



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102019015290-7 A2



(22) Data do Depósito: 24/07/2019

(43) Data da Publicação Nacional: 02/02/2021

(54) **Título:** MÉTODO PARA MONITORAR E ANALISAR MOVIMENTOS DE ARTICULAÇÕES E DE PARTES DO CORPO

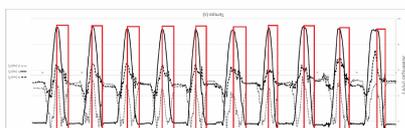
(51) **Int. Cl.:** A61B 5/00; A61B 5/103.

(52) **CPC:** A61B 5/0002; A61B 5/1036; A61B 5/7267; A61B 2562/0219.

(71) **Depositante(es):** UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP; UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - UNIOESTE.

(72) **Inventor(es):** WU FENG CHUNG; CLÁUDIO SADDY RODRIGUES COY; HUEI DIANA LEE; NARCO AFONSO RAVAZZOLI MACIEJEWSKI; LEANDRO AUGUSTO ENSINA; WEBER SHOITY RESENDE TAKAKI; GUSTAVO VICENZI; ROGÉRIO ANDRADE FLAUZINO; JOÃO JOSÉ FAGUNDES; MARIA DE LOURDES SETSUKO AYRIZONO; NEWTON SPOLAÔR.

(57) **Resumo:** MÉTODO PARA MONITORAR E ANALISAR MOVIMENTOS DE ARTICULAÇÕES E DE PARTES DO CORPO. A presente tecnologia se refere à um método para determinar e analisar de padrões representativos de movimentos de articulações e de partes do corpo de um indivíduo, que compreende as etapas de coleta de informações (101), definição de pelo menos uma equação representativa do movimento (102) a ser monitorado, posicionamento de aparatos de mensuração (103) de aceleração, teste (104), coleta de dados (105) para o movimento realizado, representação gráfica (106) do movimento a ser analisado, demarcação dos ciclos de movimento (107), processamento de dados (108) de aceleração, obtidos na etapa de coleta de dados (105), para cada ciclo de movimento demarcado na etapa de demarcação dos ciclos de movimento (107), determinação dos coeficientes de determinação (R^2) (109), comparação, por análise estatística, do coeficiente de determinação (R^2) (110) entre as curvas ajustadas pertencentes a todos os ciclos de movimento demarcados, e determinação curvas resultantes (111), relativas ao movimento monitorado em cada um dos eixos geométricos, em que essas curvas resultantes podem ser exibidas individualmente ou em grupo. A aplicação desse método permitiria identificar novos paradigmas biomecânicos referentes aos movimentos dessas partes do corpo humano (saudáveis e/ou com alterações morfofuncionais).



**MÉTODO PARA MONITORAR E ANALISAR MOVIMENTOS DE ARTICULAÇÕES
E DE PARTES DO CORPO**

Campo da invenção

[0001] A presente invenção se insere nas áreas das ciências da saúde, tais como ortopedia, fisioterapia, reabilitação, controle da regularidade da execução de atividades esportivas, medicina preventiva, acompanhamento e controle de atividades de entretenimento e lazer, bem como diagnóstico de lesões e de doenças que provocam distúrbios de movimento, como os tremores.

Fundamentos da Invenção

[0002] A fim de verificar e constatar a normalidade dos movimentos de articulações e de partes do corpo, ou a detecção de anomalias funcionais, especialistas normalmente fazem exames físicos manuais com auxílio de dispositivos, tais como o goniômetro ou eletrogoniômetro, que são capazes de medir o ângulo de amplitude do movimento de determinada articulação, membro, ou região do corpo humano em um único plano anatômico.

[0003] Assim, os referidos especialistas conseguem realizar o diagnóstico, definir o prognóstico e, ainda, identificar o desempenho de determinada manobra de reabilitação, bem como identificar a evolução de tratamentos farmacológicos e/ou cirúrgicos por meio da captação dos ângulos dos movimentos biomecânicos realizados pelos membros ou região examinada.

[0004] Entretanto, deve-se destacar que as articulações e os membros do corpo são capazes de executar movimentos normais em mais de um plano anatômico, por exemplo movimentos circulares, cônicos e espirais. Para tais movimentos, um

conjunto de músculos e estruturas osteoarticulares é solicitado, uma vez que cada movimento é resultado da interação biomecânica entre diversos componentes anatômicos, trabalhados simultaneamente de modo sinérgico, com ações agonistas e antagonistas.

[0005] Nesse sentido, a avaliação de um movimento, realizado pelo indivíduo/paciente, e mensurado por meio de dispositivos (goniômetro ou eletrogoniômetro), é deficitária pois tais instrumentos de aferição não são aptos a determinar inclinações em todos os planos ortogonais das regiões anatômicas envolvidas em um movimento.

[0006] Também se observa que indivíduos com lesões ou alterações morfofuncionais do sistema osteoarticular podem apresentar a amplitude dos movimentos dentro da normalidade, porém com velocidades e acelerações alteradas quando comparados com os de indivíduos saudáveis. Assim, os deslocamentos de partes do corpo devem ser aferidos de modo dinâmico, análise não alcançada com o uso dos instrumentos tradicionais citados anteriormente.

[0007] Ademais, existem outras variáveis dinâmicas associadas ao movimento que não são medidas com os dispositivos de uso habitual, entre elas o comportamento de ciclos de movimentos repetitivos, tremores, entre outros atributos essenciais durante o processo semiológico.

[0008] Pelo exposto, entende-se ser necessário um método para a determinação das curvas e dos parâmetros de cada movimento das articulações e das regiões corporais, que permita a plena compreensão do movimento e auxilie em processos de diagnóstico, de terapêutica, de reconhecimento da integridade ou não dos elementos anatômicos pertencentes

ao sistema osteoarticular, além de apoiar a evolução e o prognóstico de recuperação fisioterápica, bem como fornecer dados para a aprendizagem de discentes das diversas áreas da saúde quanto às manobras semiológicas e propedêuticas.

[0009] Além disso, seria altamente apreciado que as curvas e os parâmetros previamente determinados pudessem ser normalizados em relação ao comprimento do(s) membro(s) envolvidos no movimento estudado, permitindo a comparação de movimento entre indivíduos distintos com diferentes medidas anatômicas.

Estado da Técnica

[00010] Sob esse escopo existem, por exemplo, algumas tecnologias que utilizam sensores inerciais para as aferições de ângulos em movimentos de caráter biomecânico. No entanto, as medidas são realizadas para o valor resultante dos deslocamentos nos três planos ortogonais de coordenadas, e não para os valores instantâneos.

[00011] Observou-se também outros trabalhos com a finalidade de análise de movimentos realizados no cotidiano de um indivíduo, tais como sentar, deitar, levantar, caminhar e correr, e classificá-los do ponto de vista biomecânico.

[00012] Entretanto, esses trabalhos, além de excluírem particularidades da resposta mecânica dos movimentos em cada plano delineado no decorrer do tempo, não são capazes de detectar e de realizar análises de padrões dos movimentos e nem de identificar esses parâmetros entre indivíduos hígidos ou lesionados.

[00013] Por exemplo, o documento "*Patient monitoring system*" (Patente US 6,210,301), descreve um sistema para monitoramento de movimentos do corpo de um paciente

ortopédico. Para isso, o referido sistema apresenta sensores de movimentos que medem forças de compressão e de cisalhamento e/ou aceleração, as medições são armazenadas em uma memória e comparadas, por meio de um comparador, com medições consideradas padrão por especialistas para avaliação do tratamento.

[00014] Entretanto, o referido documento cita a medição das forças de compressão e de cisalhamento e/ou de aceleração, sendo que o processo de obtenção destas três grandezas físicas em nenhum momento é especificado. Esta discriminação é essencial para a compreensão de qualquer processo a ser analisado. Vale ressaltar que as forças de compressão e de cisalhamento são grandezas unidimensionais e estas características representam o movimento do corpo unidimensionalmente, ocasionando perdas de informações relevantes a respeito dos movimentos do corpo humano, que são tridimensionais. Em relação a citação da grandeza aceleração, o referido documento revela o uso de sensores de aceleração ("*acceleration sensors*") sem indicar o processo de aplicação dessas medidas, as suas características físicas e nem a dimensionalidade da medida, ou seja, unidimensional, bidimensional ou tridimensional. Além disso, não existe no documento a especificação das regiões de posicionamento dos sensores. Essa condição afeta diretamente nos dados coletados, assim como na precisão e na acurácia do método.

[00015] Em relação aos sinais coletados pela aplicação desse documento, não há, em nenhum momento, a especificação de qual o tipo de sinal de entrada e nem os parâmetros utilizados para o processo de comparação. Esse aspecto é fundamental para a análise de sinais, pois a não

especificação compromete negativamente a representação do fenômeno físico do movimento avaliado, e, conseqüentemente, na precisão e na acurácia do método.

[00016] Adicionalmente, no referido documento é descrito que o movimento é testado com um sinal de referência proveniente de movimento e/ou especificação de especialista. No entanto, conforme descrito acima, o tipo de sinal e os parâmetros utilizados para a comparação, em nenhum momento, foram discriminados. Esse aspecto, novamente, repercute negativamente na precisão e acurácia do método, pois estas medidas estão diretamente relacionadas com a modalidade de análise realizadas dos sinais. Exemplificando o cenário acima, sinais podem ser adquiridos com diferentes variáveis, tempo e/ou distância. Dependendo qual variável estiver sob análise, obtém-se parâmetros físicos totalmente distintos.

[00017] No documento "*Apparatus, systems, and methods for gathering and processing biometric and biomechanical data*" (Patente US 7,602,301), são descritos um dispositivo, um sistema e um método de coleta e processamento de dados relacionadas ao posicionamento e movimentação de várias porções do corpo humano durante uma atividade esportiva, a fim de avaliar a performance de um indivíduo. A referida invenção tem como objetivo evitar uma lesão e/ou melhorar a performance do indivíduo durante uma atividade física.

[00018] Entretanto, nesse documento são analisados apenas os parâmetros distância e alinhamento entre sensores. Estas características descrevem o movimento de modo parcial quando aplicadas para movimentos de articulações e/ou partes do corpo, que tem representação tridimensional. Sob esse sentido, a representação unidimensional de movimentos

tridimensionais acarreta em perdas de informações relevantes, repercutindo negativamente na precisão e acurácia do método. Ainda, esse documento não especifica um protocolo de posicionamento dos sensores em lugares específicos além do exemplo apresentado da atividade golfe. Esse aspecto é vital no âmbito de análise de movimentos do corpo, pois repercute tanto na modalidade de seleção de análise de dados quanto nos parâmetros avaliados.

[00019] Ainda, a matéria descrita nesse documento é capaz apenas de determinar os parâmetros representativos da performance de um indivíduo. Sob esse escopo, a análise comparativa somente poderá ser confrontada com os dados adquiridos do próprio indivíduo, não permitindo a análise comparativa dos movimentos entre diferentes indivíduos, reduzindo a aplicabilidade do método. Além disso, esse método é limitado na extração de parâmetros pertinentes dentro de movimentos de articulações e/ou de partes do corpo, ou seja, movimentos tridimensionais, como ângulo x tempo e amplitude de ângulo, aceleração linear e angular, velocidade normal e tangencial, deslocamento, inclinações e amplitudes de aceleração, área, comprimento, força, entre outros, e esse aspecto limita a capacidade de análise de movimentos mais complexos do corpo.

[00020] Apesar do método comparar os movimentos somente do próprio indivíduo, é necessário se atentar às medidas antropomórficas, pois indivíduos diferentes, com medidas antropomórficas diferentes, apresentam parâmetros físicos distintos que repercutem em diferentes valores de tempo de realização do movimento, influenciando na precisão e acurácia do método. Exemplificando, para diagnóstico e

prevenção de doenças, é vital considerar os parâmetros antropomórficos, pois o mesmo indivíduo pode apresentar modificações biométricas com variação de atributos conforme a idade, o peso e a morfologia corporal, entre outros dados vitais.

[00021] Ademais, em nenhum momento o método do referido documento descreve os dados adquiridos pelos sensores e nem realiza tratamentos desses dados para fins de predição do movimento, acompanhamento da evolução do indivíduo e o nível de similaridade com o movimento ideal. Essa condição, novamente, limita a precisão e a acurácia do método.

Breve Descrição da Invenção

[00022] A presente invenção refere-se a um método para determinação e análise de padrões representativos de movimentos do corpo de indivíduos, o referido método compreendendo as etapas de: coleta de informações, em que informações antropomórficas do referido indivíduo são obtidas; definição de pelo menos uma equação representativa do movimento a ser monitorado; posicionamento de aparatos de mensuração de aceleração em pelo menos um local pré-determinado, em que os aparatos são posicionados de modo a permitir a mensuração em todos os eixos geométricos; teste, em que o referido indivíduo executa pelo menos 10 ciclos do referido movimento a ser analisado; coleta de dados para o movimento realizado que ocorre juntamente com a etapa de teste, e em que os dados são coletados, a partir dos aparatos de mensuração posicionados na etapa, nos três eixos geométricos; representação gráfica do movimento a ser analisado, em que são criados gráficos da aceleração em função do tempo mensurados nas etapas de teste e coleta de

dados; demarcação dos ciclos de movimento, em que essa demarcação ocorre a partir dos gráficos criados na etapa de representação gráfica do movimento a ser analisado; processamento de dados de aceleração, obtidos na etapa de coleta de dados, para cada ciclo de movimento demarcado na etapa de demarcação dos ciclos de movimento; determinação dos coeficientes de determinação (R^2), em que os coeficientes de determinação são obtidos a partir dos dados da etapa de coleta de dados e de processamento de dados; comparação, por análise estatística, do coeficiente de determinação (R^2) entre as curvas ajustadas pertencentes a todos os ciclos de movimento demarcados; determinação das curvas resultantes, relativas ao movimento monitorado em cada um dos eixos geométricos, em que essas curvas resultantes podem ser delineadas e exibidas individualmente ou em grupo.

[00023] Em uma configuração preferencial, o referido método compreende ainda o armazenamento dos dados obtidos em pelo menos uma etapa dentre a etapa de coleta e a etapa de determinação, em que os referidos dados são classificados e associados quanto ao indivíduo e/ou indivíduos monitorados e datas de monitoramento.

[00024] Em uma configuração preferencial, o referido banco de dados é armazenado em um meio físico legível por computador ou um meio de armazenamento em ambiente virtual.

[00025] Em uma configuração preferencial, o referido método compreende ainda o monitoramento de um segundo indivíduo, que compreende todas as etapas desde a etapa de coleta à etapa de determinação, em que o segundo indivíduo é distinto daquele armazenado no referido banco de dados ou é o mesmo indivíduo monitorado em uma data distinta.

[00026] Em uma configuração preferencial, durante monitoramento de um segundo indivíduo, caso o segundo indivíduo seja distinto daquele armazenado no referido banco de dados, ocorre a determinação da relação de proporcionalidade entre os indivíduos a serem comparados a partir das informações antropomórficas coletadas para ambos os indivíduos, para modificar os parâmetros de movimento do segundo indivíduo.

[00027] Em uma configuração preferencial, o referido método compreende ainda a comparação entre as curvas armazenadas e as do segundo indivíduo, em que a referida comparação é realizada por meio de medidas de similaridade entre curvas.

[00028] Em uma configuração preferencial, o movimento a ser analisado é selecionado do grupo que consiste de: flexão, extensão, hiperextensão, flexão dorsal, flexão plantar, adução, abdução, desvio ulnar e radial, elevação, depressão, inversão, eversão, flexão lateral, extensão lateral, rotação medial, rotação lateral, abdução horizontal, adução horizontal, pronação, supinação, circundução clássica e em espiral, marchas, tremores e contrações.

[00029] Em uma configuração preferencial, os aparatos de mensuração são sensores individualizados ou presentes em dispositivos móveis, em que os referidos sensores são preferencialmente sensores inerciais.

[00030] Em uma configuração preferencial, os sensores inerciais são selecionados do grupo que consiste de: acelerômetros, giroscópios ou magnetômetros.

[00031] Em uma configuração preferencial, os dispositivos móveis são selecionados do grupo que consiste de: smartphones, pulseiras "inteligentes", relógios ou qualquer outro equipamento dotado de sensores de deslocamento instantâneo, de aceleração instantânea ou de campo magnético instantâneo.

Breve Descrição das Figuras

[00032] A presente invenção passará a ser descrita a seguir com referência às concretizações típicas da mesma e também com referência aos desenhos apensos.

[00033] A Figura 1 se refere a uma representação esquemática de um movimento realizado por um indivíduo modelo e as demarcações de cada ciclo de movimento, de acordo com uma modalidade preferencial da invenção.

[00034] A Figura 2 se refere a uma representação do processamento de dados de cada ciclo de movimento por meio de um ajuste com um modelo polinomial, de acordo com uma modalidade preferencial da invenção.

[00035] A Figura 3 se refere a uma curva resultante dos ciclos de movimento no eixo X após a análise estatística, de acordo com uma modalidade preferencial da invenção.

[00036] A Figura 4 se refere a uma curva resultante dos ciclos de movimento no eixo Y após a análise estatística, de acordo com uma modalidade preferencial da invenção.

[00037] A Figura 5 se refere a uma curva resultante dos ciclos de movimento no eixo Z após a análise estatística, de acordo com uma modalidade preferencial da invenção.

[00038] A Figura 6 se refere a uma curva resultante dos ciclos de movimento nos três eixos geométricos (X, Y, Z)

após a análise estatística, de acordo com uma modalidade preferencial da invenção.

[00039] A Figura 7 se refere a uma representação esquemática do movimento de circundução por um indivíduo modelo e n indivíduos, de acordo com uma modalidade preferencial da invenção.

[00040] A Figura 8 se refere a um fluxograma do método de análise e mapeamento do movimento de articulações, de acordo com uma modalidade preferencial da invenção.

[00041] A Figura 9 se refere ao fluxograma complementar ao descrito na Figura 8, que demonstra as etapas adicionais para a realização de comparação de movimentos de articulações e de partes do corpo para um ou mais indivíduos.

Descrição Detalhada da Invenção

[00042] A presente invenção se refere um método de determinação de curvas resultantes, representativas de movimentos de articulações ou de partes do corpo. Dessa forma, o referido método permite a identificação de novos paradigmas biomecânicos referentes aos movimentos dessas regiões anatômicas, saudáveis ou com alterações morfofuncionais como tremores essenciais e/ou patológicos. Os tremores essenciais ou patológicos são caracterizados por serem movimentos e/ou deslocamentos involuntários, em geral rítmicos, que envolvem uma ou mais partes do corpo. Assim sendo, são passíveis de mensuração pelo método podendo ser medidos e representados por meio das grandezas físicas de aceleração e velocidade.

[00043] Os movimentos a serem monitoradas são definidos de acordo com os planos anatômicos e são apresentados a seguir. Vale ressaltar que cada junta, de acordo com o

tipo, ou partes do corpo, apresentarão de um ou mais planos de deslocamento durante um movimento:

- Plano sagital: flexão, extensão, hiperextensão, flexão dorsal e flexão plantar;
- Plano frontal: adução, abdução, desvio ulnar e radial, elevação, depressão, inversão, eversão, flexão lateral e extensão lateral;
- Plano transversal: rotação medial, rotação lateral, abdução horizontal, adução horizontal, pronação e supinação;
- Multiplanos: circundução clássica e em espiral.
- Outros movimentos: marchas (normal ou patológico), tremores e contrações (essenciais ou patológicos).

[00044] O método da presente invenção se inicia com uma etapa de coleta de informações 101, onde diversas informações antropomórficas relevantes, do indivíduo modelo que irá realizar o movimento a ser monitorado, são obtidas.

[00045] Onde o indivíduo modelo é caracterizado como sendo o indivíduo, saudável ou com lesões específicas, no qual os comportamentos das estruturas analisadas servirão de referência para a comparação de movimentos de outros indivíduos saudáveis ou com as mesmas lesões específicas.

[00046] As informações relevantes do indivíduo modelo são selecionadas a partir do grupo que consiste de: idade, sexo, estatura, peso, comprimento dos membros superiores (mão, antebraço e braços), comprimento dos membros inferiores (pé, perna, coxa), além do comprimento do crânio, pescoço, tronco, abdômen, lateralidade do indivíduo ou qualquer combinação das mesmas.

[00047] Posteriormente a etapa de coleta 101, ocorre uma etapa de definição 102 de pelo menos uma equação representativa do movimento a ser monitorado.

[00048] Há pelo menos uma equação representativa do movimento a ser monitorado que tem como finalidade permitir a comparação dos movimentos feitos pelo indivíduo modelo consigo mesmo em outras ocasiões ou com outros indivíduos.

[00049] Assim, determina-se que há pelo menos uma equação, representativa de um movimento realizado pelo indivíduo, que é representada, por exemplo, por:

$$\alpha = \frac{L \cdot \delta}{t^2} \quad (\text{Equação 1})$$

onde α corresponde à aceleração instantânea para o movimento do indivíduo modelo; L é corresponde ao comprimento do membro ou da região do corpo do indivíduo modelo envolvido no movimento a ser monitorado; δ corresponde ao ângulo de amplitude realizado durante o movimento pelo indivíduo modelo; e t corresponde ao tempo para realização do movimento pelo indivíduo modelo, em que a *Equação 1* é representativa da aceleração instantânea de um movimento realizado pelo indivíduo compreendendo diversos parâmetros de movimento.

[00050] De posse das informações do indivíduo e da equação representativa do movimento a ser monitorado, é realizada a etapa de posicionamento dos aparatos 103 de mensuração de aceleração em pelo menos um local pré-determinado para detecção das curvas resultantes de cada movimento.

[00051] Os aparatos de mensuração de aceleração utilizados na etapa de posicionamento dos aparatos 103 são usualmente sensores inerciais individualizados ou presentes

em dispositivos móveis, mas não se limitando apenas a sensores inerciais.

[00052] Vale destacar que os sensores inerciais são definidos como acelerômetros, giroscópios ou magnetômetros e os dispositivos móveis representados pelos smartphones, pulseiras "inteligentes", relógios ou qualquer outro equipamento dotado de sensores de deslocamento instantâneo, de aceleração instantânea ou de campo magnético instantâneo.

[00053] Em seguida ao posicionamento dos aparatos de mensuração, inicia-se a etapa de teste 104, onde são executados os movimentos anteriormente descritos por meio de ciclos contínuos e com amplitude e tempo definidos previamente para cada região de deslocamento do corpo.

[00054] Juntamente com a etapa de teste 104, ocorre a etapa de coleta de dados 105 para o movimento realizado, feitas a partir dos aparatos de mensuração posicionados na etapa de posicionamento dos aparatos 103, que captam as acelerações do membro do corpo monitorado nos três eixos geométricos (X, Y e Z), bem como o tempo decorrido até essas medições.

[00055] A partir dos dados coletados na etapa de coleta de dados 105, ocorre a etapa de representação gráfica 106 do movimento, em plano ordenado de aceleração em função do tempo ($\alpha \times t$). A partir das curvas geradas é possível realizar a etapa de demarcação dos ciclos de movimento 107, conforme exemplificado pela Figura 1. Nessa figura, a etapa de demarcação dos ciclos de movimento 107, representada pelos retângulos, é constituída pelo processo de identificação da região de interesse do ciclo de movimento realizado por determinada articulação e/ou parte do corpo. A região de

interesse da curva que representa o ciclo de movimento é identificada como sendo a porção de cada ciclo a qual se deseja analisar.

[00056] A Figura 1 exemplifica um conjunto de dados obtidos para movimentos de abdução do ombro por um indivíduo modelo. Por meio desse conjunto de dados é possível demarcar cada ciclo de movimento, representado pelos retângulos vermelhos. Os dados externos a cada ciclo de movimento (externos aos retângulos representados) são referentes ao retorno dos membros envolvidos no movimento para uma posição de descanso e/ou ao posicionamento dos membros envolvidos no movimento para iniciar um ciclo de movimento.

[00057] A partir da etapa de demarcação dos ciclos de movimento 107, realiza-se uma etapa de processamento de dados 108 de acelerações, obtidos na etapa de coleta de dados 105, para cada ciclo de movimento demarcado na etapa de demarcação dos ciclos de movimento 107.

[00058] Destaca-se que o processamento de dados é feito para a aceleração nos três eixos geométricos (X, Y e Z) e que o referido processamento é realizado através da aplicação de um modelo matemático para ajustes de curvas, como, por exemplo, o modelo de ajuste polinomial:

$$M = a_0 + a_1.t + a_2.t^2 + a_3.t^3 + (...) + a_n.t^n \quad (\text{Equação 2})$$

onde M corresponde uma função polinomial da aceleração em função do tempo; a_0, a_1, \dots, a_n corresponde a valores constantes representativos dos parâmetros alcançados pelo ajuste polinomial para polinômios de grau "n"; e t corresponde ao tempo.

[00059] O grau do polinômio depende dos dados obtidos experimentalmente de aceleração x tempo a partir da

realização do movimento pela articulação e/ou parte do corpo. Para que o modelo matemático seja representativo do fenômeno físico analisado (movimento realizado), deve ser realizado o cálculo do critério de convergência para o modelo matemático aplicado.

[00060] A Figura 2 ilustra a representação gráfica do processamento de dados de um dos vários ciclos de movimento demarcados na etapa de demarcação dos ciclos de movimento 107, em que a função polinomial de grau 9 resultante do ajuste é traçada em vermelho.

[00061] Após a etapa de processamento de dados 108 das acelerações de cada ciclo de movimento demarcado, é realizada a etapa de determinação dos coeficientes de determinação (R^2) 109 entre as curvas experimentais e as respectivas curvas ajustadas pela modelagem polinomial por meio de verificação estatística descritiva e analítica.

[00062] O referido coeficiente de determinação (R^2) é calculado através da equação:

$$R^2 = 1 - \frac{SQ_e}{SQ_e - SQ_r} \quad (\text{Equação 3})$$

onde SQ_e é a variação não explicada; e SQ_r variação explicada.

[00063] Os valores da variação não explicada (SQ_e) e da variação explicada (SQ_r) são calculados por meio das seguintes equações:

$$SQ_e = \sum_i (g_i - \hat{g})^2 \quad (\text{Equação 3.1})$$

$$SQ_r = \sum_i (\hat{g} - \bar{g})^2 \quad (\text{Equação 3.2})$$

onde g_i corresponde aos valores obtidos pela modelagem polinomial do movimento monitorado; \hat{g} corresponde ao valor de g previsto pelo modelo de regressão linear entre os dados do teste e da modelagem polinomial; e \bar{g} corresponde à média dos valores obtidos a partir da modelagem polinomial do movimento monitorado.

[00064] O modelo de regressão linear é calculado através da seguinte equação:

$$\hat{g} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \cdot e_i \quad (\text{Equação 3.1.1})$$

onde $\hat{\beta}_0$ e $\hat{\beta}_1$ correspondem, respectivamente, ao intercepto e à inclinação do modelo de regressão linear, estimados a partir dos valores obtidos nos testes (pelos sensores) e na modelagem polinomial; e e_i corresponde aos valores coletados dos testes.

[00065] Através de uma etapa de comparação 110 por análise estatística do coeficiente de determinação (R^2) entre as curvas ajustadas pertencentes a todos os ciclos de movimento, é possível estabelecer uma tabela com os valores médio, desvio padrão e a medida de evidência (p-valor) para os dados obtidos na etapa de comparação dos coeficientes de determinação (R^2) 109.

[00066] A tabela abaixo ilustra um exemplo da aplicação da comparação estabelecida pela etapa de comparação 110, em que a partir dos dados obtidos nos exemplos das Figuras 1 e 2, para os três eixos geométricos, são calculados os valores médios e desvios padrão obtidos para os ciclos de movimento.

Tabela 1: Exemplo de resultados obtidos através da etapa de comparação

	R^2
--	-------

Aceleração vs. Tempo	Eixo X	Eixo Y	Eixo Z
Média	0,935	0,931	0,928
Desvio Padrão	0,035	0,033	0,028
P-valor	>0,05	>0,05	>0,05

[00067] Com base nos valores resultantes da etapa de comparação 110, é possível realizar a etapa de determinação 111 das curvas resultantes referente ao movimento monitorado em cada um dos eixos geométricos, com limites superiores e inferiores, tais como exemplificadas pelas Figuras 3 a 6.

[00068] As Figuras 3, 4 e 5 apresentam essas curvas resultantes com os respectivos limites superior e inferior, enquanto a Figura 6 retrata o delineamento das mesmas num único sistema de coordenadas.

[00069] Depois da execução de todas as etapas, desde a etapa de coleta 101 a etapa de determinação 111, com a obtenção das curvas resultantes da aceleração em função do tempo ($a \times t$) para cada um dos eixos geométricos (X, Y e Z) representativas de um movimento realizado pelo indivíduo modelo, as respectivas curvas serão utilizadas como referências para comparações de ciclos de movimento (mesmo movimento da curva resultante) provenientes de novos indivíduos ou mesmo novos ciclos de movimentos para o mesmo indivíduo modelo.

[00070] Para a comparação de ciclos de movimento, utilizando o método proposto, ocorre ainda a etapa de armazenamento dos dados 201, obtidos em pelo menos uma etapa dentre a etapa de coleta 101 e a etapa de determinação 111, em um banco de dados, onde esse banco de dados é armazenado em um meio físico legível por computador ou um meio de

armazenamento em ambiente virtual (como, por exemplo, na nuvem).

[00071] Os dados armazenados no referido banco de dados são classificados e associados quanto ao indivíduo e/ou indivíduos monitorados e datas de monitoramento.

[00072] Ainda, após a etapa de armazenamento 201, é necessário que ocorra monitoramento de um segundo indivíduo 202, através da realização de todas as etapas desde a etapa de coleta 101 à etapa de determinação 111, em que o segundo indivíduo é distinto daquele armazenado no referido banco de dados ou é o mesmo indivíduo monitorado em uma data distinta.

[00073] Assim, de posse de pelo menos duas curvas resultantes do primeiro e segundo indivíduos, é realizada a etapa de comparação 203 entre as curvas resultantes armazenadas e as curvas resultantes para o segundo indivíduo, em que a referida comparação é realizada por meio de medidas de similaridade entre curvas, como exemplo utilizando o coeficiente de determinação (R^2), ou por meio dos parâmetros extraídos de cada curva, como exemplo os valores de máximo, mínimo, média e desvio padrão. A saída do método pode ser constituída pela visualização das curvas, pelas funções que representam as curvas, pelos parâmetros extraídos das curvas e pelas comparações entre as curvas.

[00074] Entretanto, quando a comparação é feita entre diferentes indivíduos, antes da etapa de coleta dos dados 105 realizada durante monitoramento de um segundo indivíduo 202, é necessária a determinação da relação de proporcionalidade do outro indivíduo de teste em relação ao(s) indivíduo(s) presente no banco de dados, por meio das medidas antropométricas, coletadas na etapa de coleta 101.

Este procedimento é fundamental, pois cada pessoa apresenta diferentes mensurações de partes do corpo, e, para manter a proporção dos atributos tempo e distância total a ser percorrida pelo deslocamento.

[00075] Para determinar relação de proporcionalidade entre o indivíduo modelo e o outro indivíduo de teste, utiliza-se a equação representativa do movimento a ser monitorado (*Equação 1*) e a hipótese que dois indivíduos distintos, quando em mesma condição, apresentariam a mesma aceleração apesar das diferentes medidas antropomórficas. Assim, se obtém a seguinte equação:

$$\frac{L \cdot \delta}{t^2} = \alpha = \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = (\dots) = \alpha_n = \frac{L_n \cdot \delta_n}{t_n^2} \quad (\text{Equação 4})$$

$$\frac{L \cdot \delta}{t^2} = \frac{L_n \cdot \delta_n}{t_n^2} \quad (\text{Equação 4.1})$$

onde $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, (\dots), \alpha_n$ correspondem às acelerações instantâneas para o movimento monitorado de cada um dos n indivíduos; e L_n, δ_n, t_n correspondem respectivamente ao comprimento do membro ou da região do corpo que sofrerá o movimento, ângulo de amplitude realizado durante o movimento, e tempo para realização do movimento pelo n indivíduo de teste.

[00076] A partir da *Equação 4.1* se estabelece uma correlação de proporcionalidade entre tempo de realização do movimento vs. comprimento do membro utilizando-se de uma segunda hipótese, que os dois indivíduos distintos, quando em mesma condição, apresentariam o mesmo ângulo de amplitude realizado durante o movimento. Assim sendo e considerando um mesmo movimento para n indivíduos, as seguintes equações apresentam a relação dos tempos de realização desses movimentos em função dos comprimentos dos membros:

$$t_n = t \sqrt{\frac{L_n}{L}} \quad (\text{Equação 5})$$

$$t_1 = t \sqrt{\frac{L_1}{L}} \quad (\text{Equação 5.1})$$

$$t_2 = t \sqrt{\frac{L_2}{L}} \quad (\text{Equação 5.2})$$

$$t_3 = t \sqrt{\frac{L_3}{L}} \quad (\text{Equação 5.3})$$

onde $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ correspondem aos tempos de realização do movimento para os indivíduos 1, 2, 3, (...) e n; $L_1, L_2, L_3, \dots, L_n$ correspondem aos comprimentos dos membros utilizados no movimento para os indivíduos 1, 2, 3, (...) e n.

[00077] Entretanto, para determinar relação de proporcionalidade entre o indivíduo modelo e o outro indivíduo de teste em movimentos de circundação, cônico ou espiral, se utiliza a relação trigonométrica entre os comprimentos envolvidos no movimento em conjunto com a segunda hipótese previamente estabelecida (que o ângulo se mantém o mesmo independente do indivíduo), se obtém a seguintes igualdades:

$$\tan \delta = \frac{R}{L} = \frac{R_1}{L_1} = \frac{R_2}{L_2} = \frac{R_3}{L_3} = (\dots) = \frac{R_n}{L_n} \quad (\text{Equação 6})$$

$$\frac{R_n}{L_n} = \frac{R}{L} \quad (\text{Equação 6.1})$$

$$R_n = \frac{R}{L} \cdot L_n \quad (\text{Equação 6.2})$$

$$R_1 = \frac{R}{L} \cdot L_1 \quad (\text{Equação 6.3})$$

$$R_2 = \frac{R}{L} \cdot L_2 \quad (\text{Equação 6.4})$$

$$R_3 = \frac{R}{L} \cdot L_3 \quad (\text{Equação 6.5})$$

onde δ corresponde ao ângulo de amplitude do movimento; $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ correspondem aos raios de amplitude do movimento para os indivíduos 1, 2, 3, ... e n; e $L_1, L_2, L_3, \dots, L_n$ correspondem aos comprimentos dos membros utilizados no movimento para os indivíduos 1, 2, 3, (...) e n.

[00078] A Figura 7 ilustra uma representação esquemática do movimento de circundução para o indivíduo modelo, bem como as relações estabelecidas na Equação 6. A Equação 6 elucida que ao se realizar movimentos circulares, cônicos ou espirais, indivíduos biometricamente diferentes devem manter a mesma relação de proporcionalidade entre raio de amplitude do movimento e comprimento do membro envolvido. Esse processo faz com que o movimento realizado por indivíduos com diferentes medidas antropomórficas possam ser comparados entre si.

[00079] Com isso, as alterações morfológicas obtidas através da comparação das curvas resultantes de indivíduos modelo com as dos outros indivíduos, poderão ser detectadas matematicamente e analisadas.

[00080] Na Figura 8 está representado o fluxograma geral das etapas do método proposto para análise e mapeamento do movimento de articulações e de partes do corpo de um indivíduo, o qual deve ser repetido para fins de comparação entre o mesmo indivíduo ou com um indivíduo distinto.

[00081] Na Figura 9 está representado o fluxograma complementar do método descrito na Figura 8, que demonstra as etapas adicionais para a realização de comparação de

movimentos de articulações e de partes do corpo para um ou mais indivíduos.

[00082] Diante do exposto, fica claro que a presente invenção se refere a um método para determinar e analisar de padrões representativos de movimentos de articulações e de partes do corpo de um indivíduo, sendo que o referido método compreende as etapas de: coleta de informações 101, em que informações antropomórficas do referido indivíduo são coletadas; definição de pelo menos uma equação representativa do movimento 102 a ser monitorado; posicionamento de aparatos de mensuração 103 de aceleração em pelo menos um local pré-determinado, em que os aparatos são posicionados de modo a permitir a mensuração em todos os eixos geométricos; teste 104, em que o referido indivíduo executa pelo menos 10 ciclos do referido movimento a ser analisado; coleta de dados 105 para o movimento realizado que ocorre juntamente com a etapa de teste 104, e em que os dados são coletados, a partir dos aparatos de mensuração posicionados na etapa de posicionamento de aparatos de mensuração 103, nos três eixos geométricos; representação gráfica 106 do movimento a ser analisado, em que são criados gráficos da aceleração em função do tempo mensurados nas etapas de teste 104 e coleta de dados 105; demarcação dos ciclos de movimento 107, em que essa demarcação ocorre a partir dos gráficos criados na etapa 106; processamento de dados 108 de aceleração, obtidos na etapa de coleta de dados 105, para cada ciclo de movimento demarcado na etapa de demarcação dos ciclos de movimento 107; determinação dos coeficientes de determinação (R^2) 109, em que os coeficientes de determinação são obtidos a partir dos dados das etapas de

coleta de dados 105 e processamento de dados 108; comparação, por análise estatística, do coeficiente de determinação (R^2) 110 entre as curvas ajustadas pertencentes a todos os ciclos de movimento demarcados; determinação curvas resultantes 111, relativas ao movimento monitorado em cada um dos eixos geométricos, em que essas curvas resultantes podem ser delineadas e exibidas individualmente ou em grupo.

[00083] Em uma configuração preferencial, o referido método compreende ainda o armazenamento dos dados 201 obtidos em pelo menos uma etapa dentre a etapa de coleta 101 e a etapa de determinação 111, em que os referidos dados são classificados e associados quanto ao indivíduo e/ou indivíduos monitorados e datas de monitoramento.

[00084] Em uma configuração preferencial, o referido banco de dados é armazenado em um meio físico legível por computador ou um meio de armazenamento em ambiente virtual.

[00085] Em uma configuração preferencial, o referido método compreende ainda o monitoramento de um segundo indivíduo 202, que compreende todas as etapas desde a etapa de coleta 101 à etapa de determinação 111, em que o segundo indivíduo é distinto daquele armazenado no referido banco de dados ou é o mesmo indivíduo monitorado em uma data distinta.

[00086] Em uma configuração preferencial, durante monitoramento de um segundo indivíduo 202, caso o segundo indivíduo seja distinto daquele armazenado no referido banco de dados, ocorre a determinação da relação de proporcionalidade entre os indivíduos a serem comparados a partir das informações antropomórficas coletadas para ambos os indivíduos, para modificar os parâmetros de movimento de segundo indivíduo.

[00087] Em uma configuração preferencial, o referido método compreende ainda a comparação entre as curvas armazenadas e as do segundo indivíduo 204, em que a referida comparação é realizada por meio de medidas de similaridade entre curvas.

[00088] Em uma configuração preferencial, o movimento a ser analisado é selecionado do grupo que consiste de: flexão, extensão, hiperextensão, flexão dorsal, flexão plantar, adução, abdução, desvio ulnar e radial, elevação, depressão, inversão, eversão, flexão lateral, extensão lateral, rotação medial, rotação lateral, abdução horizontal, adução horizontal, pronação, supinação, circundução clássica e em espiral, marchas, tremores e contrações.

[00089] Em uma configuração preferencial, os aparatos de mensuração são sensores individualizados ou presentes em dispositivos móveis, em que os referidos sensores são preferencialmente sensores inerciais.

[00090] Em uma configuração preferencial, os sensores inerciais são selecionados do grupo que consiste de: acelerômetros, giroscópios ou magnetômetros.

[00091] Em uma configuração preferencial, os dispositivos móveis são selecionados do grupo que consiste de: smartphones, pulseiras "inteligentes", relógios ou qualquer outro equipamento dotado de sensores de deslocamento instantâneo, de aceleração instantânea ou de campo magnético instantâneo.

Vantagens e Modificações

[00092] Em vista do exposto, fica claro que a presente tecnologia possui um grande alcance de aplicação uma vez que

tem-se a extração de parâmetros diferentes e análise físico-mecânicos completa através das curvas representativas do movimento obtidas pela presente tecnologia. As curvas podem ser provenientes de pacientes individuais (em grupos e de referência) e permitem a comparação do indivíduo com ele próprio, curva de referência, ou entre grupos de indivíduos.

[00093] A normalização dos diferentes valores de medidas antropomórficas e tempo de realização do movimento da presente tecnologia que influenciam no cálculo dos parâmetros do movimento resultam em uma maior acurácia e precisão na comparação dos movimentos.

[00094] A presente tecnologia permite a utilização de quaisquer dispositivos que contenham sensores inerciais para executar o método proposto pela tecnologia em tela, resultando em um menor custo e maior alcance de aplicação.

[00095] Ainda, a presente tecnologia permite tanto a representação do movimento de forma gráfica e numérica, quanto apresentar ao indivíduo ou especialista os resultados de forma gráfica, numérica e multimídia, resultando em uma maior acurácia e precisão na realização e na comparação entre curvas de movimentos, isto é, menor subjetividade.

[00096] Os versados na arte valorizarão os conhecimentos aqui apresentados e poderão reproduzir a invenção nas modalidades apresentadas e em outras variantes, abrangidas no escopo das reivindicações anexas.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para determinar e analisar padrões representativos de movimentos de articulações e de partes do corpo de um indivíduo, sendo o referido método **caracterizado** por compreender as etapas de:

coleta de informações (101), em que as informações são antropomórficas do referido indivíduo;

definição de pelo menos uma equação representativa do movimento (102) a ser monitorado;

posicionamento de aparatos de mensuração (103) de aceleração em pelo menos um local pré-determinado, em que os aparatos são posicionados de modo a permitir a mensuração em todos os eixos geométricos;

teste (104), em que o referido indivíduo executa pelo menos 10 ciclos do referido movimento a ser analisado;

coleta de dados (105) para o movimento realizado que ocorre juntamente com a etapa de teste (104), e em que os dados são coletados, a partir dos aparatos de mensuração posicionados na etapa de mensuração (103), nos três eixos geométricos;

representação gráfica (106) do movimento a ser analisado, em que são criados gráficos da aceleração em função do tempo mensurados nas etapas de teste e coleta de dados (104, 105);

demarcação dos ciclos de movimento (107), em que essa demarcação ocorre a partir dos gráficos criados na etapa de representação gráfica (106);

processamento de dados (108) de aceleração, obtidos na etapa de coleta de dados (105), para cada ciclo de movimento

demarcado na etapa de demarcação dos ciclos de movimento (107);

determinação dos coeficientes de determinação (R^2) (109), em que os coeficientes de determinação são obtidos a partir dos dados das etapas de coleta de dados (105) e processamento de dados (108);

comparação, por análise estatística, do coeficiente de determinação (R^2) (110) entre as curvas ajustadas pertencentes a todos os ciclos de movimento demarcados;

determinação das curvas resultantes (111), relativas ao movimento monitorado em cada um dos eixos geométricos, em que essas curvas resultantes podem ser delineadas e exibidas individualmente ou em grupo.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por compreender ainda:

armazenamento dos dados (201) obtidos em todas as etapas desde a etapa de coleta (101) à etapa de determinação (111), em que os referidos dados são classificados e associados quanto ao indivíduo e/ou indivíduos monitorados e datas de monitoramento.

3. Método, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que o referido banco de dados é armazenado em um meio físico legível por computador ou um meio de armazenamento em ambiente virtual.

4. Método, de acordo com a reivindicação 2 ou 3, **caracterizado** por compreender ainda:

monitoramento de um segundo indivíduo (202), que compreende todas as etapas desde a etapa de coleta (101) à etapa de determinação (111), em que o segundo indivíduo é

distinto daquele armazenado no referido banco de dados ou é o mesmo indivíduo monitorado em uma data distinta.

5. Método, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado** pelo fato de que durante monitoramento de um segundo indivíduo (202), caso o segundo indivíduo seja distinto daquele armazenado no referido banco de dados, ocorre a determinação da relação de proporcionalidade entre os indivíduos a serem comparados a partir das informações antropomórficas coletadas para ambos os indivíduos, para modificar os parâmetros do movimento do segundo indivíduo.

6. Método, de acordo com a reivindicação 4 ou 5, **caracterizado** por compreender ainda:

comparação entre as curvas resultantes armazenadas e as curvas resultantes para o segundo indivíduo (203), em que a referida comparação é realizada por meio de medidas de similaridade entre curvas.

7. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, **caracterizado** pelo fato de que o movimento a ser analisado é selecionado do grupo que compreende pelo menos um dentre: flexão, extensão, hiperextensão, flexão dorsal, flexão plantar, adução, abdução, desvio ulnar e radial, elevação, depressão, inversão, eversão, flexão lateral, extensão lateral, rotação medial, rotação lateral, abdução horizontal, adução horizontal, pronação, supinação, circundução clássica e em espiral, marchas, tremores e contrações.

8. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, **caracterizado** pelo fato de que os aparatos de mensuração são sensores individualizados ou

presentes em dispositivos móveis, em que os referidos sensores são preferencialmente sensores inerciais.

9. Método, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado** pelo fato de que os sensores inerciais são selecionados do grupo que compreende pelo menos um dentre: acelerômetros, giroscópios ou magnetômetros.

10. Método, de acordo com a reivindicação 8 ou 9, **caracterizado** pelo fato de que os dispositivos móveis são selecionados do grupo que compreende pelo menos um dentre: smartphones, pulseiras "inteligentes", relógios ou qualquer outro equipamento dotado de sensores de deslocamento instantâneo, de aceleração instantânea ou de campo magnético instantâneo.

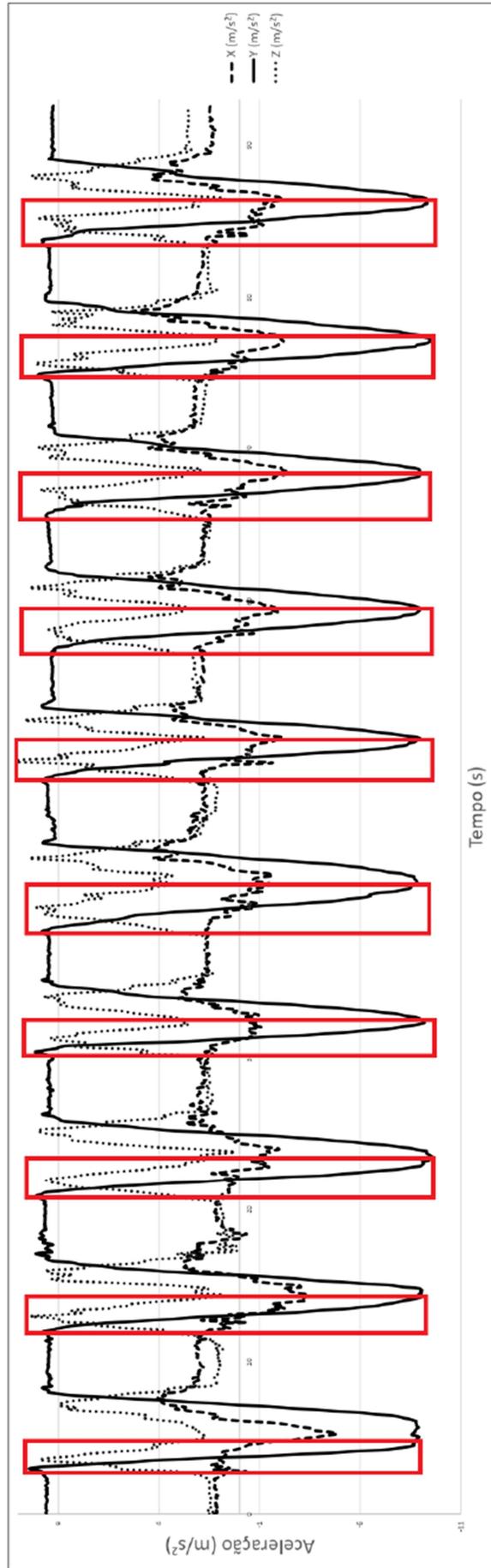


Figura 1

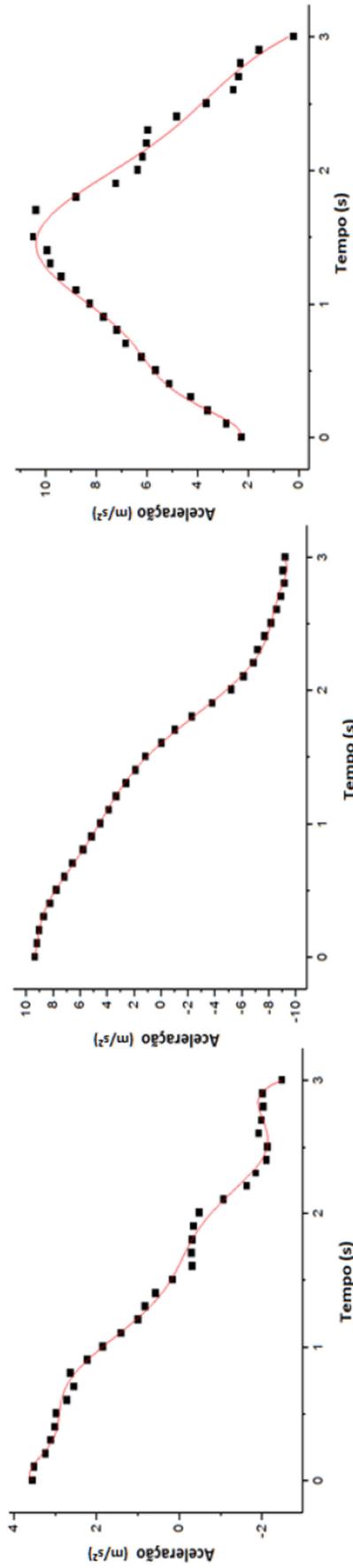
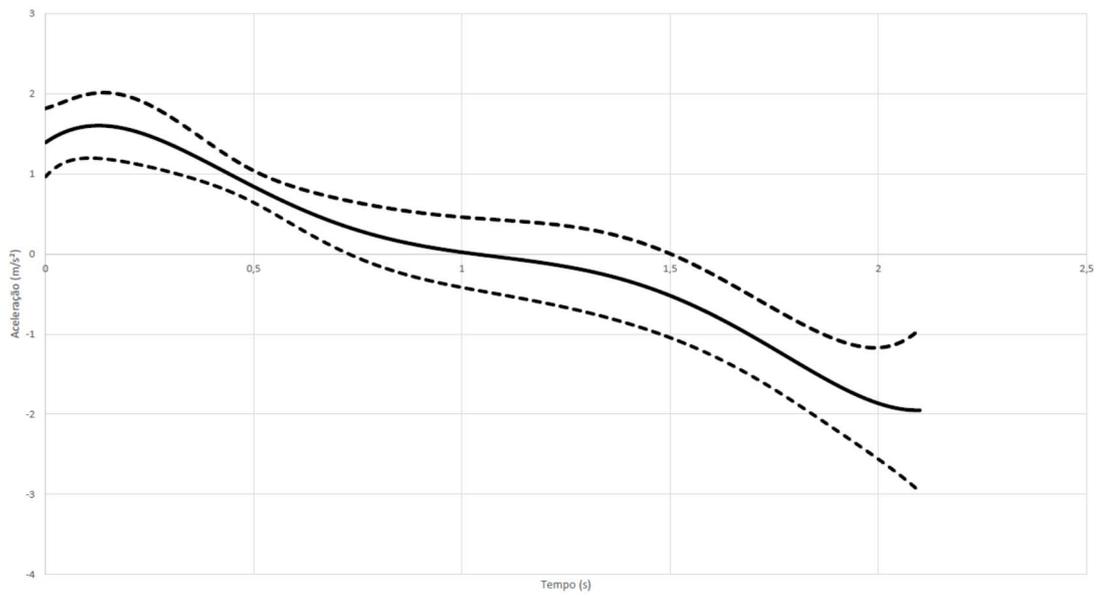
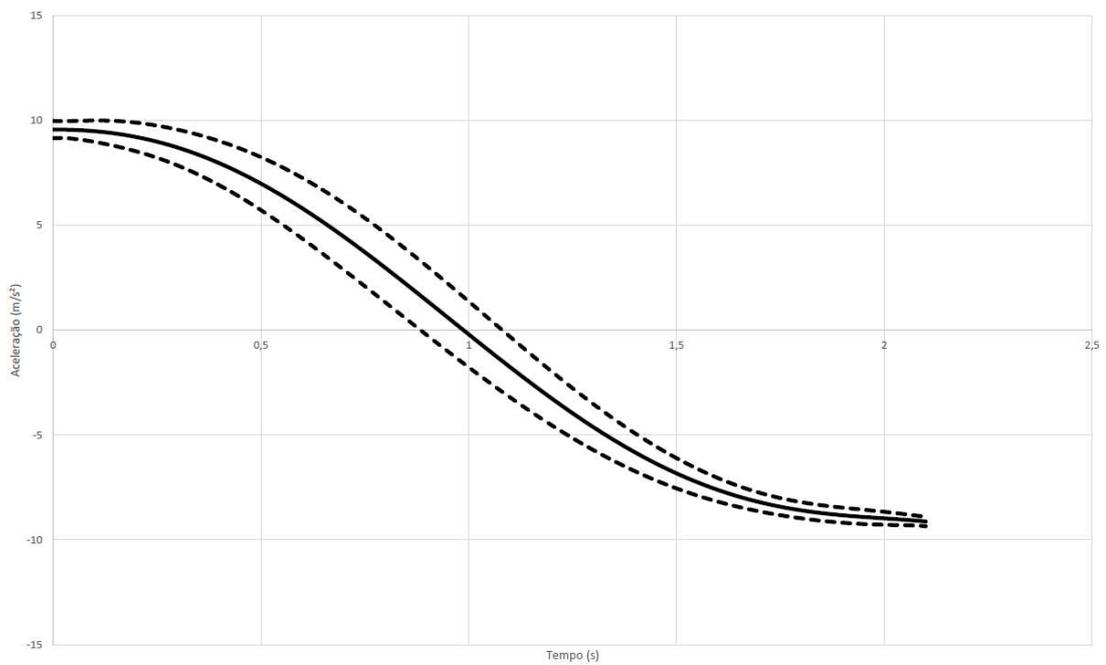


Figura 2

**Figura 3****Figura 4**

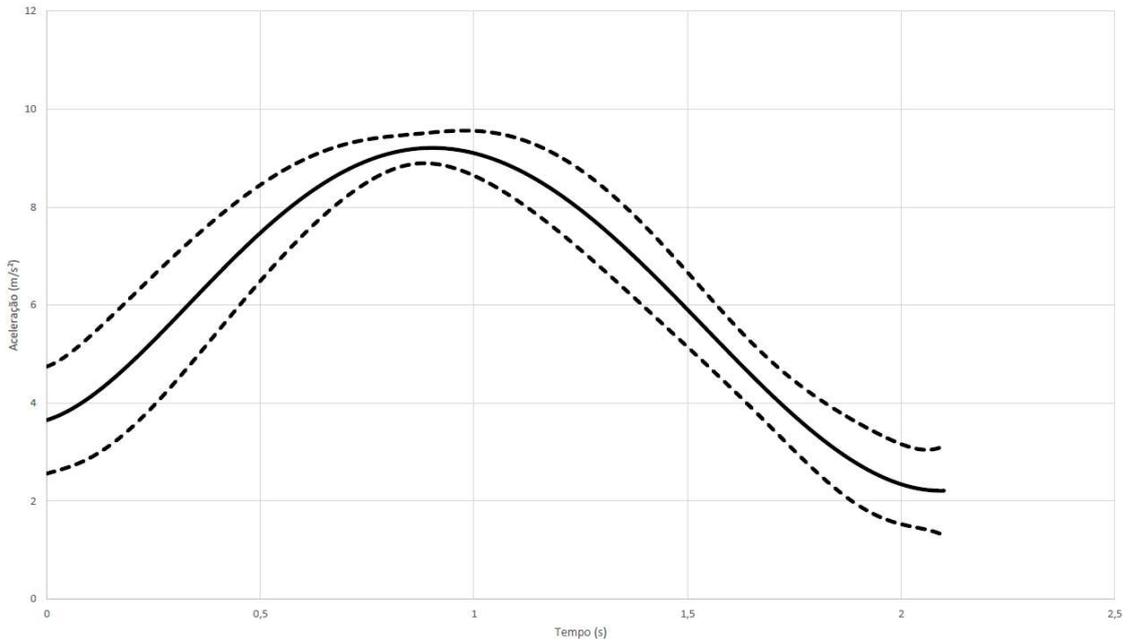


Figura 5

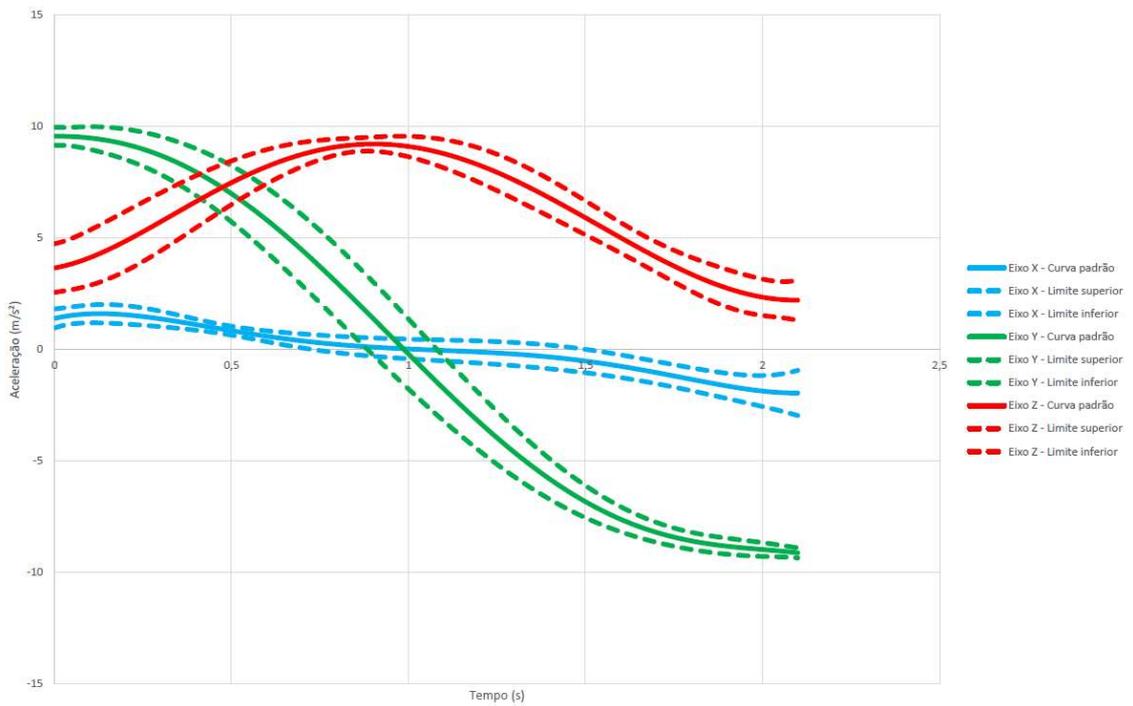


Figura 6

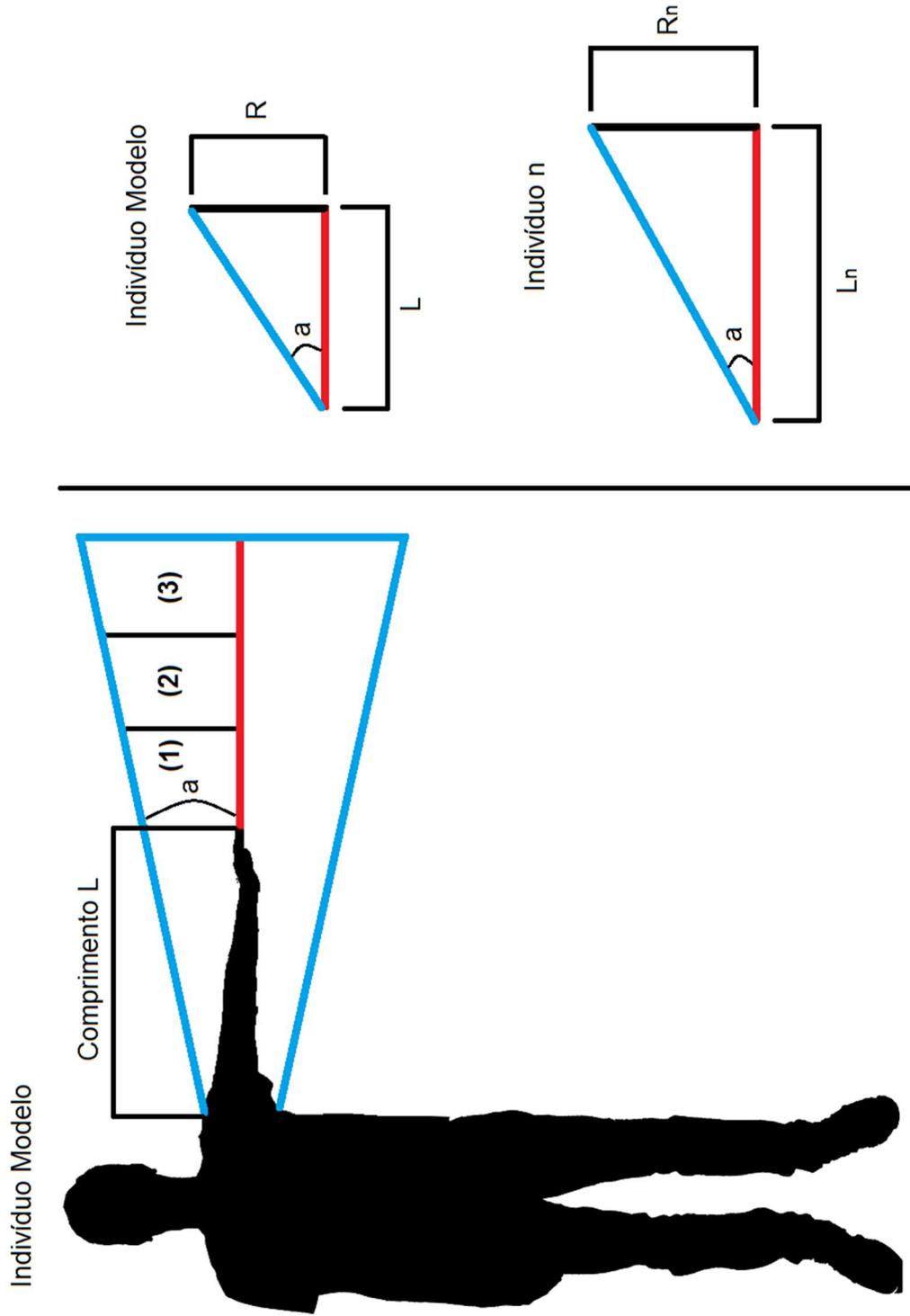


Figura 7

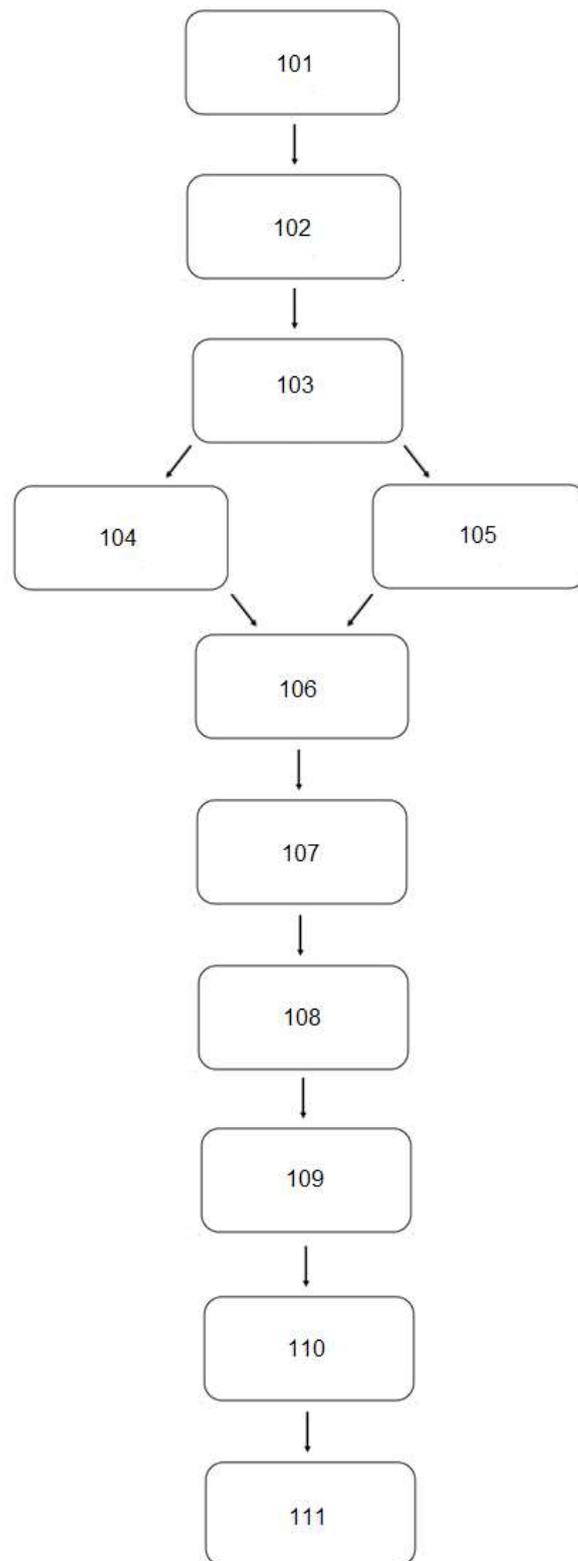


Figura 8

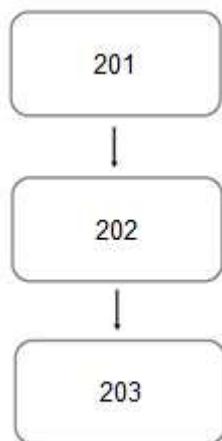


Figura 9

RESUMO**MÉTODO PARA MONITORAR E ANALISAR MOVIMENTOS DE ARTICULAÇÕES
E DE PARTES DO CORPO**

A presente tecnologia se refere à um método para determinar e analisar de padrões representativos de movimentos de articulações e de partes do corpo de um indivíduo, que compreende as etapas de coleta de informações (101), definição de pelo menos uma equação representativa do movimento (102) a ser monitorado, posicionamento de aparatos de mensuração (103) de aceleração, teste (104), coleta de dados (105) para o movimento realizado, representação gráfica (106) do movimento a ser analisado, demarcação dos ciclos de movimento (107), processamento de dados (108) de aceleração, obtidos na etapa de coleta de dados (105), para cada ciclo de movimento demarcado na etapa de demarcação dos ciclos de movimento (107), determinação dos coeficientes de determinação (R^2) (109), comparação, por análise estatística, do coeficiente de determinação (R^2) (110) entre as curvas ajustadas pertencentes a todos os ciclos de movimento demarcados, e determinação curvas resultantes (111), relativas ao movimento monitorado em cada um dos eixos geométricos, em que essas curvas resultantes podem ser exibidas individualmente ou em grupo. A aplicação desse método permitiria identificar novos paradigmas biomecânicos referentes aos movimentos dessas partes do corpo humano (saudáveis e/ou com alterações morfofuncionais).