realizadas as medidas antropométricas da mão, sugeridas por Webb (1978) *apud* Chaffin et al., (1999), e seus valores comparados aos encontrados na literatura. A média das medidas antropométricas das mãos dos homens foi maior que a das mulheres, tanto para o grupo controle quanto para o grupo pianista, para todas as medidas.

Quando comparados os dados obtidos com os de Webb (1978) *apud* Chaffin et al., (1999), os valores das medidas antropométricas foram semelhantes para os homens e para as mulheres, com exceção da medida do comprimento do dedo. Para os homens controle, a média da largura da palma (LP) foi de 81,7 ($\pm 3,2$) mm, da circunferência da palma (CP) foi de 225,7 ($\pm 10,5$) mm, da espessura da palma (EP) foi de 32,2 ($\pm 2,7$) mm, da largura da mão (LM) foi de 105 ($\pm 8,7$) mm e da circunferência da mão (CM) foi de 252,9 ($\pm 10,3$) mm. As médias dos valores encontrados por Webb (1978) *apud* Chaffin et al., (1999), foram 87,0 ($\pm 4,0$) mm; 215,0 (11,0) mm; 30 ($\pm 2,0$) mm; 104 ($\pm 5,0$) mm e 254,0 ($\pm 11,0$) mm, respectivamente. Para a medida comprimento do dedo (CD) Webb (1978) *apud* Chaffin et al., (1999), encontrou uma média de 126,0 ($\pm 8,0$) mm, e a média dos homens do grupo controle foi de 74 ($\pm 4,1$) mm. Essa medida foi a mais difícil para ser mensurada, porque o limite na extremidade distal do dedo foi facilmente localizado, enquanto que na extremidade proximal buscou-se alinhar o paquímetro à prega correspondente à articulação metacarpofalangeana do 2º dedo, o que não coincidiu com a medida de Webb (1878).

No estudo das mulheres, os valores do comprimento do dedo (CD) e da circunferência da mão (CM) não foram determinados por Webb. As médias das medidas da LP, CP, EP e LM foram semelhantes sendo que os valores dessas medidas foram 73,6 ($\pm 1,4$) mm para LP; 189,3 ($\pm 3,5$) mm para CP; 26 mm ($\pm 1,6$) para EP e 87,4 ($\pm 2,2$) mm para LM e os valores encontrados por Webb (1978) *apud* Chaffin et al. (1999), foram 76 ($\pm 4,0$) mm; 183 ($\pm 9,0$) mm; 25 ($\pm 2,0$) mm e 92 ($\pm 6,0$) mm, respectivamente.

Wagner (1988) realizou um trabalho sobre a antropometria e a amplitude de movimento ativo das mãos de pianistas para contribuir na ergonomia de instrumentos musicais. Ele avaliou 238 pianistas profissionais, sendo 127 homens e 111 mulheres, e realizou 20 medidas de dimensão do tamanho da mão, 17 medidas de amplitude de movimento ativo e 11 de movimento passivo. De todas essas medidas, somente duas são comparáveis em relação às medidas realizadas neste trabalho. A medida 2 de Wagner corresponde à medida da largura da palma (LP) e a medida 9 corresponde à medida do comprimento do dedo (CD). No trabalho de Wagner (1988), os valores das medidas 2 e 9 da mão direita para homens pianistas foram 85,2 mm e 85,4 mm, e para as mulheres foram de 76,6 cm e 78,3 cm, respectivamente. O autor não calculou o desvio padrão. No presente trabalho, os valores das medidas LP e CD para os homens

pianistas foram 80,4 ($\pm 5,6$) mm e 74,0 ($\pm 4,2$) mm, e para as mulheres de 72,2 ($\pm 2,9$) mm e 64,0 ($\pm 5,8$) mm. Os dados das medidas antropométricas foram comparados entre homens (controle e pianista) e mulheres (controle e pianista) e foi encontrada diferença somente para a medida da circunferência da palma (CP) que pode estar relacionada a um maior trofismo da musculatura intrínseca das mulheres pianistas pela atividade exercida pelos dedos durante o tocar piano.

Foram realizadas também medidas dinamométricas da mão direita através de um dinamômetro hidráulico. Para os testes, foi utilizada a posição 2 da empunhadura e foram analisados os valores da média entre três medidas de cada voluntário comparando os sexos e os grupos. Neste trabalho, foram encontradas diferenças significativas entre os homens e as mulheres quando não separados por grupo. Quando comparados os grupos, foi encontrada diferença significativa somente entre os homens do grupo controle e homens do grupo pianista. Essa diferença está relacionada à atividade exercida pelos pianistas, mais voltada para a destreza e para a coordenação do movimento. Os pianistas protegem a mão para não sofrerem lesões que o impeçam de tocar, enquanto que os homens de maneira geral realizam diferentes atividades que usam a força da mão, como no manuseio de ferramentas, por exemplo. Na comparação entre as mulheres, essa diferença não aconteceu porque as mulheres, de um modo geral, não realizam atividades que utilizam a força da mão, como os homens.

Para comparação com os dados da literatura, muitos estudos sobre medidas de força da preensão palmar foram encontrados; entretanto, os dados deste trabalho foram comparados aos da literatura nacional, realizados por Caporrino et al., (1998). Os autores encontraram uma média da força de preensão palmar das mulheres na mão dominante de 31,6 ($\pm 7,5$) kgf e nos homens de 44,2 ($\pm 8,9$) kgf. No presente trabalho, a média da força das mulheres do grupo controle foi de 21,6 ($\pm 3,95$) kgf, das mulheres pianistas foi de 23,2 ($\pm 5,0$) kgf e de todas as mulheres (grupo controle + pianista) foi de 22,3 ($\pm 4,35$) kgf. Para os homens, a média foi de 44,3 ($\pm 6,27$) kgf no grupo controle, de 31,8 ($\pm 7,49$) kgf no grupo pianista e de 38,5 ($\pm 9,3$) kgf para todos os homens (grupo controle + pianista). As medidas da força de preensão foram realizadas somente na mão direita, sendo que no grupo das mulheres apenas 1 mulher do grupo controle e 2 do grupo pianista apresentaram a mão esquerda dominante, o que poderia explicar uma média menor para as mulheres deste trabalho em relação ao de Caporrino et al., (1998).

Além disso, o número da amostra deste trabalho foi de 13 mulheres comparado ao estudo populacional de Caporrino et al., (1998), com 400 mulheres.

Para a análise da amplitude angular máxima, foi desenvolvido um algoritmo para separar as repetições, separar os dedos e localizar a curva com a amplitude angular máxima (*range* máximo). Os *ranges máximos* foram comparadas entre os grupos durante a realização das mesmas tarefas sendo encontrada diferença significativa entre os grupos somente para a tarefa 3. Quando foram analisados os dedos separadamente, não foi encontrada diferença significativa entre os grupos, porém foi encontrada diferença significativa entre as tarefas. A diferença apareceu para as preensões grossa e gancho. A diferença entre os tipos de preensão para a amplitude foi devido à posição da mão no exercitador durante a tarefa, sendo que na preensão grossa os quatro últimos dedos ficam fletidos envolvendo um objeto e apertando-o de encontro à palma. Na preensão em gancho, as extremidades das falanges distais tocam no exercitador, mantendo as articulações metacarpofalangeanas em extensão e permitindo um maior movimento nas articulações interfalangeanas proximais.

Os dados da posição angular e da velocidade angular foram analisados qualitativamente e quantitativamente através dos diagramas de fase. Na análise qualitativa, foi observado que a tarefa modificou o padrão de movimento para todos os voluntários em relação a todos os dedos. Os melhores padrões de movimento foram observados na tarefa 1 e os piores nas tarefas 2 e 4. Contudo, foi observado que nas tarefas realizadas com velocidades mais rápidas, os padrões foram mais semelhantes e as repetições apresentaram um maior regularidade quanto comparadas as realizadas em velocidades mais lentas. Quando comparados os tipos de preensão, os padrões mais semelhantes e com maior regularidade nas repetições foram os realizados com a preensão grossa. No caso da preensão em gancho, o pouco contato dos dedos no exercitador deixa a tarefa mais complexa, pois necessita de um maior controle do movimento.

Entretanto somente com essa forma de análise não foi possível separar os grupos controle e pianista, nem caracterizar padrões para os grupos e tarefas. Para tanto, foi necessária uma análise quantitativa desses diagramas, através da Análise por Componentes Principais. Uma forma de análise do movimento de preensão dos dedos utilizando as componentes principais foi descrita por Braido e Zang (2004), com o objetivo de avaliar a coordenação dos dedos durante a preensão de um objeto cilíndrico com flexão de todos os dedos

e dos dedos individualmente. Os autores verificaram que a análise por componentes principais revelou um alto grau de sinergia entre os dedos e entre as articulações.

Para comparação entre pianistas e não pianistas foram definidos vetores, a partir das variáveis obtidas na ACP para analisar quantitativamente os diagramas de fase e a partir disso evidenciar diferenças entre os grupos. Os vetores foram denominados vetor caracterização de padrão e de regularidade. Esses vetores representaram numericamente os diagramas de fase e identificaram diferenças entre grupos controle e pianista para algumas variáveis. Para o vetor caracterização do padrão foi encontrada diferença significativa somente para a variável média da posição angular média ($\bar{\theta}$). Para o vetor regularidade a diferença estatística encontrada foi para a diferença entre o maior e o menor valor da variabilidade em relação a primeira componente ($\Delta\lambda_1$). Quando analisadas as tarefas, as diferenças foram mais evidentes. Para as análises dos dedos separadamente, as diferenças entre os grupos controle e pianista são tão discretas que somente foram evidenciadas para algumas variáveis obtidas através de uma análise como as das Componentes Principais.

As diferenças mais evidentes entre os grupos controle e pianista foram identificadas na análise da correlação entre as curvas dos ângulos das articulações metacarpofalangeanas. Foram observadas altas correlações entre os ângulos dos dedos no grupo dos pianistas, o que demonstrou que durante as tarefas os dedos dos pianistas se movimentaram mais em conjunto, sugerindo uma sinergia de movimento entre os dedos. Nessa análise foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os dois grupos para todas as tarefas. Isso, provavelmente, se deve ao fato de que segundo Janke et al., (2000), o treinamento intenso de habilidade manual realizada pelo pianista aumenta a possibilidade de controle do movimento, em que o movimento é realizado com maior eficiência, com um número reduzido de atividade neural. Esse controle é responsável pela sinergia de movimento dos dedos durante a realização das tarefas.

Também foram encontradas diferenças significativas entre as tarefas realizadas com a preensão grossa e com a preensão em gancho. Na preensão em gancho é necessário um maior controle do movimento, devido ao pequeno contato dos dedos na resistência do exercitador que é realizado apenas com as extremidades dos dedos.

7 CONCLUSÕES

Através da metodologia empregada e das formas de análise foi possível analisar as alterações nos padrões de preensão palmar em pianistas além disso, foi possível caracterizar o padrão de preensão palmar de pianistas, durante a realização de tarefas, em função do tipo de preensão e da velocidade de execução. O método utilizado demonstrou ser adequado para esse tipo de análise cinemática e a utilização de diagramas de fase é um recurso importante para a análise qualitativa e quantitativa do movimento de padrões de preensão palmar.

As variáveis obtidas pela análise das componentes principais e as medidas de correlação foram as que evidenciaram a diferença entre os grupos controle e pianista.

Em relação às tarefas todas as variáveis analisadas evidenciaram as diferenças entre as tarefas, principalmente com relação entre as tarefas realizadas com a preensão grossa e a preensão em gancho.

8 REFERÊNCIAS

ABDEL-AZIZ, Y.I.; KARARA, H.M. **Direct Linear transformation from comparator coordinates into object-space coordinates**. ASP/UI Symposium, Urbana, Illinois. 1971.

AN, K.; CHAO, E.Y.; COONEY, W.P.; LINSHEID, R.L. Normative model of human hand for biomechanical analysis. **Journal of Biomechanics**, v.12, p.775-788, 1979.

BARR, A. E; BEAR –LEHAMAN, J. Biomecânica do punho e da mão In: NORDIM, N. M.; FRANKEL, V. H. **Biomecânica básica do sistema músculo esquelético**. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara-Koogan, 2003. cap. 14, p.312-336.

BARROS, R. M. L. **Concepção e implementação de um sistema de análise cinemática de movimentos humanos** 1997. 119f. Tese (Doutorado em Educação Física) – Departamento de Educação Motora, Faculdade de Educação Física, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BARROS, R. M. L.; BREZIKOFER, R.; LEITE, N. J; FIGUEROA, P. J. Desenvolvimento e avaliação de um sistema para análise tridimensional de movimentos humanos. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**, v.15, n.1-2, p.79-86. 1999.

BARROS, R. M. L.; LEITE, M. R. R.; BREZIKOFER, R.; IWANOWICZ, J. B.; LIMA FILHO, E. C.; Respiratory pattern changes in elderly yoga practitioners. **Journal of Human Movement Studies**, v. 44, n.5, p.387-400. 2003.

BARROS, R. M. L.; RUSSOMANO, T. G.; BREZIKOFER, R.; FIGUEROA, P. J. A Method to Synchronise Video Cameras using the Audio Band. **Journal of Biomechanics**. 39(4), 776-780, 2006.

BLAIR, V. Função da mão. In: DURWARD, B.R.; BAER, G.D.; ROWE, P.J. **Movimento funcional humano: mensuração e análise**. São Paulo, SP: Manole, 2001. cap. 11, p.159-179.

BOULOS, P; CAMARGO, I. **Geometria Analítica: um tratamento vetorial**. 2ª ed. São Paulo, SP: Makron Books, 1987. 385p.

BRAIDO, P.; ZHANG, X. Quantitative analysis of finger motion coordination in hand manipulative and gestic acts. **Human Movement Science**, v.22, p. 661-678, 2004.

CAPORRINO, F.A.; FALOPPA, F.; SANTOS, J.B.G.; RÉSSIO, C.; SOARES, F.H.; NAKASHIMA, L.R.; SEGRE, N.G. Estudo populacional da força de preensão palmar com dinamômetro Jamar ®. **Revista Brasileira de Ortopedia**. v.33, n.2, p.150-154, fev.1998.

CHAFFIN, D.B.; ANDERSSON, G.B.J.; MARTIN, B.J. Hand-Tool Design Guidelines. In: _____. **Occupation Biomechanics**. 3th ed. New York: John-Wiley & Sons, 1999. cap. 11, p.435-461.

CHAO E.Y.; OPGRANDE J.D.; AXMEAR F.E.: Three-dimensional force analysis of finger joints in selected isometric hand functions. **Journal of Biomechanics**. 1976;9(6):387-96.

CHÉZE L.; GUTIERREZ, C. SAN MARCELINO, R. DIMNET, J. Biomechanics of the upper limb using robotic techniques. **Human Movement Science**. v.15, p.477-496 1996

CHRISTEL, M.I.; BILLARD, A. Comparison between macaques' and humans' kinematics of prehension: the role of morphological differences and control mechanisms. **Behavioural Brain Research**, v.131, p.169-184, 2002.

DANGELO, J.G.; FATTINI, C.A.: **Anatomia Humana sistêmica e segmentar**. Rio de Janeiro, R.J: editora Atheneu, 2002. 671p.

DARLING, W.G.; COLE, K.J.; MILLER, G.F.; Coordination of index finger movements. **Journal of Biomechanics**, v.27, n.4, p 479-491, 1994.

DELLON, A.L.; KELLER, K. M.: Computer-assisted quantitative sensorimotor testing in patients with carpal and cubital tunnel syndromes. **Ann Plast Surg** 38(5):493-502, 1997.

FERNANDES, L.F.R.M.; ARAÚJO, M.S.; MATHEUS, J.P.C.; MEDALHA, C.C.; SHIMANO, A.C., PEREIRA, G.A. Comparação de dois protocolos de fortalecimento para preensão palmar. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, v.7, n.1, p.17-23, 2003.

FERRIGNO, I.S.; FREITAS, P.P.; FREITAS, A.D. ; Lesões dos nervos periféricos. FREITAS , P. P. **Reabilitação da mão**. São Paulo: Editora Atheneu, 2005.

FESS, E. E.; MORAN, C., **Clinical assessment recommendations**. 1981. Monograph. Indianapolis. American Society of Hand Therapists.

FIGUEROA, P.J., LEITE, N.J. AND BARROS, R.M.L. A flexible software for tracking of markers used in human motion analysis. **Computer Methods and Programs in Biomedicine**. v.72, n.2, p.155-165, 2003.

FOWLER, N.K; NICOL, A.C. Measurement of external three-dimensional interphalangeal loads applied during activities of daily living. **Clinical Biomechanics**, v.14, p. 646-652, 1999.

FOWLER, N.K; NICOL, A.C. Interphalangeal joint and tendon forces: normal model and biomechanical consequences of surgical reconstruction. **Journal of Biomechanics**, v.33, p. 1055-1062, 2000.

FUSS, F. K.; WAGNER, T. F. Biomechanical alterations in the carpal arch and hand muscles after carpal tunnel release: a further approach toward understanding the function of the flexor retinaculum and the cause of postoperative grip weakness. **Clin. Anat**, v.9, n.2, p. 100-108, 1996.

GELLMAN, H., KAN, D., GEE, V. KUSCHENER, S.H., BOTTE, M.J. Analysis of pinch and grip strength after carpal tunnel release. **J. Hand Surg.**, v. 14, n.5, p. 863-864, 1989.

HALL, S. **Biomecânica básica**. Rio de Janeiro, R.J: Guanabara-Koogan, 2000. 417p.

HOPPENFELD, S. **Propedêutica ortopédica: coluna e extremidades**. 1 ed. Rio de Janeiro: Livraria Atheneu, 1987. 276p.

HUNTER, J. M.; SCHNEIDER, L.H.; MACKIN, E.J.; CALLAHAN, A.D. **Rehabilitation of the hand: surgery and therapy**. 3th ed. St Louis: Mosby. 1990.

JACKSON, J. E. (1991). **A User's Guide to Principal Components**. John Wiley and Sons, Inc.

JAKOBSON, L. S.; GOODALE, M. A. Factors affecting higher-order movement planning: a kinematic analysis of human prehension. **Experimental Brain Research**, v.86, p. 199-208, 1991.

JAIN, A.S.; HENNEDY, J.A.; CARUS, D.A. Clinical assessment of hand strength using a microcomputer. **Journal of Hand Sur. Am.**, v.10B, n.3, p. 315-318, 1985.

JANCKE, L.; SHAH, N.J.; PETERS, M. Cortical activation in primary and secondary motor areas for complex bimanual movements in professional pianists. **Cognitive Brain Research**, v. 10, p. 177-183, 2000.

JEANNEROD M. The formation of finger grip during prehension. A cortically mediated visuomotor pattern. **Behavioural Brain Research**, v.19, p.99-116, 1986.

KAPANDJI, A. I. **Fisiologia articular**. 5ª ed. São Paulo, SP,: Panamericana, 2000. v.1, 295p.

KELLOR, M.; FROST, J.; SILBERBERG, N. et al: Hand strength and dexterity. **Am. J. Occup Ther.**, 25(2), 77-83, 1971.

KETCHUM L.D., THOMPSON D., POCOOCK G., WALLINGFORD D.: A clinical study of forces generated by the intrinsic muscles of the index finger and the extrinsic flexor and extensor muscles of the hand. **Journal of Hand Surgery [Am]**. 1978 Nov;3(6):571-8

KOBAYASHI, M.; BERGER, R.A.; NAGY, L.; LINSCHIED, R.L.;UCHIYAMA, S. RITT, M.; AN, K. Normal kinematics of carpal bones: a three-dimensional analysis of carpal bone motion relative the radius. **Journal of Biomechanics**, v.30, n.8, p.787-793, 1997.

KUHTZ-BUSCHBECK, J.P.; STOLZE, H.; BOCZEK-FUNCKE, A.; JÖHNK, K.; HEIRICHS, H.; ILLERT, M. Kinematic analysis of prehension movements in children. **Behavioural Brain Research**, v.93, p.131-141, 1998.

LIPPERT, L. **Cinesiologia clínica para fisioterapeutas**. 2ª ed. Rio de Janeiro, RJ: Revinter. 1996, 301p.

MAZZER, N.; BARBIERRI, C. H.; UILIAN, V. Princípios das transferências tendinosas na reabilitação das seqüelas das lesões dos nervos radial, mediano e ulnar. TATAGIBA, M.; MAZZER, N.; AGUIAR,P.H.P.; PEREIRA, C. U.**Nervos Periféricos: Diagnóstico e tratamento clínico e cirúrgico**. Rio de Janeiro: Editora Revinter, 2003

MATHIOWETZ, V., KASHMAN, N., VOLLAND, G., WEBWER, K., DOWE, M., & ROGERS, S.: Grip and pinch strenght: Normative data for adults. **Arch Phys Med Rehabil** v. 66, p. 69-74, 1985.

MORAN, C.A. Anatomy of the hand. **Physical Therapy**, v. 69, n. 12, p. 1007-1013, 1989.

NETSCHER, D., MOSHARRAFA, A., LEE, M., POLSEN, C., STEADMAN, A.K.,YHORNBY, J. Tranverse carpal ligament: its effect on flexor tendon excursion, morphologic changes of the carpal canal, and on pinch and grip strengths after open carpal release. **Plast Reconstr Surg**. v. 100, n. 3, p. 636-42, 1997.

NORDIN, M.; FRANKEL, V.H. **Biomecânica básica do sistema músculo esquelético**. Rio de Janeiro, R.J: Guanabara-Koogan, 2003.

PARDINI JR, A. G.: Anatomia funcional. FREITAS , P. P. **Reabilitação da mão**. São Paulo: Editora Atheneu, 2005.

PARLITZ, D.; PESCHEL T.; ALTENMÜLLER E. Assessment of dynamic finger forces in pianists: Effects of training and expertise. **Journal of Biomechanics**. v.31, p.1063-1067, 1998.

PAULIGNAN, Y.; MACKENZIE, C.; MARTENIUK, R.; JEANNEROD, M. The coupling of arm and finger movements during prehension. **Experimental Brain Research**., v.79, p.431-435, 1990.

RASH, G. S.; BELLIAPPA, P.P.; WACHOWIAK, P.M.; SOMIA, N.N.; GUPTA, A. A demonstration of the validity of a 3-D video motion analysis method for measuring finger flexion and extension. . **Journal of Biomechanics**, v.32, p.1337-1341, 1999.

RICHERME, C. **A técnica pianística**: uma abordagem científica. São João da Boa Vista, SP: Air, 1996. 294p.

ROY, A.C.; PAULIGNAN, Y.; FARNÈ, A.; JOUFFRAIS, C.; BOUSSAOUD, D. Hand kinematics during reaching and grasping in the macaque monkey. **Behavioural Brain Research**, v.117, p.75-82, 2000.

SARRO, K.J. **Metodologia para análise da movimentação da caixa torácica durante a respiração**. 2003. 107f. Dissertação (Mestrado em Educação Física) – Faculdade de Educação Física, UNICAMP.

SFORZA, C.; MACRI, C.; TURCI, M.; GRASSI, G.; FERRARIO, V.F. Neuromuscular patterns of finger movements during piano playing: definition of an experimental protocol. **Ital. Journal Anat. Embryol**, v. 108, n. 4, p. 211-222, 2003.

SHUMWAY-COOK A.; WOOLLACOTT M.H. **Controle Motor**: teoria e aplicações práticas. 2ª Ed., São Paulo: Manole. 2003.592p

SMITH, L.K.; WEISS, E.L.; LEHMKUHL, L.D. **Cinesiologia clínica de Brunnstrom**. 5ª Ed., São Paulo: Manole. 1997. 538p.

SOMIA, N.; RASH, G.S., WACHOWIAK, M.; GUPTA, A., The initiation and sequence of digital joint motion. **Journal of Hand Surgery** (British and European Volume), v. 23B, n. 6, p. 792-795, dec.1998.

TAN, B.; AZIZ, A.R.; THE, K.C., LEE, H.C. Grip strength measurement in competitive ten-pin bowlers. **Journal Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 41, n. 1, p. 68-72, march. 2001.

UCHIYAMA, S.; COONEY, W.P.; LINSCHIED, R.L.; NIERBUR, G., AN, K.,; ROCHESTER, M.N. Kinematics of the proximal interphalangeal joint of the finger after surface replacement. **The Journal of Hand Surgery**, v.25A n.2, p.305-312, march, 2000.

VAN VLIET, P. Alcançar, apontar e usar as duas mãos juntas. 2001 – In: DURWARD, B.R.; BAER, G.D.; ROWE, P.J. **Movimento funcional humano**: mensuração e análise. São Paulo, SP: Manole, 2001. cap.10, p.148-158.

VUOLO J. H. **Fundamentos da teoria de erros**. 2ª edição. São Paulo-SP: Editora Edgard Blucher Ltda. 2000.

WAGNER, Ch. **The pianist's hand**: anthropometry and biomechanics. Ergonomics, v.31, n.1, p. 97-131, 1988.

ZAR, J.H. **Bioestatistical analysis**. 4th ed. New Jersey: Prentice Hall. 1999.

ANEXOS

ANEXO A – Termo de Consentimento livre e esclarecido

Título: Análise das alterações nos padrões de preensão palmar de força em pianistas.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Machado Leite de Barros

Pós-Graduanda: Luciane Fernanda R. Martinho Fernandes

Local da avaliação: Laboratório de Instrumentação para Biomecânica – Faculdade de Educação Física/ Unicamp

Campinas, ____ de _____ de _____.

Eu, _____, _____, anos de idade, portador do registro de identidade número _____, residente a Rua (Av.) _____, Cidade _____, Estado _____, voluntariamente concordo em participar do projeto Análise angular das articulações dos dedos da mão durante a preensão palmar de força.

É do meu conhecimento que este projeto será desenvolvido para pesquisa científica e tem como objetivo desenvolver uma metodologia para analisar os ângulos articulares dos dedos da mão, através da realização de oito filmagens. Estou ciente de que previamente a filmagem, responderei um questionário e o pesquisador realizará algumas medidas na minha mão direita. Foi-me esclarecido de que não haverá risco ou benefício e que a duração do esforço é muito curta, não causando cansaço muscular, entretanto, poderei interromper o teste a qualquer momento devido à sensação de desconforto ou qualquer outra queixa. Quando da necessidade de deslocamento para o local da realização dos testes, terei ressarcimento para o transporte.

Autorizo a publicação das informações por mim fornecidas com a segurança de que não serei identificado e de que será mantido o caráter confidencial da informação relacionada com a minha privacidade.

Tendo ciência do exposto acima e de que poderei deixar a pesquisa, em qualquer tempo, sem qualquer prejuízo aos atendimentos que venho recebendo, assino esse termo de consentimento

Luciane F. R.M. Fernandes

Prof. Dr. Ricardo M. Leite. de Barros

Para esclarecimento de eventuais dúvidas ou queixas, entrar em contato com os pesquisadores abaixo ou com o comitê de ética. Isso poderá ocorrer em qualquer momento, mesmo após a realização dos testes.

Luciane F. R.M. Fernandes

Tel: 3251-7986/3788-6626

Prof Dr. Ricardo M. Leite. de Barros

Tel: 3788-6626

Comitê de Ética em Pesquisa

Tel: 3788-8936

ANEXO B– Protocolo de avaliação

LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO PARA BIOMECÂNICA

FEF-UNICAMP

IDENTIFICAÇÃO

DATA: ____/____/____

NOME: _____

IDADE: _____ DATA DE NASCIMENTO: ____/____/____

HISTÓRICO:

Já teve dor nos membros superiores?

() sim () não

Se a resposta anterior for afirmativa, onde sentia dor?

R: _____

Atualmente sente dor nos membros superiores?

() sim () não

Se a resposta anterior for afirmativa, onde sente dor?

R: _____

AVALIAÇÃO ANTROPOMÉTRICA:

MASSA: _____ ALTURA: _____

COMPRIMENTOS: Medida das distâncias entre os marcadores

Mão direita

	2° dedo	3° dedo	4° dedo	5° dedo
Metacarpo				
Falange proximal				
Falange média				

MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS DA MÃO

	LP	CP	EP	CD	LM	CM
Mão direita						

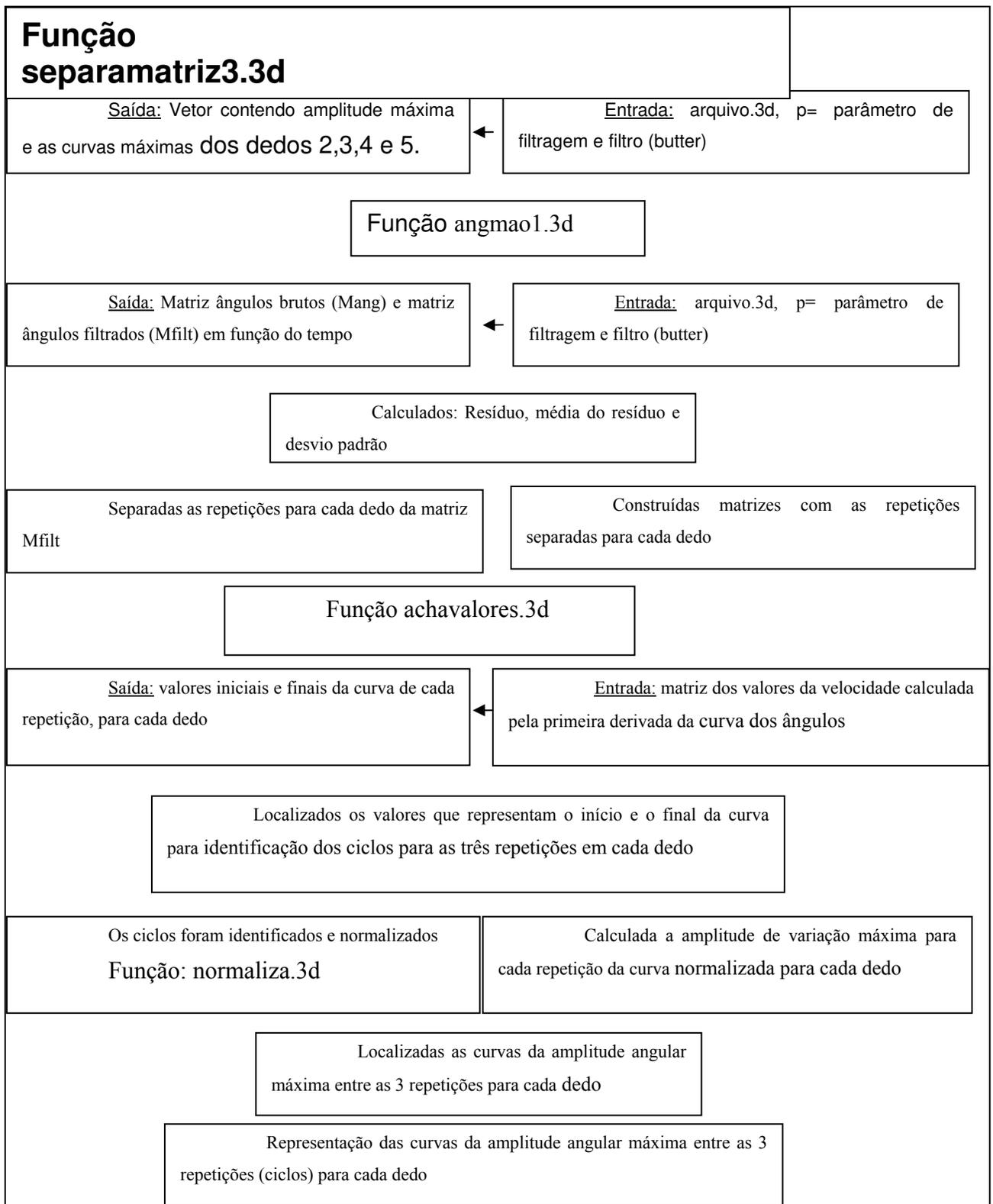
MEDIDA DE FORÇA MÁXIMA

Mão direita:

	1ª medida	2ª medida	3ª medida	Média
Posição 2				

OBSERVAÇÕES:

Anexo C – Diagrama de bloco representando o algoritmo desenvolvido para separação dos ciclos e cálculo da amplitude angular



APÊNDICES

Apêndice A - Análise das componentes principais

1 Definição

É um método de análise rigoroso, que gera um novo conjunto de variáveis, chamado de componentes principais (CP). Essas novas variáveis são obtidas a partir de combinações lineares das variáveis originais, sendo que as componentes principais são ortogonais entre si, não havendo informação redundante. Pela análise são obtidas duas componentes principais. A primeira componente principal é um único eixo central no espaço. Quando cada observação é projetada nesse eixo, resulta o valor da nova variável e a variância destas variáveis é a máxima entre todas as escolhas possíveis da primeira linha central. A segunda componente principal é o outro eixo no espaço, perpendicular ao primeiro. A projeção de cada observação nesse eixo gera outra variável e a variância destas variáveis também é a máxima entre todas as escolhas possíveis deste segundo eixo central (Jackson, 1991).

Geometricamente, essas combinações lineares representam um novo sistema de coordenadas obtidas por rotação do sistema original, sendo as variáveis da CP os eixos da coordenada. Esses novos eixos representam as direções com máxima variabilidade do conjunto original de dados.

A análise das CP tem três efeitos: a) Construir as CP ortogonais entre si a partir das componentes de entrada dos dados; b) Manter a ordem dos resultados de forma que as componentes ortogonais resultantes (componentes principais) com a maior variação venham primeiramente; c) Eliminar as componentes que contribuem com a menor variação do conjunto de dados.

2 Revisão dos conceitos

Para entender como são calculadas as componentes principais é importante recordar alguns conceitos de matemática e estatística.

2.2 Variância

É a dispersão do conjunto de dados em relação à média. Calculada pela diferença entre cada dado do conjunto em relação à média.

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}$$

EXEMPLO 1:

Dados (x)	Desvios ($x - \bar{x}$)	Quadrado dos desvios ($(x - \bar{x})^2$)
0	-5	25
4	-1	1
6	1	1
8	3	9
7	2	4
$\bar{x} = 5$	$\sum (x - \bar{x}) = 0$	$\sum (x - \bar{x})^2 = 40$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)} = \frac{40}{n-5} = 10$$

2.3 Desvio padrão

Como medida de dispersão a variância tem a desvantagem de apresentar a unidade de medida igual ao quadrado da unidade de medida dos dados. A solução é extrair a raiz quadrada positiva da variância e com isso se volta à unidade original da variável. Essa nova medida de variabilidade é denominada de desvio padrão.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad \text{ou} \quad s = \sqrt{s^2}$$

No exemplo 1 o desvio padrão é 3,16

2.3 Covariância

A variância e o desvio padrão são puramente medidas de uma dimensão. Entretanto alguns dados têm mais de uma dimensão e o objetivo da análise desses conjuntos de dados é ver se há alguma relação entre essas dimensões. A Covariância é sempre medida em duas dimensões. Se os seus dados têm 3 dimensões (x, y, z), pode medir a covariância entre x e y , entre x e z e entre y e z .

$$\text{var}(x) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(x_i - \bar{x})}{n-1}$$

$$\text{cov}(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n - 1}$$

EXEMPLO 2:

Horas de estudo (H)	Nota (N)
9	30
15	56
25	93
14	61
10	50
18	75
0	32
16	85
5	42
19	70
16	66
20	80
Soma	167
Média	13,92
	749
	62,42

$$\text{cov}(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n - 1} = \frac{1352,42}{12 - 1} = 122,9470$$

2.4 Matriz de Covariância

Matriz de covariância para duas dimensões:

$$C = \begin{pmatrix} \text{cov}(x, x) & \text{cov}(x, y) \\ \text{cov}(y, x) & \text{cov}(y, y) \end{pmatrix}$$

Matriz de covariância para três dimensões:

$$C = \begin{pmatrix} \text{cov}(x, x) & \text{cov}(x, y) & \text{cov}(x, z) \\ \text{cov}(y, x) & \text{cov}(y, y) & \text{cov}(y, z) \\ \text{cov}(z, x) & \text{cov}(z, y) & \text{cov}(z, z) \end{pmatrix}$$

No EXEMPLO 2 a matriz de covariância é:

$$C = \begin{pmatrix} 47,72 & 122,95 \\ 122,95 & 370,08 \end{pmatrix}$$

O sinal da covariância é importante. Se o sinal é positivo indica que as duas dimensões aumentam juntas, se o valor é negativo indica que quando uma dimensão aumenta a outra diminui. Se o valor é zero indica que as duas dimensões são independentes uma da outra.

2.5. Matriz algébrica

2.5.1 Autovalores e autovetores

Se A é uma matriz quadrada $n \times n$ então λ é chamado de autovalor de A , se existe um vetor não nulo \mathbf{x} tal que:

$$A\mathbf{x} = \lambda\mathbf{x}$$

O autovalor é um λ que multiplicado por um vetor \mathbf{x} é igual a uma matriz vezes um vetor \mathbf{x} . O autovalor pode ser chamado também de valor característico ou valor próprio. Os vetores não nulos que satisfazem a equação são chamados de autovetores de A e estão associados a λ , então \mathbf{x} é o autovetor associado a este escalar λ . Uma das propriedades dos autovetores é que eles são perpendiculares (ortogonais). Essa propriedade é importante porque torna possível expressar os dados em termos dos autovetores, em vez de eixos x e y .

Dada uma matriz $n \times n$, n é o número de autovetores dessa matriz. Todos os autovetores de uma matriz são perpendiculares (ortogonais) entre si. Os autovetores e os autovalores devem ser analisados sempre em pares.

EXEMPLO 3: Considerando uma multiplicação de uma matriz (2D) por um vetor. O autovalor é um escalar.

$$\begin{pmatrix} 2 & 3 \\ 2 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 3 \\ 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 12 \\ 8 \end{pmatrix} = 4 \times \begin{pmatrix} 3 \\ 2 \end{pmatrix}$$

Então: 4 é o autovalor e $\begin{pmatrix} 3 \\ 2 \end{pmatrix}$ é o autovetor da matriz $\begin{pmatrix} 2 & 3 \\ 2 & 1 \end{pmatrix}$

3. Método da Análise por componentes principais

1º Passo: Obter os dados

EXEMPLO 4:

x	y
2.5	2.4
0.5	0.7
2.2	2.9
1.9	2.2
3.1	3.0
2.3	2.7
2.0	1.6
1	1.1
1.5	1.6
1.1	0.9

2º Passo: Subtrair a média em cada dimensão

$\bar{x} = 1,81$ e $\bar{y} = 1,91$

X	Y
0,69	0,49
-1,31	-1,21
0,39	0,99
0,09	0,29
1,29	1,09
0,49	0,79
0,19	-0,31
-0,81	-0,81
-0,31	-0,31
-0,71	-1,01

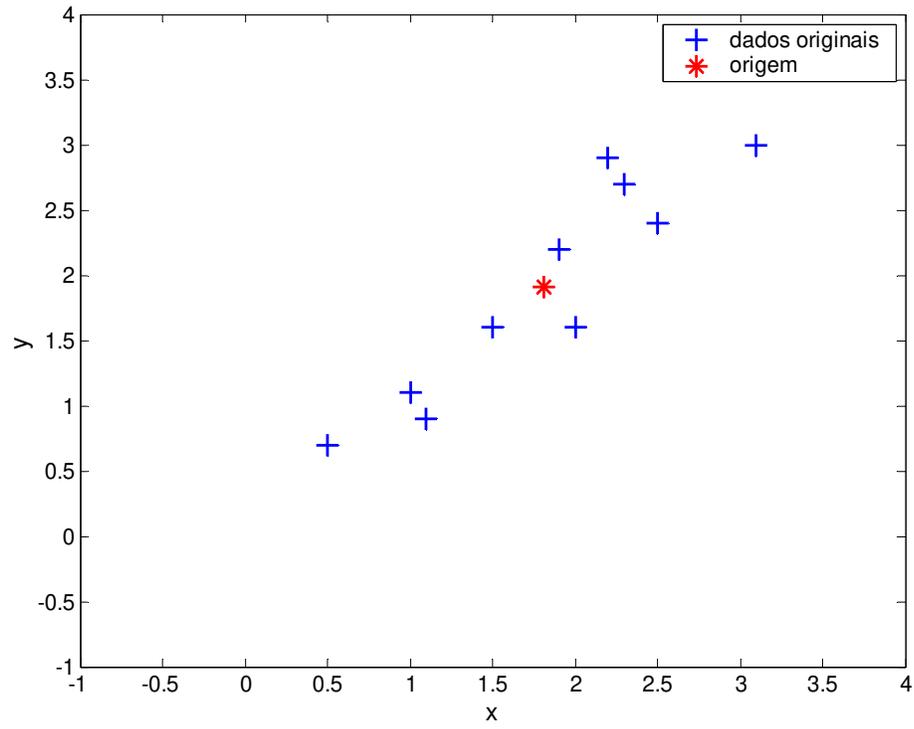


Figura 1 – Dados originais

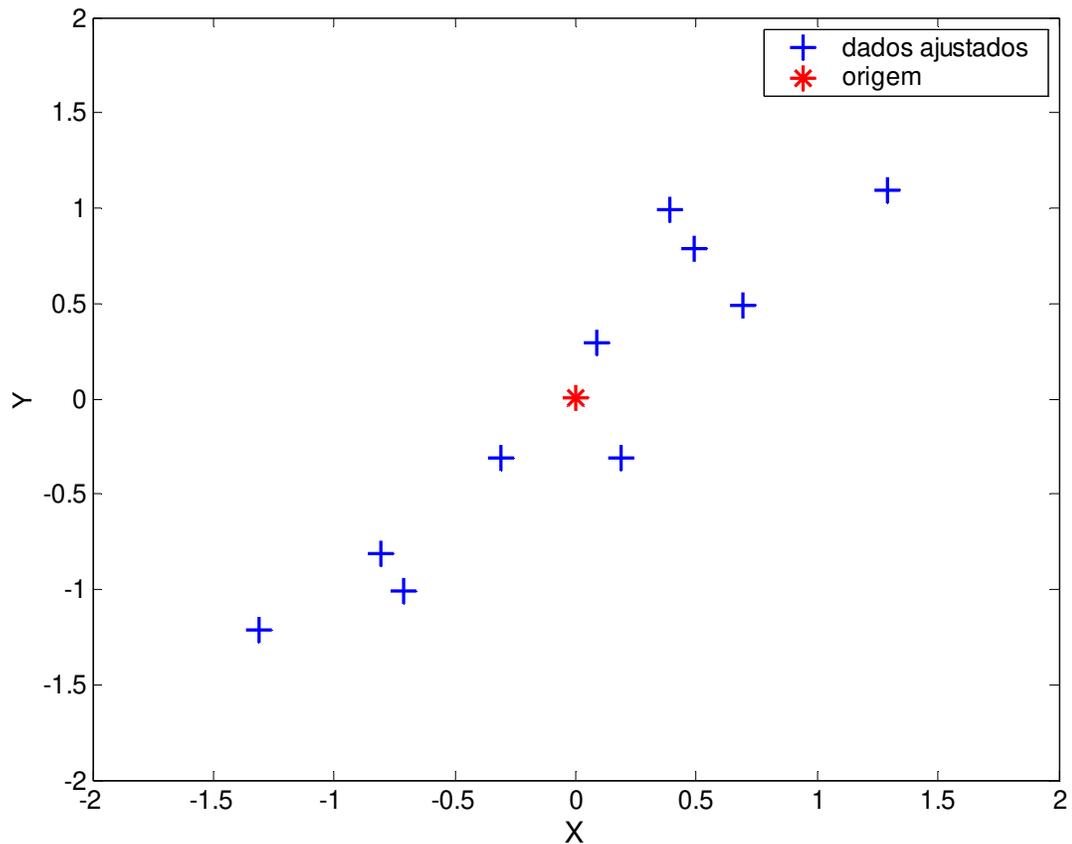


Figura 2 – Dados ajustados

3º Passo: Calcular a matriz de covariância

A matriz de covariância foi calculada para os dados originais:

$$\text{cov} = \begin{pmatrix} 0,6166 & 0,6154 \\ 0,6154 & 0,7166 \end{pmatrix}$$

Valor da covariância positivo (0,6154) significa que os dados aumentam em x e em y .

4º Passo: Calcular os autovetores e os autovalores da matriz de covariância

O autovetor com o maior autovalor associado corresponde a componente principal do conjunto de dados usado. Isso significa que essa é o relacionamento mais significativo entre as dimensões dos dados.

$$\text{autovalor} = \begin{pmatrix} 1,2840 \\ 0,0491 \end{pmatrix}$$

$$\text{autovetor} = \begin{pmatrix} -0,6779 & 0,7352 \\ -0,7352 & -0,6779 \end{pmatrix}$$

É importante lembrar que os autovetores tem norma = 1.

5° Passo: Selecionando os componentes e formando o vetor principal.

Os autovetores são obtidos da matriz de covariância e nessa etapa os autovalores devem ser organizados do maior para o menor valor (os autovetores acompanham essa ordem). Após calcular n autovetores e autovalores, é selecionado o autovetor p correspondente ao maior autovalor (que na ordem seria o primeiro autovetor) e no final, os dados passam a ter tem p dimensões.

Representação dos autovetores (PC1 e PC2) dos dados do exemplo 4.

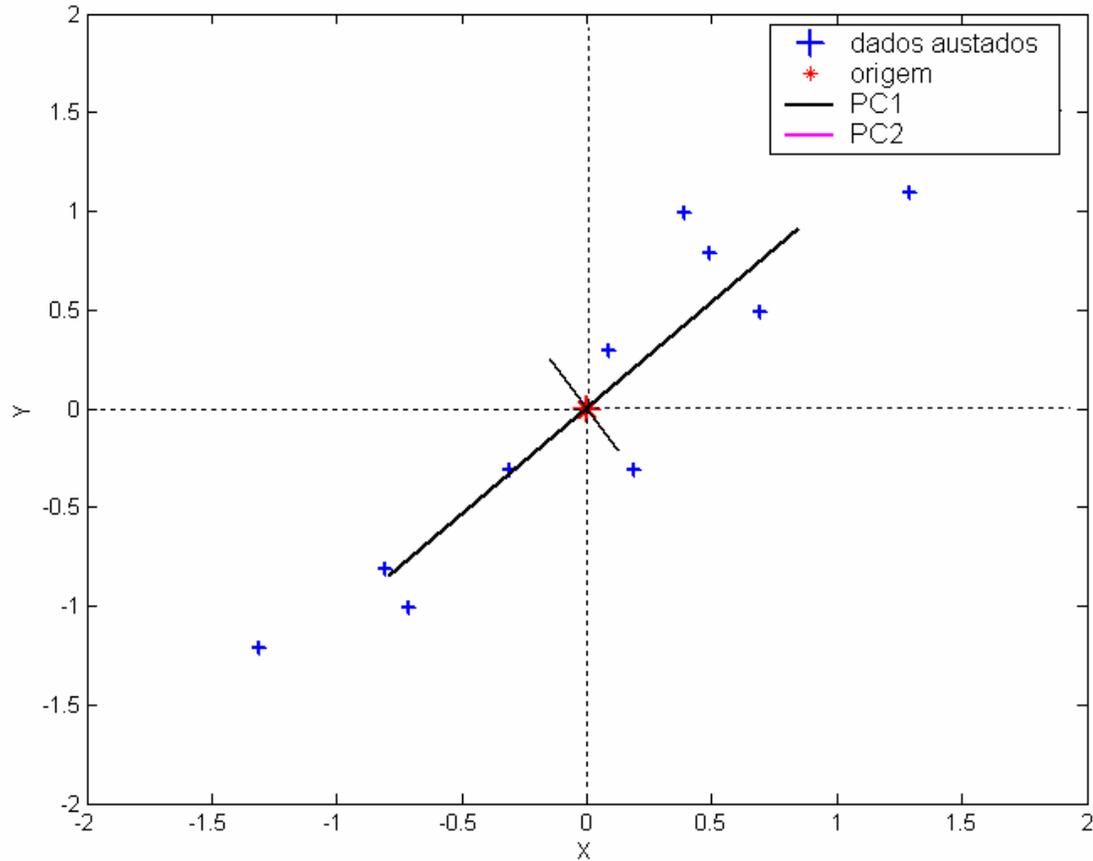


Figura 3 – Plot dos dados ajustados (subtraídos da média) com os autovetores da matriz de covariância.

5º Passo – Cálculo do percentual da variabilidade explicada por cada componente.

$$P = 100 \times \frac{\lambda(PC_i)}{\lambda(PC_i) + \dots + \lambda(PC_k)}$$

k= número de autovalores

O percentual da variabilidade explicada pelas componentes dos dados do exemplo 4:

$$\text{autovalor} = \begin{pmatrix} 1,2840 \\ 0,0491 \end{pmatrix}$$

$$\lambda_1 = 1,2840 \quad \text{e} \quad \lambda_2 = 0,0491$$

$$P_1 = 100 \times \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2} = 100 \times \frac{1,2840}{1,2840 + 0,0491} = 96,31\%$$

$$P_2 = 100 \times \frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} = 100 \times \frac{0,0491}{1,2840 + 0,0491} = 3,68\%$$

Referências:

SMITH, L.I. A tutorial on Principal Components Analysis. February 2002.

URL. http://www.cs.otago.ac.nz/cosc453/student_tutorials/principal_components.pdf.

BRAIDO, P.; ZANG, X. Quantitative analysis of finger motion coordination in hand manipulative and gestic acts. *Human Movement Science*, v.22, p. 661-678, 2004.

BUERDEN, R. L.; FAIRES, J. D. *Análise Numérica*. Ed. Thompson, 2003, 753p.

Apêndice B – Valores médios e desvios padrões das distâncias entre os marcadores do metacarpo e falange proximal do 2º ao 5º dedos, comparando os métodos estático e dinâmico para apenas um voluntário.

Tabela 21 - Valores médios e desvio padrão (mm) comparando os métodos estático e dinâmico para apenas um voluntário

	Metacarpo		Falange proximal	
	Estático	Dinâmico	Estático	Dinâmico
Dedo 2	39,7 ($\pm 0,1$)	35,7 ($\pm 1,7$)	21,2 ($\pm 0,1$)	26,7 ($\pm 0,6$)
Dedo 3	3,2 ($\pm 0,1$)	36,0 ($\pm 0,4$)	23,9 ($\pm 0,1$)	29,7 ($\pm 0,6$)
Dedo 4	39,7 ($\pm 0,1$)	38,2 ($\pm 0,4$)	24,6 ($\pm 0,1$)	28,6 ($\pm 0,7$)
Dedo 5	3,4 ($\pm 0,1$)	33,6 ($\pm 0,3$)	18,2 ($\pm 0,1$)	21,5 ($\pm 0,6$)

Apêndice C – Amplitudes máximas (Ranges máximos)

Os valores dos *ranges* para o 2º dedo estão apresentados na Tabela 23, para o 3º dedo na Tabela 24, para o 4º dedo na Tabela 25 e para o 5º dedo na Tabela 26.

Tabela 22 – Valores médios e desvios dos *ranges* máximos da articulação metacarpofalangeana do 2º dedo durante as tarefas 1, 2, 3 e 4

Grupos		T1	T 2	T 3	T 4
Controle	Homens	26,66° (±5,00)	23,43° (±9,36)	20,53° (±5,18)	16,97° (±7,90)
	Mulheres	31,55° (±7,39)	31,24° (±9,58)	16,59° (±5,61)	24,73° (±9,23)
Pianistas	Homens	27,83° (±6,69)	26,78° (±5,28)	22,82° (±6,38)	19,99° (±5,83)
	Mulheres	35,46° (±6,38)	34,37° (±9,69)	27,42° (±4,29)	22,66° (±8,40)

T1=Preensão grossa e velocidade rápida, T 2 = Preensão grossa e velocidade lenta, T 3= Preensão em gancho e velocidade rápida, T 4 - Preensão em gancho e velocidade lenta.

Tabela 23 – Valores médios e desvios padrões dos *ranges* máximos da articulação metacarpofalangeana do 3º dedo durante as tarefas 1, 2, 3 e 4

Grupos		T 1	T 2	T 3	T 4
Controle	Homens	28,79° (±4,90)	27,24° (±7,75)	23,04° (±4,68)	19,88° (±8,45)
	Mulheres	35,37° (±8,31)	34,27° (±8,87)	19,80° (±5,62)	23,80° (±8,78)
Pianistas	Homens	29,62° (±4,95)	28,63° (±4,99)	26,77° (±6,42)	22,60° (±6,97)
	Mulheres	37,09° (±3,90)	35,63° (±8,48)	32,42° (±6,65)	24,94° (±7,46)

T1 - Preensão grossa e velocidade rápida, Tarefa 2 - Preensão grossa e velocidade lenta, Tarefa 3 - Preensão em gancho e velocidade rápida, Tarefa 4 - Preensão em gancho e velocidade lenta.

Tabela 24- Valores médios e desvios padrões dos *ranges* máximos da articulação metacarpofalangeana do 4º dedo durante as tarefas 1, 2, 3 e 4

Grupos		T 1	T 2	T3	T 4
Controle	Homens	32,38° (±5,58)	30,24° (±7,54)	18,80° (±5,77)	16,64° (±6,89)
	Mulheres	39,39° (±8,46)	38,16° (±9,82)	17,01° (±5,49)	22,74° (±13,61)
Pianistas	Homens	33,09° (±6,50)	28,83° (±5,04)	27,29° (±9,46)	23,12° (±9,97)
	Mulheres	38,95 (±4,80)	34,81° (±5,64)	33,27° (±9,78)	20,53° (±7,77)

T1 - Preensão grossa e velocidade rápida, Tarefa 2 - Preensão grossa e velocidade lenta, Tarefa 3 - Preensão em gancho e velocidade rápida, Tarefa 4 - Preensão em gancho e velocidade lenta.

Tabela 25 - Valores médios e desvios padrões da amplitude angular máxima da articulação metacarpofalangeana do 5º dedo durante as tarefas 1, 2, 3 e 4

Grupos		T 1	T 2	T3	T 4
Controle	Homens	36,73° (±7,62)	33,76° (±10,16)	19,08° (±8,53)	21,16° (±13,05)
	Mulheres	44,53° (±3,88)	42,67° (±9,00)	18,10° (±9,44)	21,88° (±4,16)
Pianistas	Homens	40,60° (±9,94)	32,21° (±4,50)	24,15° (±8,86)	19,11° (±12,07)
	Mulheres	45,58° (±9,57)	40,18° (±5,34)	35,06° (±11,13)	28,68° (±8,60)

T1 - Preensão grossa e velocidade rápida, Tarefa 2 - Preensão grossa e velocidade lenta, Tarefa 3 - Preensão em gancho e velocidade rápida, Tarefa 4 - Preensão em gancho e velocidade lenta.

Apêndice D - Diagramas de fase do 3º, 4º e 5º dedos

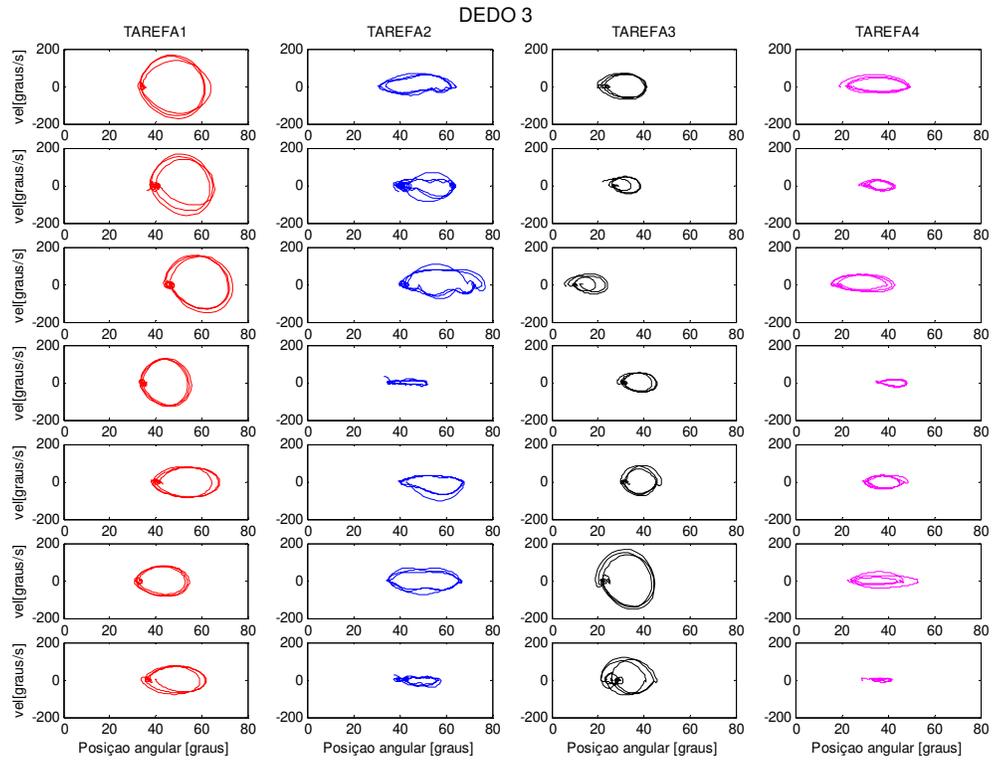


Figura 61 - Diagrama de fase para os homens do grupo controle – Dedo 3

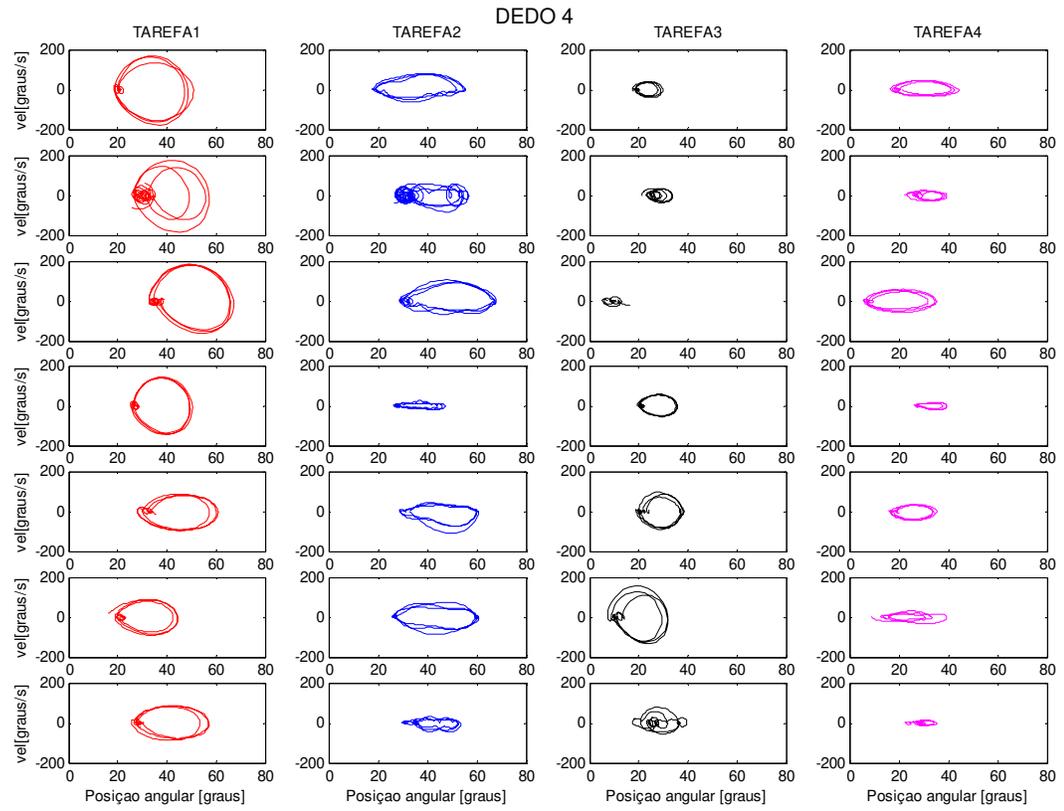


Figura 62 - Diagrama de fase para os homens do grupo controle – 4º dedo

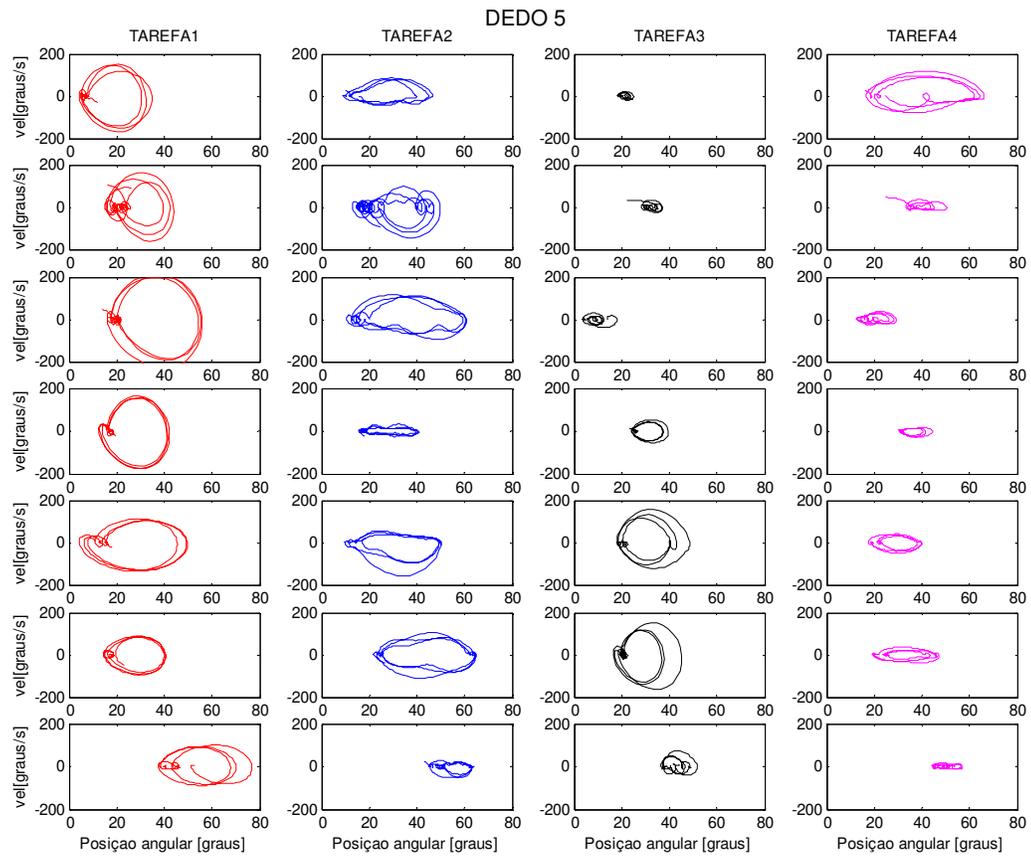


Figura 63 - Diagrama de fase para os homens do grupo controle – 5º dedo

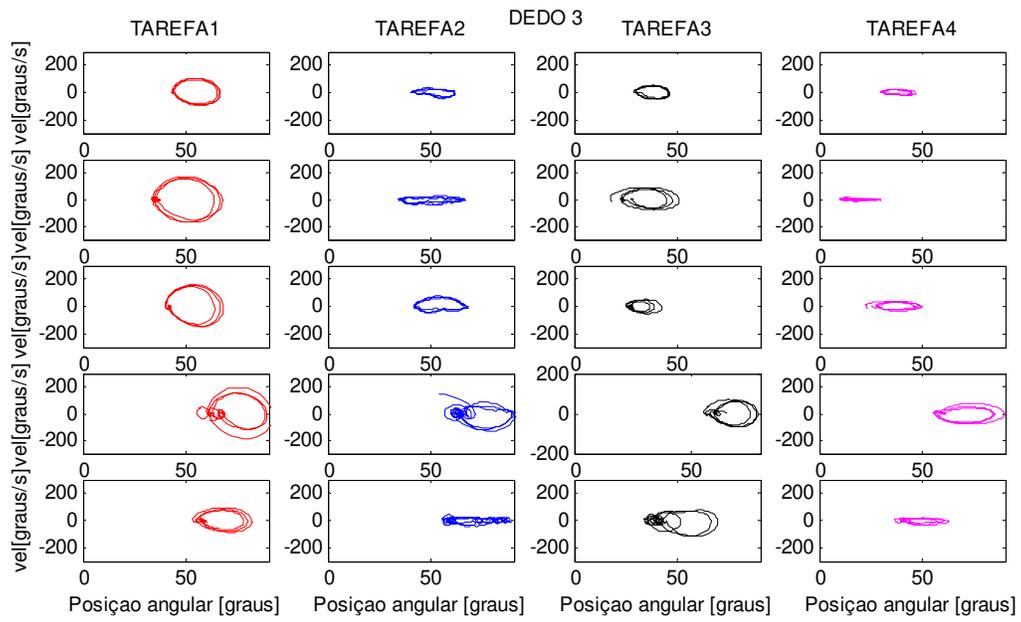


Figura 64 - Diagrama de fase para os homens do grupo pianista – 3º dedo

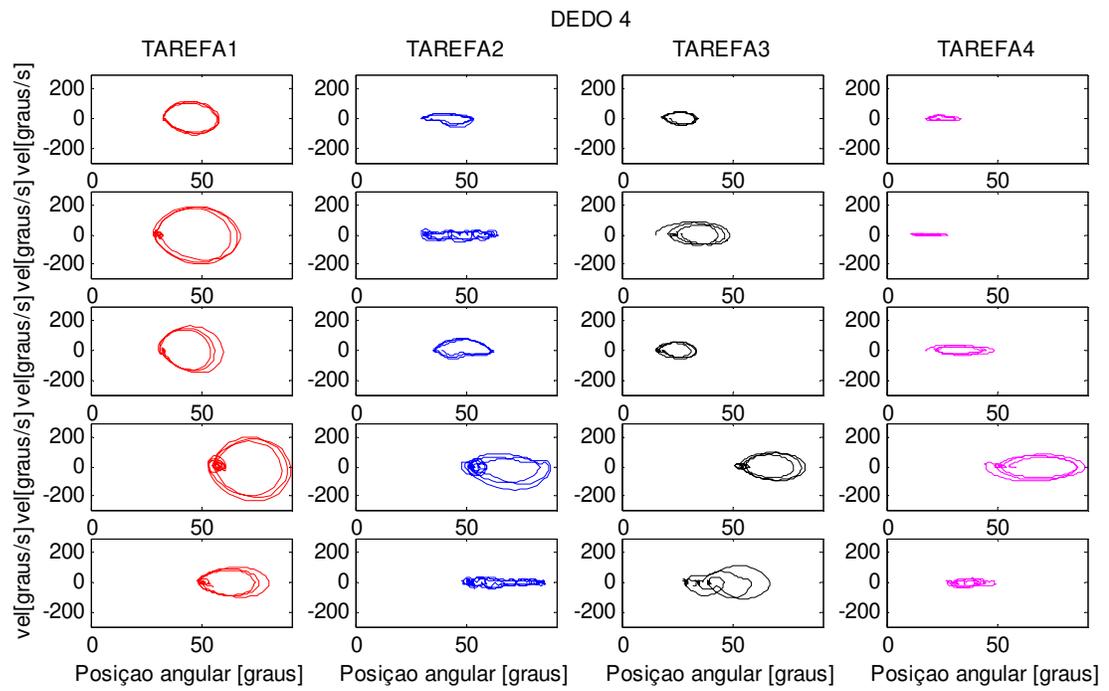


Figura 65 - Diagrama de fase para os homens do grupo pianista – Dedo 4

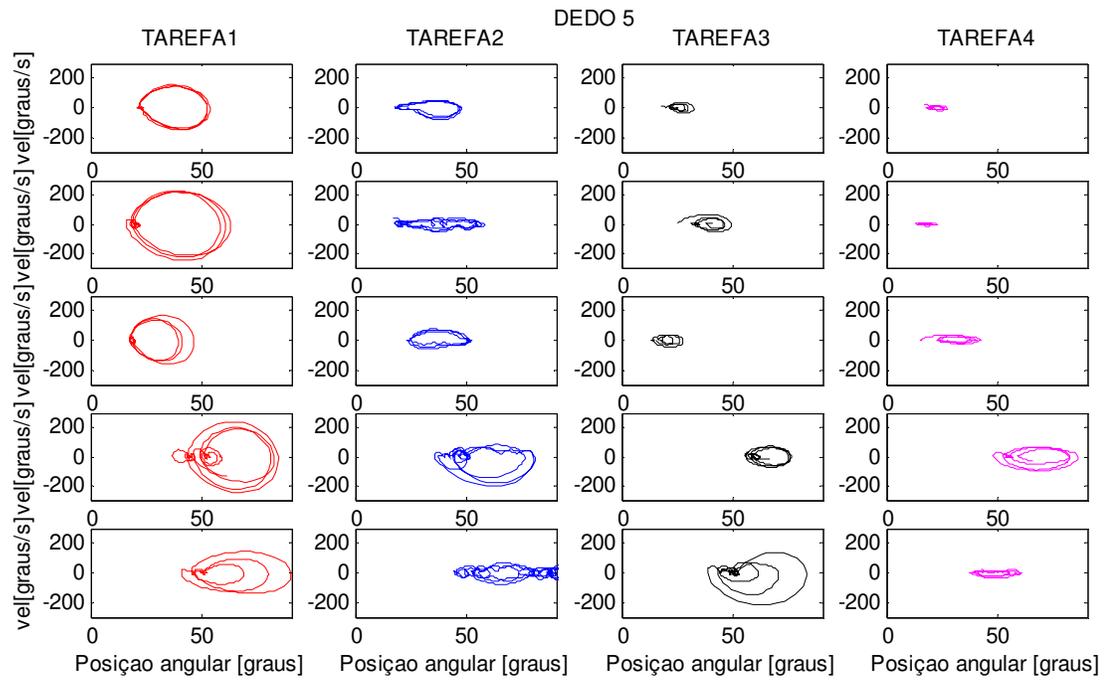


Figura 66 - Diagrama de fase para os homens do grupo pianista – Dedo 5

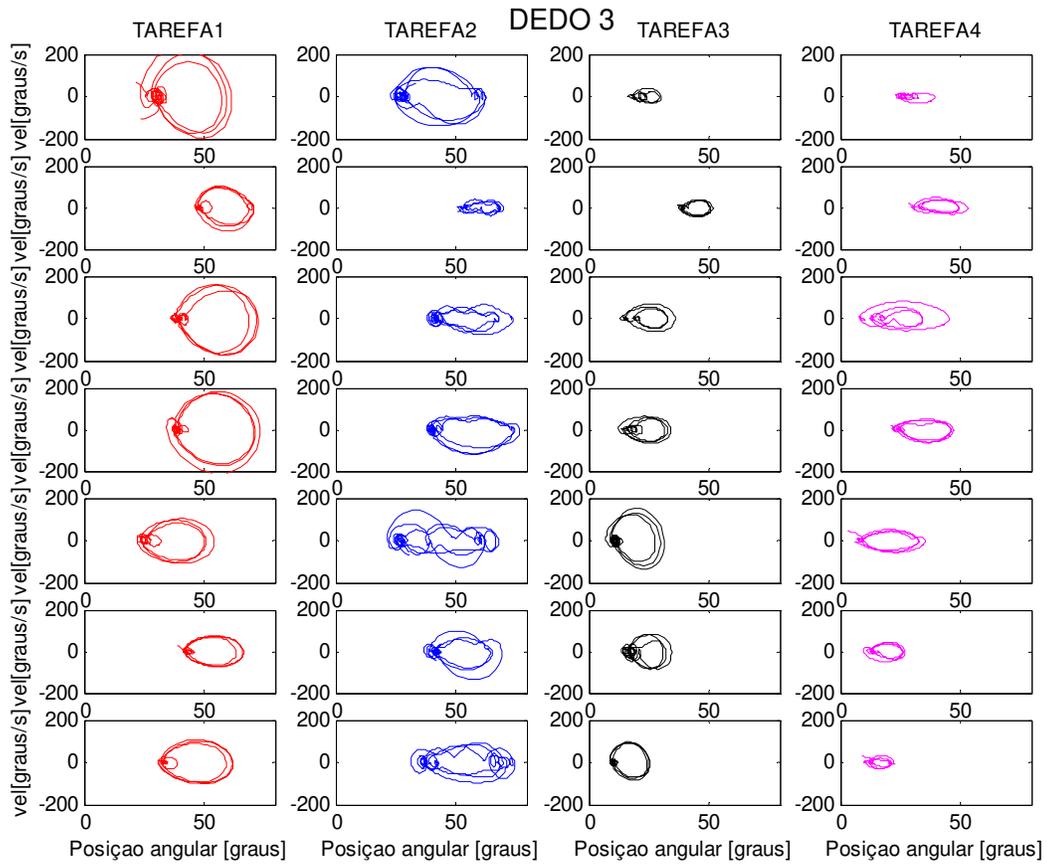


Figura 67 - Diagrama de fase para as mulheres do grupo controle – 3º dedo

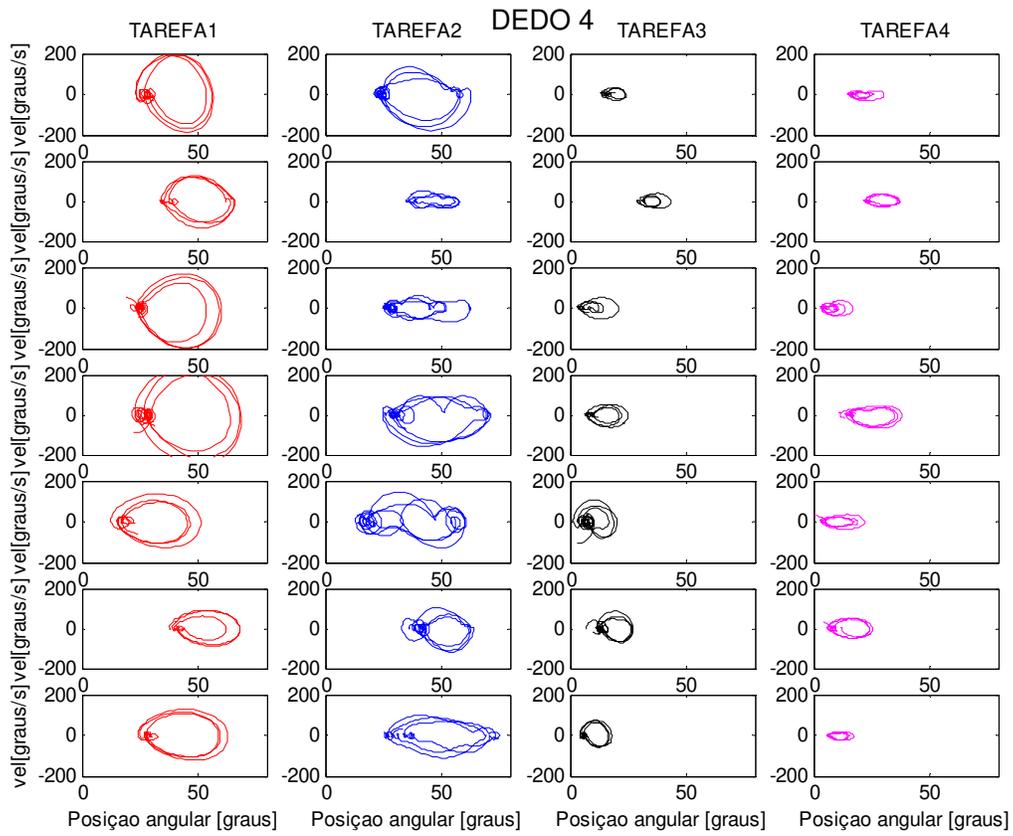


Figura 68 - Diagrama de fase paramulheres do grupo controle – Dedo 4

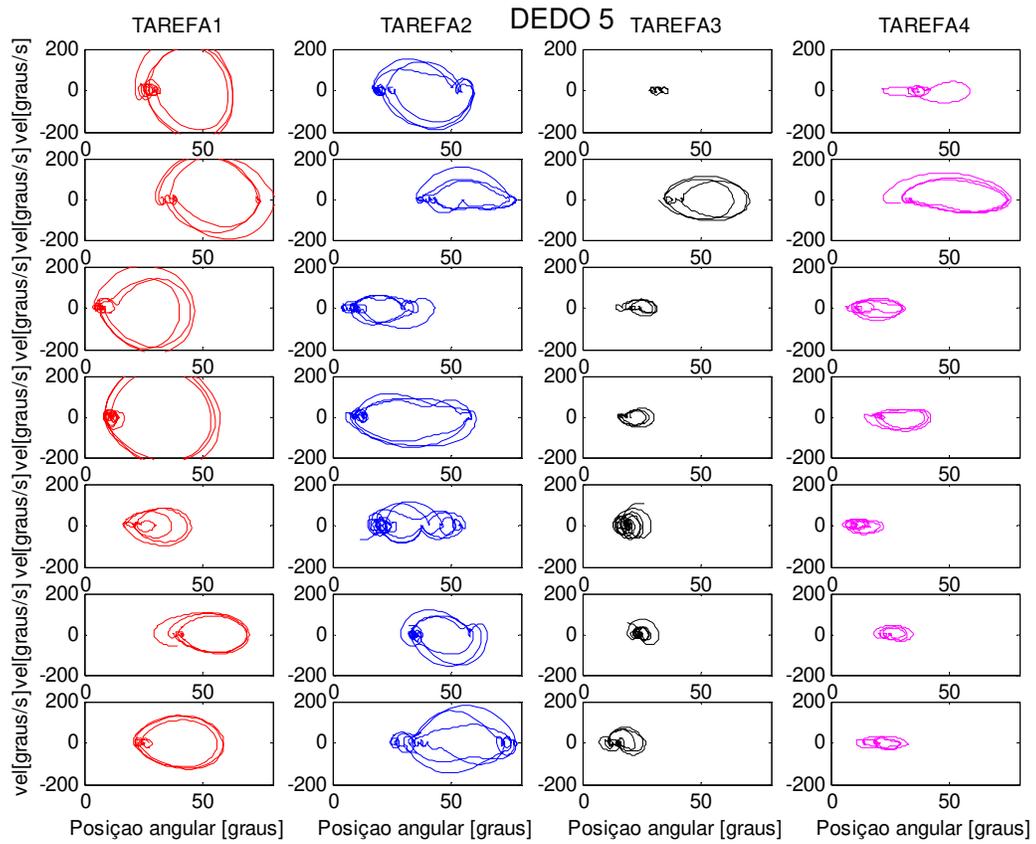


Figura 69 - Diagrama de fase para as mulheres do grupo controle – Dedo 5

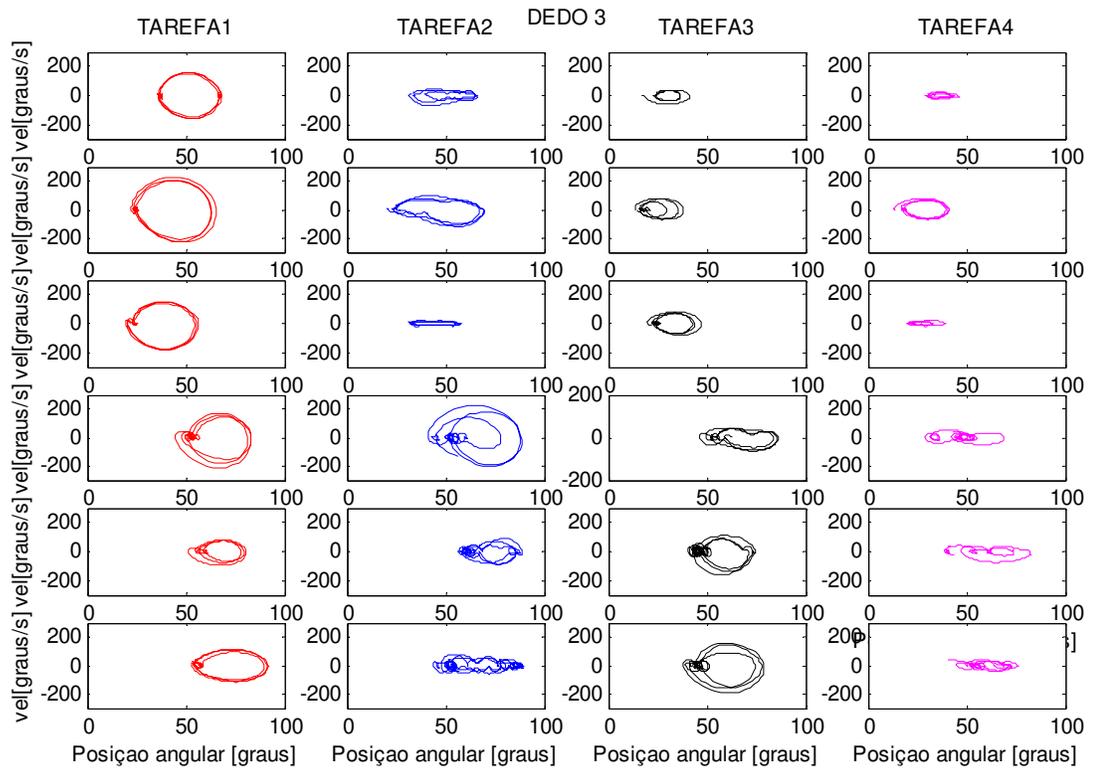


Figura 70 - Diagrama de fase para as mulheres do grupo pianista – 3º dedo

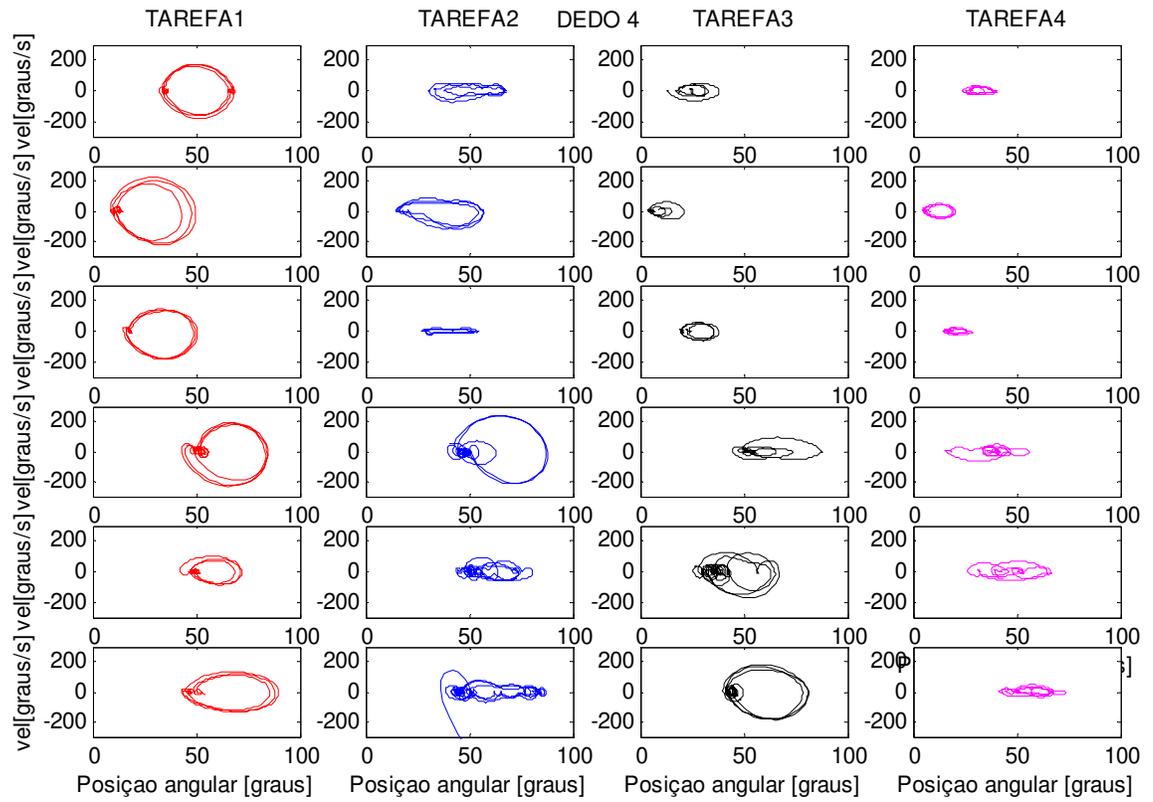


Figura 71 Diagrama de fase para as mulheres do grupo pianista – Dedo 4

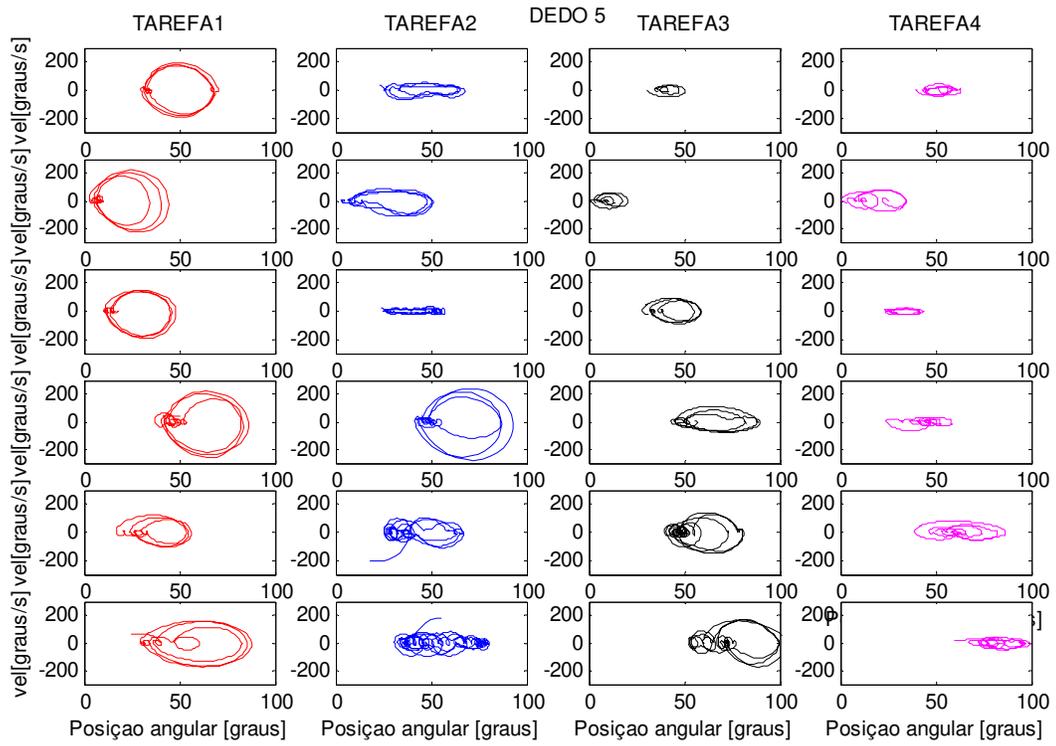


Figura 72 - Diagrama de fase para as mulheres do grupo pianista – Dedo 5

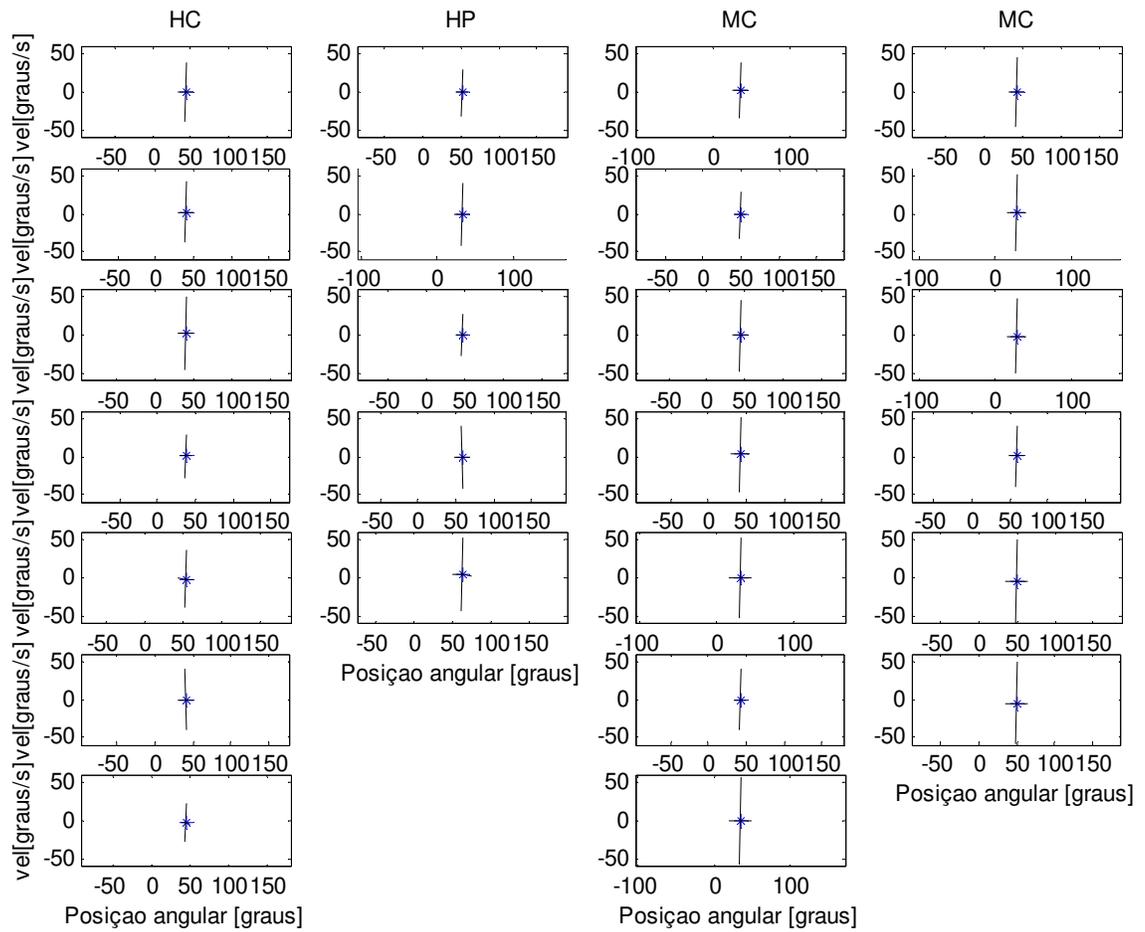


Figura 73 Componentes principais dos diagramas de fase para o 2º dedo de todos os voluntários durante a realização da tarefa 1